

教育部113學年度中小學科學教育專案成果報告書

計畫名稱：探究式「環境生態之科學建模課程模組」研發計畫(第二年)

主持人：王聖淵

E-mail：t0373@ymsh.tp.edu.tw

共同主持人：吳林建宏

執行學校：臺北市立陽明高級中學

一、計畫執行摘要

1. 是否為延續性計畫？ ☐ 是 ☒ 否

2. 執行重點項目：

- ☐ 環境科學教育推廣活動
- ☐ 科學課程教材、教法及評量之研究發展
- ☐ 科學資賦優異學生教育研究及輔導
- ☒ 鄉土性科學教材之研發及推廣
- ☐ 學生科學創意活動之辦理及題材研發

3. 辦理活動或研習會等名稱：

日期/時間	講座主題
03/28(五)1200-1400	科教計畫教師專業學習社群任務說明
03/31(一)1200-1400	SDG15陸地生態教案設計討論
04/07(一)1200-1400	SDGs 議題之教案設計探討
04/11(五)1200-1400	SDG14保育海洋生態教案設計討論
04/14(一)1200-1400	教案設計操作實例
04/18(五)1200-1400	SDG11可持續城市和社區教案設計討論
04/21(一)1200-1400	以自主學習融入 SDGs 議題課程
04/25(五)1200-1400	以 SDGs 之議題融入小論文之方法
04/28(一)1200-1400	利用生成式 AI 探討 SDGs 之議題
05/02(五)1200-1400	探討簡易微分方程的模擬方式
03/28(五)1200-1400	科教計畫教師專業學習社群任務說明
03/31(一)1200-1400	SDG15陸地生態教案設計討論
04/07(一)1200-1400	SDGs 議題之教案設計探討

4.辦理活動或研習會對象：

姓名	任教年級/科目	姓名	任教年級/科目
王聖淵	高二/數學	林承恩	高一二/地科
游正達	高三/數學	謝東霖	高一二三/化學
陳巧雯	高一/數學	蔡育螢	高三/國文
吳柏萱	高一二/數學	王慶華	行政/英文
連紫汝	高三/數學	黃稚雯	高中/特教
吳林建宏	高二三/數學		

5.參加活動或研習會人數：10位

6.參加執行計畫人數：8位

二、計畫目的

- (一) 研發探究式科學建模課程模組
- (二) 研發之課程以營隊方式或假日專題研討方式進行課程推廣教學
- (三) 探討參與學生的科學學習經驗以及投入狀態對學生探究能力的影響。
- (四) 提升學生對新興科技與科學的興趣，並凸顯研究精神的重要性。

三、研究方法

(一) 研究方法與步驟

本計畫預定以三年為期，第一年透過本校教師群共同設計國、高中的課程與教材、第二年利用第一年所開發的課程教材進行合作學校課程推廣與科學研究、第三年則預計開發線上教材以增加推廣程度；本年度的計畫具體做法如下：

1. 組織教師團隊發展課程教學模組—「環境生態之科學建模課程模組」系列課程

在過程中運用科學原理來動手實作，增加強化學生思考判斷與解決問題的能力；啟發學生之科技運用及創意。運用設計出來的裝置在

各種科學專題實驗中。說明如下：

- (1) 在高一專題研究課程中開發「環境生態之科學建模課程模組」，讓學生從實作當中了解環境生態的實用性。
- (2) 辦理假日校際合作專題研究相關課程。聘請在專題研究課程上經驗豐富之專家學者，舉辦假日專題研究課程。並聯合鄰近學校組成策略聯盟，利用假日專題研究討論，增加校際交流與合作機會。

2. 辦理假日及寒暑假學生科學營隊活動，並組織學生專題研究社群：

- (1) 辦理寒暑假學生營隊與教師研習活動，推動校際合作發展相關課程。

3. 發展學生社群研究專題：

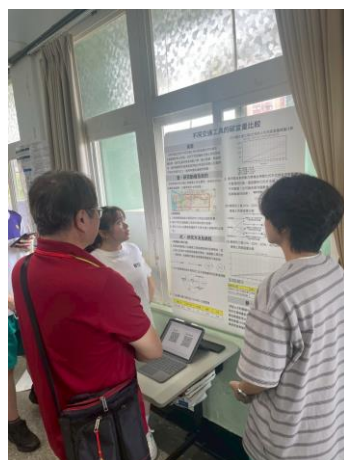
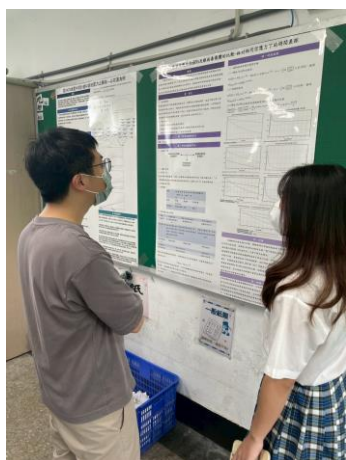
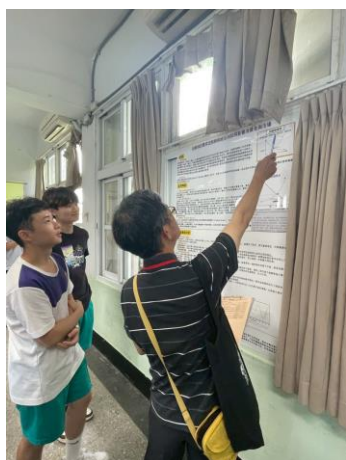
透過營隊課程，發展階段性設計模式，並規劃鷹架式學習活動，指導學生進行兩階段的專題研究：

- (1) **準備階段：**提供主題探究活動學習單→引導學生辨別相關與無關資訊→帶領學生分析問題→組織歸納現有資料→指導學生撰寫研究計畫寫作。
- (2) **執行階段：**引導學生找出與問題有關事實→帶領學生排序事實→克服問題→引導學生進行推論→指導學生撰寫研究成果。

4. 辦理教師研習活動與辦理學生成果報告：

定期辦理教師研習活動，開設資訊及相關知能等課程，增加教師

數位資訊本質學能，促進學生學習；同時學生能夠藉由校內的成果發表將自身所學進行成果展現。



5.「環境生態之科學建模課程模組」推廣課程之實施：

- (1) 將研發設計之特色課程應用於營隊課程中，並增加與合作大學之交流活動，提升創意科學課程品質。
- (2) 辦理科學營，集合鄰近學校對科學建模具有高度興趣的學生，共同研討環境生態相關議題，讓青年學子感受濃厚的科學探究氛圍，經由腦力激盪與經驗分享，為未來科學生涯打下穩固基礎。

6.課程研發：



建模工具：系統動力學

1. 什麼是系統動力學(System Dynamics)？

- 設計系統的電腦模擬工具
- 模擬真實世界運作的問題
- 解決問題的方法：透過模型的建立與操弄的過程而獲得的，逐步發掘出產生變化形態的因、果關係。
- 系統動力學是美國麻省理工史隆管理學院福雷斯特(Jay W. Forrester)於 1956 年創造的一種電腦模擬模型。
- 綜合了系統理論、資訊理論、決策理論以及電腦模擬等所發展出來的(資料來源：維基百科)。

2. 它可以透過電腦模擬動態性複雜問題的工具，解決管理、社會學、自然科學與工程的問題。

3. Vensim 軟體簡介

- Vensim 軟體是由美國 Ventana 公司所發展的，專門做為系統動力學模擬使用的軟體（官方網站：<http://vensim.com/>），此軟體的開發是基於因果關係發展而來。

4. 對於初學者來說，皆可以利用介面上所提供的物件繪製工具，輕易的繪製系統動力圖。

- 接著直接在動力圖上輸入物件之間的關係式，便可建立系統動力模型
- 當系統的作用或假設不合乎基本邏輯時，軟體本身會自動偵測出錯誤，並導致模式無法執行。
- 而繪製出來的模型能夠進行各種不同策略的情境模擬，協助研究者進行各項實驗分析。

四、第一年研究成果

(一) 研發4份課程模組/教案（如附件）

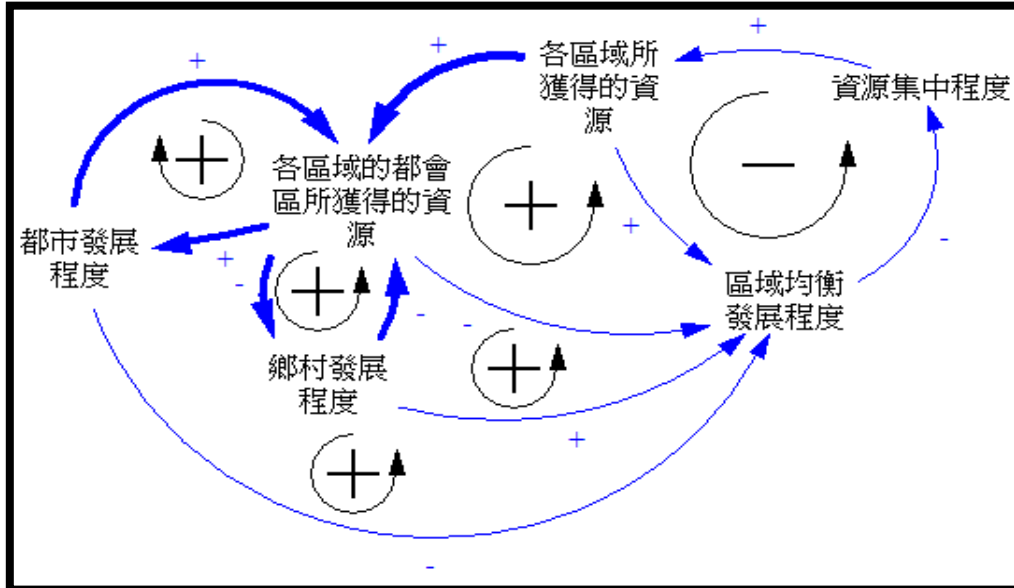
- ✓ SDG 11：永續城鄉－直轄市的建立與城鄉差距的問題
- ✓ SDG 13：氣候行動-交通堵塞導致空氣汙染物排放問題
- ✓ SDG 14：保育海洋生態-以阿拉斯加為例
- ✓ SDG 15：陸地生態－凱巴布森林的野鹿

課程操作方式



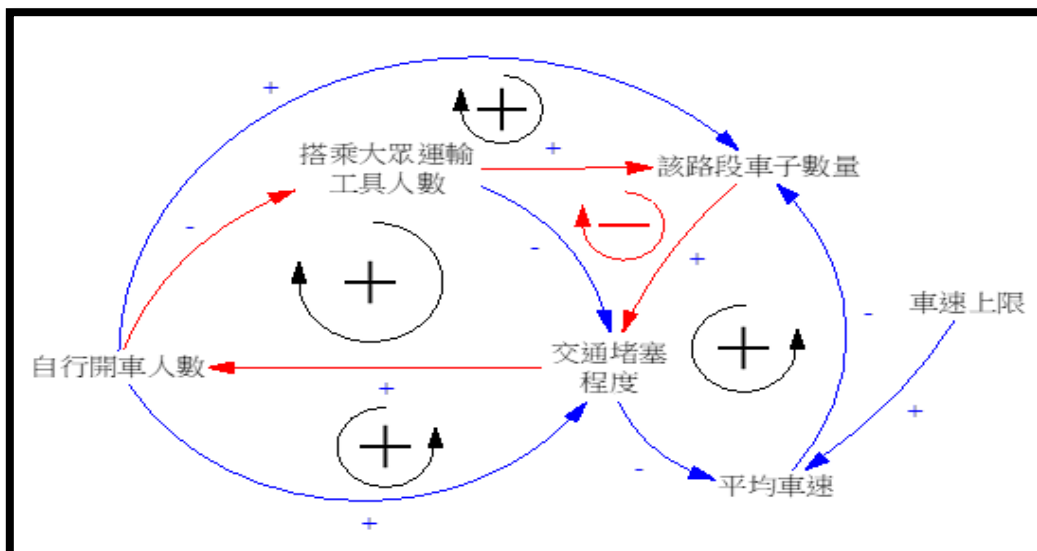
1. 教案 1：SDG11_可持續城市和社區-直轄市的建立與城鄉差距的問題

- ✓ 使用系統基模：飲鴆止渴、富者越富
- ✓ 探索議題：SDG 11_可持續都市和社區中「共融和可持續的城市發展」
- ✓ 試行成果：於跨領域(偏人文)課程進行，並嘗試和環境生態結合



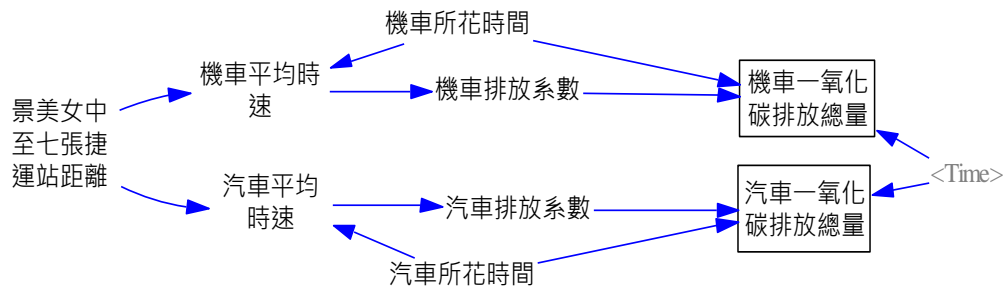
2.教案2：SDG13_氣候行動-通堵塞導致空氣汙染物排放問題

- ✓ 使用系統基模：持續成長、飲鴆止渴
- ✓ 探索議題：SDG 13_氣候行動中「將氣候變化措施納入政策和規劃之中」

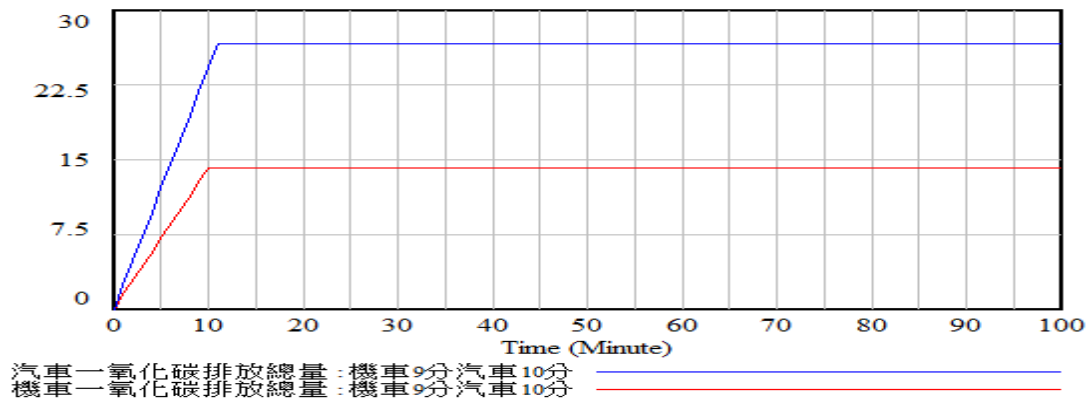


- ✓ 試行成果：以此教案針對1位學生進行小論文指導並成功獲獎
- ✓ 將於暑假營隊試行教案
- ✓ 學生成果：以動態模擬探討交通堵塞導致空氣汙染物排放量問題-

以景美女中至七張捷運的 CO 排放量為例（工程技術類-甲等）



一台汽車和一台機車的一氧化碳排放量比較

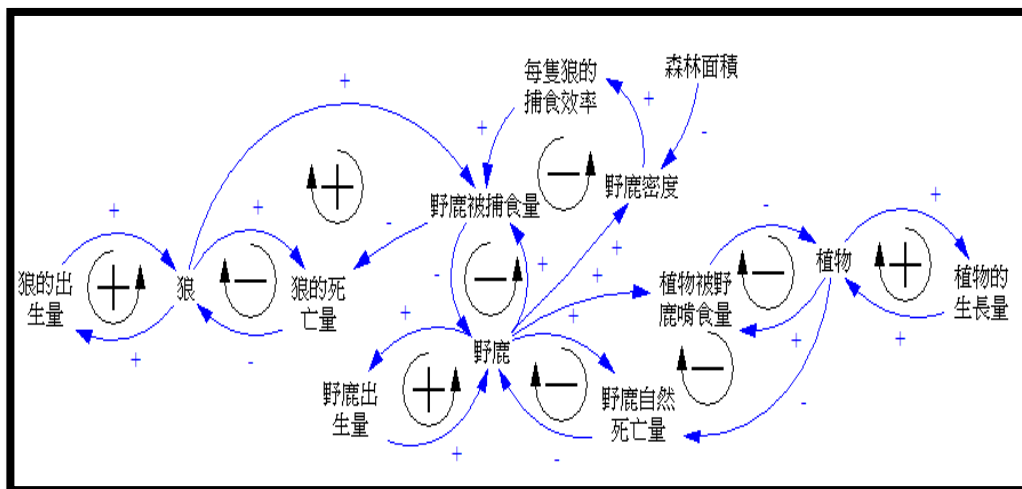


3. 教案 3：SDG 14_保育海洋生態-以阿拉斯加為例

- ✓ 使用系統基模：成長上限、消長競爭
- ✓ 探索議題：SDG 14_保育海洋生態中「可持續捕撈、保護和恢復生態系統」
- ✓ 將於暑假營隊試行教案

4. 教案 4：SDG 15：陸地生態-凱巴布森林的野鹿

- ✓ 使用系統基模：消長競爭
- ✓ 探索議題：SDG 15_陸地生態中「保護生物多樣性和自然棲息地」
- ✓ 將於暑假營隊試行教案



(二) 具體成果及效益：

1. 透過教學現場的行動研究了解學生在課程實驗與實驗營、工作坊等活動中的學習成果。
2. 了解學生在完成科學研究過程所遭遇的困難及所需之相對應策略。
3. 了解教師在各階段指導學生的過程中所遭遇的困難及相對應之策略。
4. 透過合作學習的方式使其更具意義化及功能化，以縮小理論與實務間的鴻溝，進而將教與學相互呼應，另外透過豐富的學習輔具，為學習注入更多有趣及有意義的元素。

(三) 參與計畫學生的收穫：

1. 學會探究式思考科學的內涵，獲得獨立思考的能力與方法。
2. 有機會親身體驗各項新興科技的議題，以習得帶得走的能力。
3. 從悅趣化的課程中學習動手做，能習得解決問題的能力亦能激發創造力。
4. 透過跨校科學研究及論文發表，增加校際交流的經驗。

(四) 參與計畫教師的收穫：

1. 提升在新興科技及校本課程開發的科學素養與能力。
2. 獲得開發模組化教材及專題研究課程的能力。
3. 獲得創新教學策略以及多元評量的技巧。
4. 擴展新興科技議題的知能。
5. 跨科合作與共備的專業能力成長。

五、第二年研發成果

(一) 開發研究方法內容以帶領學生進行專題研究，研究方法內容章節如下所示。

- (1)變數介紹、正負環路介紹
- (2)系統基模1-持續成長
- (3)系統基模2-目標趨近
- (4)系統基模3-成長上限
- (5)系統基模4-目標侵蝕
- (6)系統基模5-消長競爭
- (7)系統基模6-飲鴆止渴
- (8)系統基模7-富者越富

(9)系統基模8-升高競爭

(二) 學生專題研究成果

以第二年開發之研究方法結合第一年的教案帶領學生進行專題研究，以下為相

關研究主題、中學生網站得獎梯次、類別與獎項。

- ✓ 台北捷運環狀線北環段建立前後的碳當量差異-以臺北市立陽明高中附近交通為例。中學生網站1131015梯次。地球科學類特優。
- ✓ 以基本風險評估模型探討資訊安全在不同企業管理的風險變化。中學生網站1131015梯次。資訊類優等。
- ✓ 假訊息傳播速度的動態建模與抑制策略。中學生網站1131015梯次。資訊類優等。
- ✓ 以動態模擬探討蘇丹紅與常見藥物在人體血液中的濃度。中學生網站1140315梯次。化學類優等。。
- ✓ 以系統動力學探討台灣不同種的樹木固碳差異。中學生網站1131015梯次。農業類甲等
- ✓ 以動態模擬探討建材與設計地震力之關聯-以花蓮地區建築物為例。中學生網站1131015梯次。工程技術類甲等。
- ✓ 以風險函數探討海盜賽局的動態模擬。中學生網站1131015梯次。數學類甲等。
- ✓ 以系統動力學探討青光眼與眼壓高低之影響。中學生網站1140315梯次。健康與護理類甲等。
- ✓ 以系統動力學探討公地悲劇的動態模擬。中學生網站1140315梯次。數學類甲等。

- ✓ Team Taiwan 贏得世界十二強棒球賽之因果關係研究。中學生網站1140315梯次。體育類甲等。

六、討論及建議（含遭遇之困難與解決方法）

附件1：研發教案 1

SDG 11：永續城鄉—直轄市的建立與城鄉差距的問題

壹、教材資料

一、文章導讀

改編連5年沒新生兒、村裡只剩老人台灣哪些地方正悄悄「滅村」？

文 林偉妃 天下雜誌775期 發布時間：2023-06-13

在六都出現後，反而讓城鄉差距落差更大；2011年，政府為了要達成區域均衡發展，直轄市從兩個整併為六個。事後證明，不但沒有達到平衡的效果，人流反而更多集中到都會。

「不僅是年輕人，老年人也因為都會福利、醫療和便利性，而有往市區流動的趨勢，」台北大學公共行政暨政策學系教授呂育誠觀察。

造成的結果是六都成形至今12年，台北和新北的老年人口都急遽成長超過8%，高雄市也達7.8%，而「同一縣市的偏遠區域，人口也加速度往市區集中，」呂育誠認為，地方的衰敝將更無可挽回。位處縣市合併升格的偏遠村里，猶如暗夜星火般飄搖。

例如距離台南市區10公里遠，原屬縣區的龍崎中坑里，以產竹聞名的龍崎，五年來人口減幅近兩成，高居全台鄉鎮第一，老化程度為全台第二，帳面上有戶口者約3500餘人，而中坑里是八個里中人數最少，僅有約140人。曾有900人，現僅剩60人，數據可能更難看，因為「很多人都搬出去外面和子女住在一起，戶口留著是因為土地在這裡，需要保有農保身分，」現年79歲的里長陳茂全一語道破。

已經擔任四屆里長的他低頭算了算，實際大概還有60人，大多數是60到80多歲的老人。中坑里位在二仁溪上游，當地人過去靠著滿山遍野的竹子維生，早期出產搖籃、

禮籃等竹編品，最多時有將近900人，之後因不及塑膠製品便利，加上九成以上土地為山坡地保育區，開發嚴重受限，人口外流到周邊的關廟、仁德和歸仁等地。

陳茂全以「遠遠一塊厝」，形容中坑里的房屋分散，戶與戶之間相隔距離遙遠。記者隨他到信奉清水祖師爺的清水宮，也是在地人的信仰中心，午後的廟內只有廟公楊朝琴和附近鄰居正在聊天，整個山頭唯一的一支小黃公車站牌，孤獨地站在廟埕前。杳無人煙的路上，偶爾才有穿著汗衫短褲、上山運動的遊客走過。

「以前清水祖師生日都會辦平安宴，最多時開到二、三百桌，」從小外出打拚的楊朝琴，42歲回到家鄉當廟公已25年，「疫情前只剩下上百桌，規模愈來愈小，沒有以前那麼多人了。」菁桐和中坑，都被急於追上現代化的城市遠遠拋在後面。然而，南北資源的差距，卻是顯而易見。

[鄉鎮代表會消失，偏鄉更凋敝？]

菁桐社區發展協會所在的社區活動中心，過去曾經是礦工醫院所在地，如今是周邊三里包括菁桐、白石和薯榔的生活支柱，包括社區巡迴醫療、老人共餐據點以及婦女大學課程等都在這裡。資源相對拮据的台南，陳茂全的里長辦公室就設在自家，每逢颱風或大雨過後，他會騎著摩托車、載著柴刀和電鋸到處去巡視，遇到樹幹被風吹倒就跳下來砍樹枝，以方便車輛通行。「以前鄉鎮有代表會，找代表就可以爭取經費，現在都要拜託議員，」陳茂全愈說愈憤慨。中坑最重要的163縣道，已經二十幾年未曾整修，「柏油都翹起來，整條路破破爛爛，3公里長的道路要重鋪瀝青，三年都未完工，鋪一段就說等明年有錢再繼續鋪。」

過去談城鄉差距，粗略劃出「城」是六都、「鄉」是縣市鄉鎮，但呂育誠分析，台

灣雖然發展出「一日生活圈」，現實是城中有鄉、鄉又有各自不同樣態，有些就此停滯、有些處境更為艱困。

二、SDG 11：永續城鄉(<https://edu.unicef.org.hk/zh-HK/SDG-11>)

建設共融、安全、能抵禦災害及可持續的城市和人類居所。

(一)主要目標

- 1.安全、可負擔的住屋
- 2.可負擔和可持續的交通運輸系統
- 3.共融和可持續的城市發展
- 4.保護世界文化和自然遺產
- 5.減少自然災害造成的負面影響
- 6.減少對城市環境的負面影響
- 7.提供安全和共融的綠色公共空間
- 8.實施政策以提升共融、資源運用效率和降低災害風險

(二)為甚麼可持續發展城市與兒童權利相關？

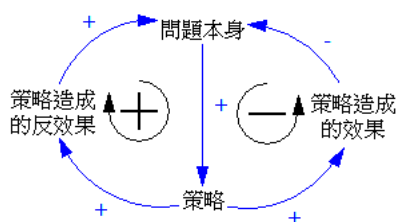
由於缺乏城市規劃和城市發展不平衡，數百萬兒童面臨著生活中的挑戰，和權利未能實踐的問題。

三、系統基模-飲鴆止渴

(一)使用時機：探討的問題是否會因為策略而更加嚴重？

(二)常使用基本變數：問題本身、策略、策略造成的效果、策略造成的反效果。

(三)因果循環圖



說明：

- 1.負環路：問題當下狀況和衰退要素形成負環路，此部分將形成平衡狀況。
- 2.正環路：問題當下狀況和成長要素形成正環路，此部分將形成滾雪球效應。

3.統整：若策略造成的效果大於反效果，問題本身狀況將穩定平衡；若反效果大於效果，問題狀況狀況將越來越多。

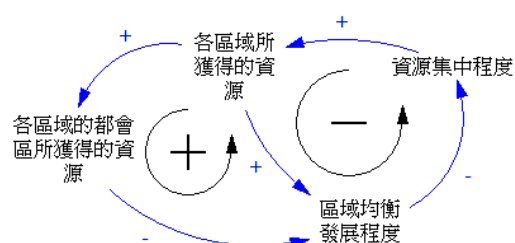
(四)上述文章中涉及系統思考-飲鴆止渴的有一段文章？請嘗試討論。

在六都出現後，反而讓城鄉差距落差更大；2011年，政府為了要達成區域均衡發展，直轄市從兩個整併為六個。事後證明，不但沒有達到平衡的效果，人流反而更多集中到都會。

「不僅是年輕人，老年人也因為都會福利、醫療和便利性，而有往市區流動的趨勢，」台北大學公共行政暨政策學系教授呂育誠觀察。

1.變數：區域均衡發展程度、資源集中程度、各區域所獲得的資源、各區域的都會區所獲得的資源。

2.討論



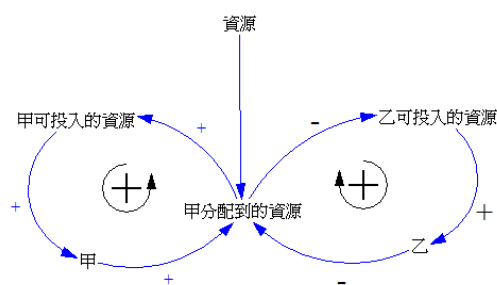
說明：各區域獲得資源越多，同時區域內的都會區應當獲得更多資源，此部分將導致區域均衡發展程度更加糟糕。

四、系統基模-富者越富

(一)使用時機：有限資源下，將資源分配時的討論。

(二)常使用基本變數：甲、乙、資源、甲分配到的資源、甲可投入的資源、乙可投入的資源。

(三)因果循環圖



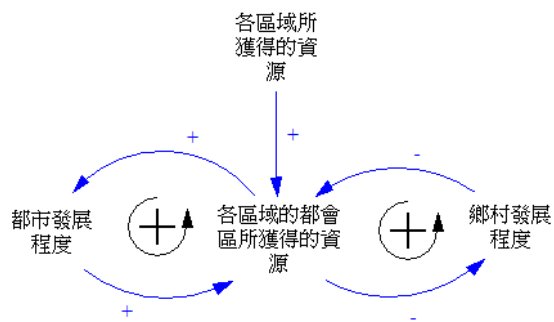
說明：

- 1.正環路：甲資源分配越多，則甲的發展會越來越好；乙的資源被甲搶走後，乙的發展會越來越差。
- 2.統整：由此系統基模可知甲、乙兩方一方會越來越好、另一方則越來越差。

(四)上述文章中涉及系統思考-富者越富的有一段文章？請嘗試討論。

資源相對拮据的台南，陳茂全的里長辦公室就設在自家，每逢颱風或大雨過後，他會騎著摩托車、載著柴刀和電鋸到處去巡視，遇到樹幹被風吹倒就跳下來砍樹枝，以方便車輛通行。「以前鄉鎮有代表會，找代表就可以爭取經費，現在都要拜託議員，」陳茂全愈說愈憤慨。

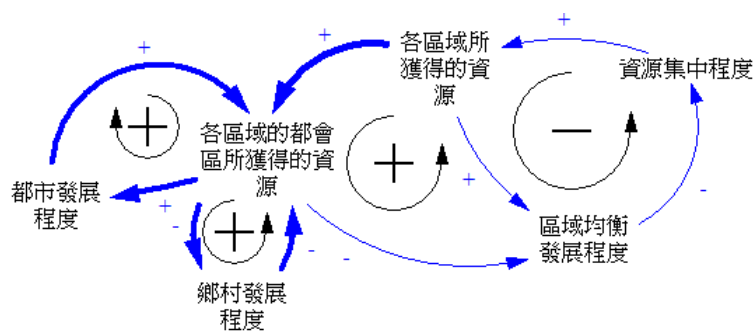
- 1.變數：各區域所獲得的資源、各區域的都會區所獲得的資源、鄉村發展程度、都市發展程度。
- 2.討論



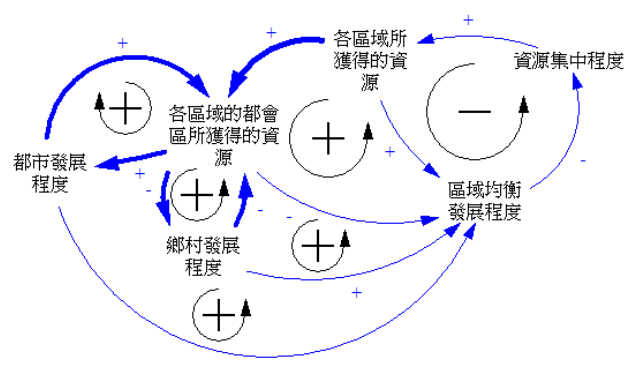
四、系統基模統整

(一)因果循環圖

1.合併討論-飲鴆止渴與富者越富的系統基模合併



2.教師提問：此因果循環圖是否有不足之處？(有，都市和鄉村的發展會影響區域均衡發展程度)



(二)討論

由上述圖形可發現，當都市和鄉村開始有差距後，情況及差距只會越來越大(因為

其所在區域皆為正環路)，因此資源集中的政策並無助於都市、鄉村的差距變小。

(三)教師提問

由類似的概念，請問教育部所提出的108課綱之自主學習方案是否能夠縮小城鄉差距？

貳、教案內容

一、課程目標

了解 SDG 11：建設共融、安全、能抵禦災害及可持續的城市和人類居所。

二、教材資料

(一)SDG 11相關信息的簡介

(二)文章-都市、鄉村發展問題

(三)系統基模-飲鴆止渴、富者越富

(四)教學步驟

教學目標	教學內容及流程	時間	教學媒體	教學評量
介紹 SDG 11、了解可持續都市和社區	1. 介紹 SDG 11 (1)介紹 SDG 11：可持續都市和社區，講解其目標和意義。 (2)強調「加強城市與鄉村的規劃與管理」，截至 2021 年為止，全球已有一半的人們居住在都市，到 2050 年，世界上將會有 2/3 的都市人口。快速都市化的所衍伸的問題層出不窮，包括基礎設施和服務不足、住進貧民窟的人越來越多、空氣品質越來越惡化等。要能規劃具社會包容、且永續發展的城市與鄉村，才能改善問題。 (3)提出問題：城市與鄉村為何發展差異越來越大？	15 分	簡報	學習單
閱讀文章並從	2. 文本閱讀 (1)由學生閱讀上文提供的關於都市與鄉村關係，著重於都	10 分	簡報、	學習單

教學目標	教學內容及流程	時間	教學媒體	教學評量
中嘗試思考文章的主角之關係	市與鄉村發展差異越來越大問題。 (2)提問學生：此篇文章的內容和 SDG 11 的主要目標和哪一個有關？是什麼關係導致城鄉差異越來愈大？		學習單	
引入系統基模-飲鳩止渴、富者越富進行討論	3. 系統基模-飲鳩止渴介紹 (1)說明飲鳩止渴概念並舉例 (2)提問學生：此篇文章涉及的系統基模-飲鳩止渴為哪段文章？ (3)嘗試繪圖並將變數連結 4. 系統基模-富者越富介紹 (1)說明富者越富概念並舉例 (2)提問學生：此篇文章涉及的系統基模-富者越富為哪段文章？ (3)嘗試繪圖並將變數連結	10 分 5 分 20 分	簡報、學習單	小組分享
由小組問題思考生態系統重要性	5. 小組討論 討論以下問題： (1)城鄉差異的主因為何？ (2)有什麼方法可以減緩城鄉差異？	20 分	學習單、小白板	小組分享
引導學生思考如何提出有效解決方式並說明	5. 討論解決方案 (1)引導學生思考，如果他們是主政者，如何由上述因果循環圖發現解決方案？ 例子：政府機關部分部門遷至部分鄉村、解決鄉村的交通問題。 (2)學生以小組或個人形式分享解決方案。	20 分	學習單、小白板	小組報告

附件2：研發教案 2

SDG 13：氣候行動－交通堵塞導致空氣汙染物排放問題

壹、教材資料

一、問題情境

以台北市立陽明高中為例，陽明高中位於台北市的士林區，雖然位於士林區但距離士林捷運站有相當的距離(1公里)，該校的學生在上下學期間若搭乘捷運，需要再轉公車才到校，在這樣的過程中除了讓上下學時間增加、增加交通堵塞的可能外，也同時增加空氣汙染物排放量的可能性，因此想藉此討論在此情境下，交通堵塞導致空氣汙染物的排放問題。

二、SDG 13：氣候行動(<https://edu.unicef.org.hk/zh-HK/SDG-13>)

採取迫切行動應對氣候變化及其影響。

(一)主要目標

- 1.加強抗災能力及復原能力
- 2.將氣候變化措施納入政策和規劃之中
- 3.提升應對氣候變化的知識和能力
- 4.落實《聯合國氣候變化框架公約》
- 5.建立有效機制，以提升應對氣候變化的計劃及管理能力

(二)為甚麼應對氣候變化與兒童權利相關？

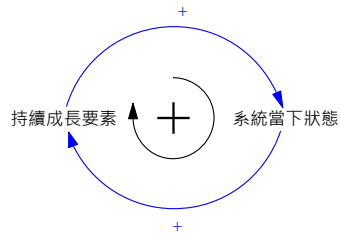
兒童容易受到氣候變化有關的自然災害所影響。為了提供安全的環境給所有兒童，我們需要採取迫切行動。

三、系統基模-持續成長

(一)使用時機：探討單一事件有一個變數持續影響。

(二)常使用基本變數：持續成長要素、系統當下狀態。

(三)因果循環圖



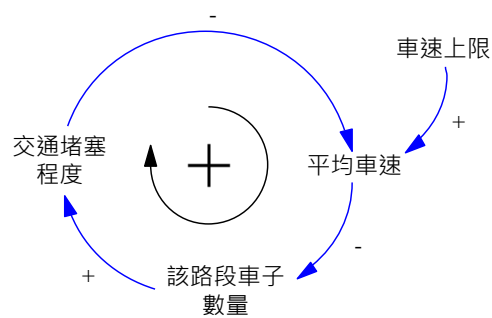
說明：

1.正環路：系統當下狀態和持續成長要素形成正環路，此部分將讓狀態有滾雪球現象。

(四)請由上述問題情境中以交通堵塞的程度探討系統思考-持續成長。

1.變數：交通堵塞程度、該路段車子數量、平均車速、車速上限。

2.討論



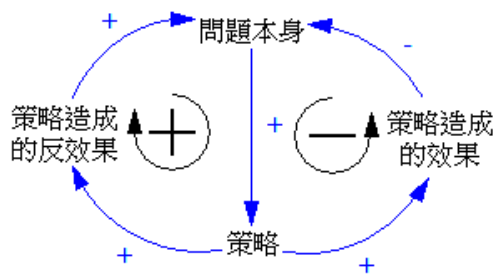
說明：由上方因果循環圖可容易知道若交通堵塞後，除非有外力協助或者車子不再持續進入該路段，否則交通堵塞程度只會越來越嚴重。

四、系統基模-飲鴆止渴

(一)使用時機：探討的問題是否會因為策略而更加嚴重？

(二)常使用基本變數：問題本身、策略、策略造成的效果或反效果。

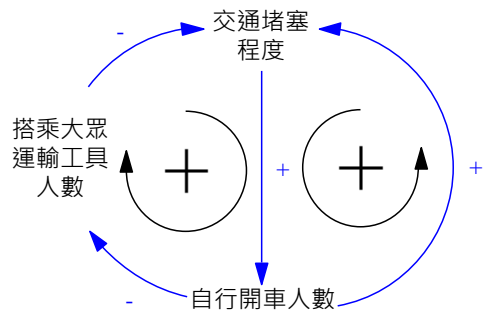
(三)因果循環圖



(四)請由上述問題情境中以交通堵塞的程度探討系統思考-飲鳩止渴。

1.變數：交通堵塞程度、搭乘大眾運輸工具人數、自行開車人數。

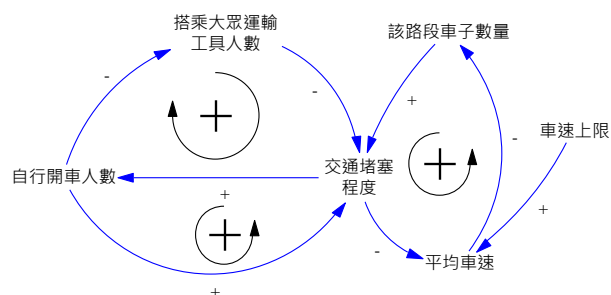
2.討論



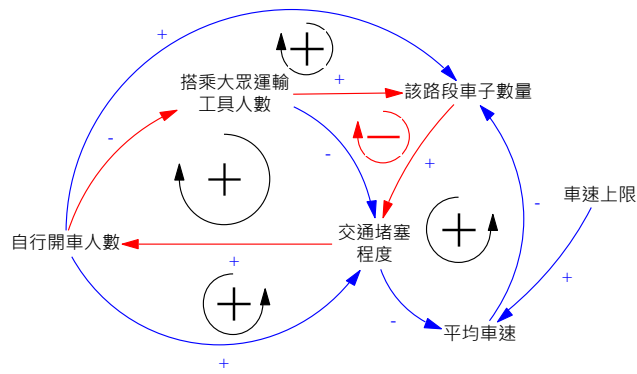
五、系統基模統整

(一)因果循環圖

1.合併討論-持續成長與飲鳩止渴的系統基模合併



2.教師提問：此因果循環圖是否有不足之處？(有，部分變數應有關聯)



(二) 討論

藉由上方圖形的統整後，能發現除了紅色標註的部份為負環路(表此迴圈的各變數能達到平衡)外，其餘皆為正環路(即為只會加劇同方向進行)，因此代表著整體的模型狀況只會越來越糟。

貳、教案內容

一、課程目標

了解 SDG 13：採取迫切行動應對氣候變化及其影響。

二、教材資料

(一)SDG 13相關信息的簡介

(二)問題情境-交通堵塞問題

(三)系統基模-持續成長、富者越富

(四)教學步驟

教學目標	教學內容及流程	時間	教學媒體	教學評量
介紹 SDG 13、加強抗災	1. 介紹 SDG 113 (1)介紹 SDG 13：氣候行動。 (2)強調「加強抗災能力及復原能力」，蘇郁晴(2021)指出，「全世界都正面臨極端氣候的影響，當問題越來越嚴重，各國就需思考該祭出哪些足以降低傷害、或有助於改善氣	15 分	簡報	學習單

教學目標	教學內容及流程	時間	教學媒體	教學評量
能力及復原能力	候變遷的計畫，以適應現況、同時也為未來做好準備。」 (3)提出問題：交通堵塞是否會造成排放空氣汙染物？			
從問題情境反思日常生活中是否有相關情況？	2. 情境探討 (1) 從問題情境反思日常生活中是否有相關情況？ (2) 提問學生：請同學舉生活情況是否有和問題情境類似？	10 分	簡報、學習單	學習單
引入系統基模-持續成長-富者越富進行討論	3. 系統基模-持續成長介紹 (1) 說明持續成長概念並舉例 (2) 提問學生：情境涉及的系統基模-持續成長為哪段文章？ (3) 嘗試繪圖並將變數連結 4. 系統基模-富者越富介紹 (1) 說明富者越富概念並舉例 (2) 提問學生：情境涉及的系統基模-富者越富為哪段文章？ (3) 嘗試繪圖並將變數連結	10 分 5 分 20 分	簡報、學習單	小組分享
由小組問題思考交通堵塞問題	5. 小組討論 討論以下問題： (1) 交通堵塞的主因為何？ (2) 有什麼方法可以減緩交通堵塞？	20 分	學習單、小白板	小組分享
引導學生思考如何提出有效解決方式並說明	5. 討論解決方案 (1) 引導學生思考，如果他們是主政者，如何由上述因果循環圖發現解決方案？ (2) 學生以小組或個人形式分享解決方案。	20 分	學習單、小白板	小組報告

附件3：研發教案3

SDG 14：保育海洋生態

壹、教材資料

一、文章導讀

取自阿拉斯加靠七個改變 漁產災區翻身高檔魚王國

文 黃家慧 今週刊972期 發布時間：2015-08-06

美國西雅圖的派克市場（Pike Place Market），是咖啡帝國星巴克的創始地，還有另一個知名景點「派克魚攤」，以「丟魚」聞名。三十歲的魚販麥可拿起一條七十公分長的鮭魚，往櫃檯一擲，一邊大聲唱著「三條鮭魚飛向威斯康辛」，另一位魚販應聲接住，圍觀群眾發出熱烈掌聲。魚販辛瓦格拿起一塊煙燻鮭魚給《今周刊》採訪團隊品嚐，一邊自豪地說：「我們的魚，六成來自阿拉斯加，我愛死阿拉斯加的魚了！它是世界上最好的，而且來自全世界最乾淨的水域！」

二〇一三年《經濟學人》報導，野生魚價格從一九九〇年至二〇一二年，飆升近一倍，挪威斯塔凡格大學教授艾許在報導中表示，再過二十年，野生魚種將和鹿肉一樣難以買到。同一時期，阿拉斯加漁業卻是欣欣向榮，野生鮭魚洄游量節節攀升，一四年的捕獲量比上個世紀高點又翻一倍，從一・二億隻提升至二・二億隻。

身為全球「野生鮭魚最大倉庫」的阿拉斯加，國際知名量販店好市多旗下品牌Kirkland，都靠它生產鮭魚罐頭；台灣速食龍頭麥當勞，也標榜魚堡採用阿拉斯加的狹鱈；日本人最愛的明太子，也取自阿拉斯加珍貴的狹鱈魚卵。能在全球漁業占有一席之地，多虧了阿拉斯加人超過五十年對「海洋永續」的堅持。

阿拉斯加的漁業有上百年歷史，但曾在上世紀觸礁。一九五〇年以前，鮭魚是主

要漁獲來源，卻因為魚罐頭業的擴張導致過撈，使得鮭魚漁獲量狂跌，三○年代到七○年代，從一・二億隻降到僅剩二千萬隻，連當時美國總統艾森豪都稱阿拉斯加為「災區」。

「鮭魚保育」成為阿拉斯加在一九五九年立州的核心原因，特地將「魚群為全民共同財產、永續管理方式、禁止漁業專有權」等永續概念寫入州法中，可見當地居民對鮭魚業永續的重視。立法之後，阿拉斯加多年來致力推行七大措施，不但讓阿拉斯加脫離紅色警戒，還成為世界漁業永續的典範。

二、SDG 14：保育海洋生態(<https://edu.unicef.org.hk/zh-HK/SDG-14>)

保育和可持續地使用海洋和海洋資源以促進可持續發展。

(一)主要目標

- | | |
|------------------------|--------------|
| 1. 減少海洋污染 | 2. 保護和恢復生態系統 |
| 3. 減少海洋酸化 | 4. 可持續捕撈 |
| 5. 停止那些會導致過度捕撈的漁業補貼 | 6. 支持小規模漁民 |
| 7. 增加可持續利用海洋資源獲得的經濟效益 | |
| 8. 實施和執行國際海洋法安全、可負擔的住屋 | |

(二)為甚麼可持續發展城市與兒童權利相關？

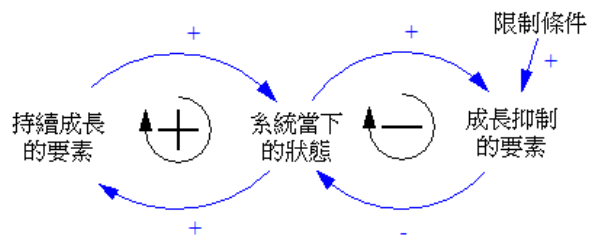
海洋覆蓋了70%地球表面。海洋退化對兒童成長的環境、經濟和社會有深遠影響。

三、系統基模-成長上限

(一)使用時機：探討單一事件有一個持續邁進但有限制的目標。

(二)常使用基本變數：系統當下的狀態、持續成長的要素、成長抑制的要素、限制條件。

(三)因果循環圖



說明：

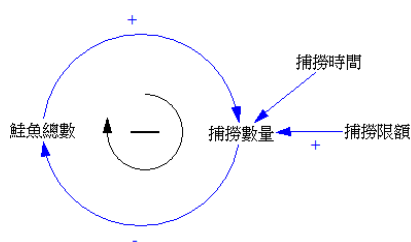
- 1.負環路：系統當下的狀態和成長抑制的要素形成負環路，此部分將形成平衡狀況。
- 2.正環路：系統當下的狀態和持續成長要素形成正環路，此部分將形成滾雪球效應。
- 3.統整：若持續成長要素造成的效果小於成長抑制的要素，問題本身狀況將穩定平衡；若反持續成長要素大於成長抑制的要素，則可能超越限制條件的要求，導致成長抑制的要素增加，因此會讓系統當下的狀態達到平衡。

(四)阿拉斯加的措施中，捕撈限額和季節性禁捕通過限制過度捕撈來保護鮭魚種群，

防止種群過度減少，請嘗試利用以上系統基模進行討論。

1.變數：鮭魚總數、捕撈數量、捕撈限額、捕撈時間

2.討論



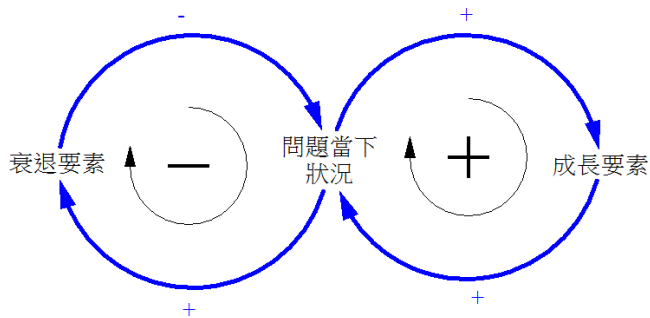
說明：在鮭魚總數越多時，捕撈數量越多、捕撈數量越多時，鮭魚數量越少，因此鮭魚最後應會達到穩定平衡(即數量變得極低)，而阿拉斯加的措施使得捕撈時間固定外，在捕撈時間內只能捕撈固定量，因此最後捕撈數量能夠被限制後，鮭魚數量會因相關限制能夠部份增加。

四、消長競爭

(一)使用時機：當系統遇到有著成長要素及衰退要素。

(二)常使用基本變數：問題當下狀況、成長要素、衰退要素。

(三)因果循環圖



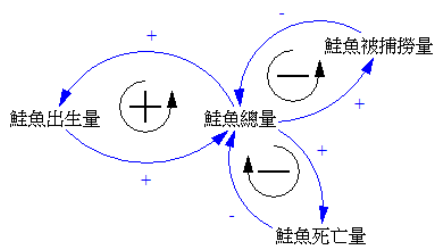
說明：

- 1.負環路：問題當下狀況和衰退要素形成負環路，此部分將形成平衡狀況(趨近0)。
- 2.正環路：問題當下狀況和成長要素形成正環路，此部分將形成滾雪球效應(越來越多)。
- 3.統整：若衰退要素影響大於成長要素，問題當下狀況將趨近0；若成長要素影響大於衰退要素，問題當下狀況將越來越多。

(四)上述文章中涉及系統思考-消長競爭，請針對鮭魚的變化進行討論。

1.變數：鮭魚總量、鮭魚被捕撈數量、鮭魚出生量、鮭魚自然死亡量。

2.討論



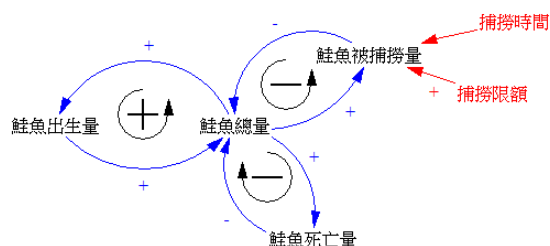
說明：鮭魚總量會隨著出生量、死亡量及被捕撈量有關，因此會形成兩個平衡環路、

一個增強環路。

五、系統基模統整

(一)因果循環圖

1.合併討論



2.教師提問：如何看待阿拉斯加所進行的政策？對於保育海洋生態有什麼影響？

貳、教案內容

一、課程目標

了解 SDG 14：保育和可持續地使用海洋和海洋資源以促進可持續發展。

二、教材資料

(一)SDG 14相關信息的簡介

(二)文章-阿拉斯加靠七個改變 漁產災區翻身高檔魚王國

(三)系統基模-成長上限、消長競爭

(四)教學步驟

教學目標	教學內容及流程	時間	教學媒體	教學評量
介紹 SDG 14、保育和可持續地使用海洋和海洋資源以促進可持續發展	1. 介紹 SDG 14 (1)介紹 SDG 14：保育和可持續地使用海洋和海洋資源以促進可持續發展。 (2)強調及說明阿拉斯加的政策。 (3)提出問題：阿拉斯加的政策是否和保育海洋生態有關？為什麼？	15 分	簡報	學習單
閱讀文章並從中	2. 文本閱讀	10 分	簡	學習

教學目標	教學內容及流程	時間	教學媒體	教學評量
嘗試思考文章的主角之關係	(1)由學生閱讀上文提供的內容，讓學生思考鮭魚總量與政策的關係。 (2)提問學生：此篇文章的內容和 SDG 14 的主要目標和哪一個有關？		報、學習單	單
引入系統基模-成長上限、消長競爭進行討論	3. 系統基模-成長上限介紹 (1)說明成長上限概念並舉例 (2)提問學生：此篇文章涉及的系統基模-成長上限為哪部份？ (3)嘗試繪圖並將變數連結 4. 系統基模-消長競爭介紹 (1)說明富者越富概念並舉例 (2)提問學生：此篇文章涉及的系統基模-消長競爭為哪部份？ (3)嘗試繪圖並將變數連結	10 分 5 分 20 分	簡報、學習單	小組分享
由小組問題思考生態系統重要性	5. 小組討論 討論以下問題： (1) 如何將上述的兩個系統基模結合？ (2) 將兩個系統基模結合後，如何進行說明？	20 分	學習單、小白板	小組分享
引導學生思考如何提出有效解決方式並說明	6. 討論解決方案 (1)引導學生思考，如果他們是主政者，如何由上述因果循環圖說明其政策優點？ (2)學生以小組或個人形式分享政策優點。	20 分	學習單、小白板	小組報告

附件4：研發教案 4

SDG 15：陸地生態－凱巴布森林的野鹿

壹、教材資料

一、文章導讀：鹿和狼的故事-胡勘平

20世紀初，美國亞利桑那州北部的凱巴布森林還是松杉蔥鬱，生機勃勃。有四千只左右的鹿在林間出沒，兇惡殘忍的狼是鹿的大敵。

美國總統西奧多·羅斯福很想讓凱巴布森林裡的鹿得到有效的保護，繁殖得更多一些。他宣布凱巴布森林為全國狩獵保護區，並決定由政府雇用獵人到那裡去消滅狼。

槍聲在森林中回盪。在獵人冰冷的槍口下，狼接連發出慘叫，一命嗚呼。經過25年的獵捕，有數千只狼先後斃命。森林中其他以鹿為捕食對象的野獸（如豹子）也被獵殺了很多。

得到特別保護的鹿成了凱巴布森林中的「寵兒」，在這個「自由王國」裡，它們自由自在地生長繁育，自由自在地啃食樹木，過著沒有危險、食物充足的幸福生活。

很快，森林中的鹿增多了，總數超過了十萬只。十萬多只鹿在森林中東啃西啃，灌木叢吃光了就啃食小樹，小樹吃光後又啃食大樹的樹皮……一切能被鹿吃的植物都難逃厄運。森林中的綠色植被在一天天減少，大地露出的枯黃在一天天擴大。

災難終於降臨到鹿群頭上。先是饑餓造成鹿的大量死亡，接著又是疾病流行，無數只鹿消失了蹤影。兩年之後，鹿群的總量由十萬只銳減到四萬只。到1942年，整個凱巴布森林中只剩下不到八千只病鹿在苟延殘喘。

羅斯福無論如何也想不到，他下令捕殺的惡狼，居然也是森林的保護者！狼吃鹿看起來殘忍，卻維護著鹿群的種群穩定。這是因為，狼吃掉一些鹿後，就可以將森林

中鹿的總數控制在一個合理的範圍，森林也就不會被鹿群糟蹋得面目全非。同時，狼吃掉的多數是病鹿，又有效地控制了疾病對鹿群的威脅。而羅斯福下定決心要保護的鹿，一旦數量超過森林可以承受的限度，就會破壞森林生態系統的穩定，給森林帶來巨大的生態災難。也就是說，過多的鹿會成為毀滅森林的罪魁禍首。

這與人們對狼和鹿的認識似乎是相矛盾的。童話中，狼幾乎永遠擔著欺負弱小的惡名。如，中國「大灰狼」的故事和西方「小紅帽」的故事。而鹿則幾乎總是美麗、善良的化身。狼是兇殘的，所以要消滅；鹿是善良的，所以要保護。羅斯福保護鹿群的政策，就是根據這種習慣看法和童話原則制定的。

凱巴伯森林中發生的這一系列故事說明，生態的「舞台」上，每一種生物都有自己的角色。森林中既需要鹿，也需要狼。僅僅根據人類自身的片面認識，去判定動物的善惡益害，有時會犯嚴重的錯誤。

Story of Deer and Wolf (Hu Kanping,translated by: alexcwl; edited by: Adam Lam)

In the 20th century, Kaibab National Forest in the northern part of Arizona State, USA, was luxuriantly grown with fir trees with vigorous vibrancy everywhere.

There were approximately four thousand deer hanging around in the woods, and ferocious wolves were their most life-threatening enemies.American President Theodore Roosevelt wanted deer in Kaibab National Forest to be effectively protected so that their population could thrive.He pronounced Kaibab National Forest to be a nationwide game reserve, and also decided the government would hire hunters to go there and annihilate wolves.Sounds of gunfire echoed in the forest.

At the merciless gunpoint of hunters, ongoing painful screeches of massacred wolves rang out. After twenty-five years of hunting, several thousand wolves died one after another. Plenty of other deer-eating wild animals in the forest, such as leopards, were also hunted and killed. Under special protection, deer became the “darlings” of Kaibab National Forest. In this “realm of freedom”, they were at liberty to thrive, gnaw on trees, and live a danger-free, well-fed and happy life.

Very quickly deer in the forest increased in number, and the total exceeded one-hundred-thousand. One hundred thousand deer chewed around in the forest, and when they finished eating away shrub bushes, then they began gnawing at small trees.

After they had gone through with all the small trees, they started biting off bark of big trees. All the plants edible by deer could not escape their ill-fate. Day by day green vegetation in the forest decreased, and burnt yellowish color of withered plants in the vast land began to expand. Finally catastrophe descended on the deer population in the area. At first hunger struck which caused deer to die in droves.

Then diseases followed and wiped out countless deer. Two years later the total number of deer dropped sharply from one-hundred-thousand to only forty-thousand.

When 1942 arrived, less than eight thousand sick deer left in the entire Kaibab Forest struggling for survival. Roosevelt never would have thought the wolves which he ordered to kill actually were protectors of the forest. The eating of deer by wolves could appear cruel, but it was done to maintain stability of the deer population. That was because after eating some deer by wolves,

the number of deer in the forest could be controlled within a reasonable limit and so the forest would not be ravaged by deer. At the same time, most of the deer eaten by wolves were sick and so it would effectively control the threat of disease to deer. But Roosevelt was determined to protect deer. Once the number of deer exceeded the limit that the forest could bear, stability of the forest's ecosystem was disrupted. Such brought about huge ecological disaster to the forest. That is to say an excess of deer was the culprit in the destruction of the forest. This reality seems to contradict what people's understanding about wolf and deer. In fairy tales, wolf always seems to have burdened with the notoriety of bullying the weak, as typified by the Chinese story of "Big Timber Wolf" and the western story of "Little Red Riding Hood". On the other hand, deer has always been the epitome of beauty and kindness. Wolf is vicious and therefore must be exterminated. Deer is kindhearted and therefore must be protected. Roosevelt's deer conservation policy was drafted pursuant to these customary views and fairy-tale principles. The series of events which happened in Kaibab Forest illustrates that on the ecology "stage", every type of living beings has its own role. The forest needs deer but also needs wolves. Merely basing on humans' partial understanding to judge whether an animal is good or evil could sometimes be a serious mistake.

二、SDG 15：陸地生態(<https://edu.unicef.org.hk/zh-HK/SDG-15>)

保護、恢復和促進可持續使用的陸上生態系統、可持續管理森林、對抗荒漠化及制止生物多樣性喪失的現象。

(一)主要目標

1. 保護、恢復陸地和淡水生態系統

2. 停止伐木，恢復已退化的森林

- 3.停止荒漠化，恢復已退化的土地
- 4.確保山區生態系統的保護
- 5.保護生物多樣性和自然棲息地
- 6.消除非法捕獵和販賣受保護物種的行為
- 7.防止外來物種入侵土地和水域的生態系統
- 8.促進遺傳基因資源的使用和公平分享當中的利益

(二)為甚麼陸上生態保育與兒童權利相關？

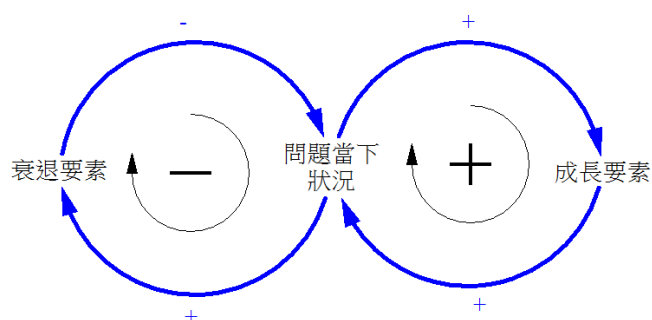
人類依靠生態系統來提供自然資源。因此，推動可持續的陸上生態系統，將直接影響兒童所居住及承繼的環境。

三、系統基模-消長競爭

(一)使用時機：當系統遇到有著成長要素及衰退要素。

(二)常使用基本變數：問題當下狀況、成長要素、衰退要素。

(三)因果循環圖



說明：

- 1.負環路：問題當下狀況和衰退要素形成負環路，此部分將形成平衡狀況(趨近0)。
- 2.正環路：問題當下狀況和成長要素形成正環路，此部分將形成滾雪球效應(越來越多)。
- 3.統整：若衰退要素影響大於成長要素，問題當下狀況將趨近0；若成長要素影響大於衰退要素，問題當下狀況將越來越多。

(四)狼與野鹿文章中涉及的系統基模-消長競爭有哪些角色？請嘗試繪圖並討論。

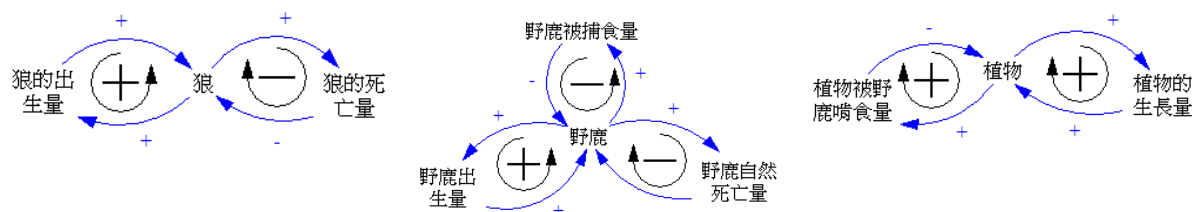
- 1.變數：狼、野鹿、植物

2.變數整理

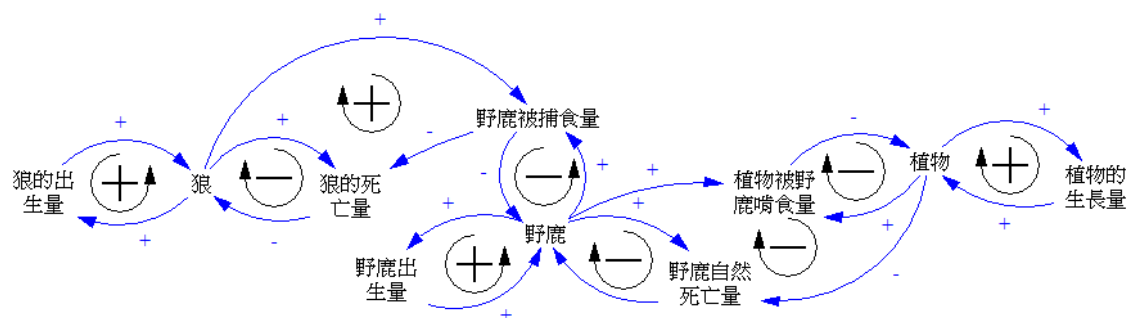
(1)狼、狼的死亡量、狼的出生量

(2)野鹿、野鹿的自然死亡量、野鹿的出生量、野鹿被捕食量

(3)植物、植物的生長量、植物被野鹿的啃食量



3.合併討論

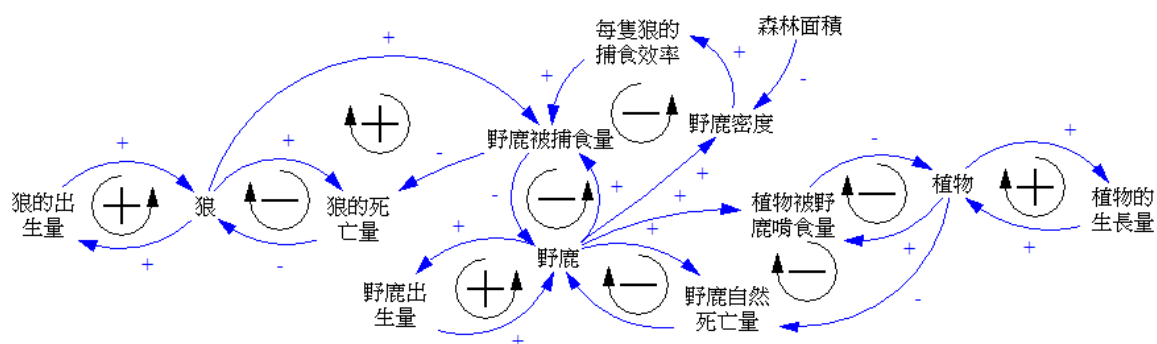


4.教師提問：上方是否有不合理的地方？實際上的情況應為如何？

野鹿的被捕食量會一直增加。野鹿的被捕食量會因野鹿數量而有所改變。

5.教師說明

野鹿的被捕食量應會和野鹿的密度有關，因此應增加森林面積、野鹿密度以及每隻狼的捕食效率，若密度越高效率越高。



貳、教案內容

一、課程目標

了解 SDG 15：陸地生態-保育及永續利用陸域生態系，以確保生物多樣性，並防止土地劣化。藉由一個故事理解生態平衡和生物多樣性方面的重要性。

二、教材資料

(一)SDG 15相關信息的簡介

(二)狼與野鹿的文章

(三)系統基模-消長競爭

(四)教學步驟

教學目標	教學內容及流程	時間	教學媒體	教學評量
介紹 SDG 15、了解陸地生態概念	1. 介紹 SDG 15 (1)介紹 SDG 15：陸地生態，講解其目標和意義。 (2)強調土地生態系統和生物多樣性的保護。 (3)提出問題：為什麼維護陸地生態平衡如此重要？	15 分	簡報	學習單
閱讀文章並從中嘗試思考文章的主角之關係	2. 文本閱讀 (1)由學生閱讀上文提供的關於狼與野鹿的文章，強調文章中狼和野鹿之間的相互依賴關係。 (2)提問學生：此篇文章的內容和 SDG 15 的主要目標和哪一個有關？狼與野鹿之間的相互作用如何幫助維護陸地生態平衡？	10 分	簡報、學習單	學習單
引入系統基模-消長競爭進行	3. 系統基模-消長競爭介紹 (1)說明消長競爭概念並舉例 (2)提問學生：此篇文章涉及的系統基模-消長競爭有哪些變數？ (3)嘗試繪圖並將變數連結	10 分 5 分 20 分	簡報、學習單	小組分享

教學目標	教學內容及流程	時間	教學媒體	教學評量
討論				
由小組問題思考生態系統重要性	4. 小組討論 討論以下問題： (1)為什麼狼被視為生態平衡的保護者？ (2)狼與野鹿之間的相互作用如何影響森林生態系統？ (3)如果沒有狼，會發生什麼？	20 分	學習單、小白板	小組分享
引導學生思考如何提出有效解決方式	5. 討論解決方案 (1)引導學生思考，如果他們是自然保護者，如何在維護陸地生態平衡方面採取行動？ 例子：保護野生動植物棲息地、支持野生動物保護組織、倡導氣候行動等。 (2)學生以小組或個人形式分享解決方案。	20 分	學習單、小白板	小組報告

