

南華大學企業管理系管理科學博士班博士論文

A DISSERTATION FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY

Ph.D PROGRAM IN MANAGEMENT SCIENCES

DEPARTMENT OF BUSINESS ADMINISTRATION

NANHUA UNIVERSITY

三維人工海洋生態進化計算之研究

THE RESEARCH OF 3D ARTIFICIAL MARINE ECOSYSTEM EVOLUTION

COMPUTATION

指導教授：藍俊雄 博士

ADVISOR : CHUN-HSIUNG LAN Ph.D.

研究生：郭昭華

GRADUATE STUDENT : CHAO-HUA KUO

中 華 民 國 1 0 3 年 1 月

# 南 華 大 學

企業管理系管理科學博士班

## 博 士 學 位 論 文

三維人工海洋生態進化計算之研究

研究生：郭昭華

經考試合格特此證明

口試委員：李心明

藍天雄

陳忠勝

吳少華

鄧少華

指導教授：吳少華

系主任：葉國忠

口試日期：中華民國 102 年 12 月 20 日

## 準博士推薦函

本校企業管理系管理科學博士班研究生郭昭華君在本系修業四年，已經完成本系博士班規定之修業課程及論文研究之訓練。

1、在修業課程方面：郭昭華君已修滿 36 學分，其中必修科目：最佳化理論、作業研究理論、書報討論等科目，成績及格(請查閱博士班歷年成績)。

2、在論文研究方面：郭昭華君在學期間已完成下列論文：

(1)博士論文：三維人工海洋生態進化計算之研究

(2)學術期刊：

A.(EI) Kuo-Torng. Lan, Chun-Hsiung Lan and, Chao-Hua Kuo, "The 3D Artificial Reef Ecology Design and Deployment", Journal of Convergence Information Technology, Vol 7, N0.6, pp.86-94, 2012 .

B.(SCI) Chih-Yao Lo, Pin-Chang Chen, Cheng-I Hou, Chun-Hsiung Lan, Chao-Hua Kuo, "The Analysis of Seasonal Fish Quantity with Artificial Intelligent Theory", Advanced Science Letters, Vol 19, N0.9, pp. 2585-2590, 2013.

C.(EI)Chun-Hsiung Lan, Kuo-Torng. Lan, and, Chao-Hua Kuo, "The Construction of a Marine Ecological Ranch with Floating 3D Artificial Reefs", Advances in Information Sciences and Service Sciences, 2013.

本人認為郭昭華君已完成南華大學企業管理系管理科學博士班之博士養成教育，符合訓練水準，並具備本校博士學位考試之申請資格，特向博士資格審查小組推薦其初稿，名稱：三維人工海洋生態進化計算之研究，以參加博士論文口試。

指導教授：吳 志 強 簽章

中華民國102年12月20日

## 誌謝

記得收到錄取通知時，心中雖非常高興，卻開始擔心自己要上班又要上課不知能否兼顧，加上每周來回要開 4 個多小時、300 多公里的车到嘉義上課，開始猶豫是否報到註冊；經由家人的鼓勵，於是提起了勇氣，開始漫長的博士學業。然期間因工作繁忙、女兒剛出生亟需照顧之際，多次想休學暫停學業，但是我的指導教授藍俊雄老師，不斷的鼓勵我不要放棄，並告訴我當年他念博士班時，女兒也剛出生，因為太太要上班且非常忙，所以女兒都是他在照顧，常常揹著女兒寫論文，那時真的非常累，但我還是撐過來了，你如果放棄或中斷，要再繼續念就很難了。

為了不讓老師與家人失望，昭華要求自己絕不能輕言放棄，加上就學期間承蒙指導教授藍俊雄老師不斷的教導與協助，皆使我受益非淺，課業均能順利通過，心中萬分感激。此外博士班同學：美華與慈雲、舒怡學妹等人平常的照顧，美淑姊行政上的協助，讓我在這四年來備感溫馨，覺得來學校上課是件很開心的事，真的非常謝謝你們。

回想這四年來，每周開車往返頭份與嘉義，總共行駛約 500 小時、3 萬 8800 公里長，能堅持能唸完真的要感謝：指導教授藍俊雄老師、陳焱勝校長、黃國忠主任、范惟翔老師、郭東昇老師、研究所的藍天雄教授、羅智耀教授、口試委員鄧少華教授、陳以明教授、中科院的長官、在工作上幫忙我的立凡學長、偉明學長、瑞彬學長、釗勇大哥、忠義大哥、碧華媽媽、佳龍學弟、平常照顧我的慶堂大哥、文美媽媽、美香媽媽、美惠媽媽、文芬媽媽、秀櫻媽媽、以及永遠都支持我的家人，還有非常多曾經幫助我、關心我的朋友們，因為有你，昭華才能獲得博士學位，在此謹致最深的謝意，銘感於心。

郭昭華 謹致於苗栗頭份 2013/12/28

# 南華大學企業管理系管理科學博士班

## 102 學年度第 1 學期博士論文摘要

論文題目：三維人工海洋生態進化計算之研究

研究生：郭昭華

指導教授：藍俊雄 博士

論文摘要內容：

海洋為地球生物緣起，面積佔地球約 70%，生物遠比陸地多源珍貴，為地球最大的維生系統，提供人類新鮮空氣、食物與氣候之調節；惟因人類過度的捕撈及環境的汙染，導致海洋資源不斷的枯竭。為復育地球的海洋資源，近幾年世界各鄰海國不惜巨資，投放已被證實具有吸引海洋生物聚集能力的人工魚礁。惟政府近年來因財政緊縮，且投放人工魚礁，必須進行嚴密的海底探測，選擇合適的地點投放；但海底結構複雜，合適的地點不易選擇，若選擇錯誤，將因魚礁投放所產生之巨大衝擊力，造成海床破壞，並成為海底巨大垃圾，導致近年來已無再投放人工魚礁，惟海洋生態復育不能是口號；本研究以復育海洋生態為前提，應用基因演算建構三維立體多變的人工海洋生態棲息地，提供海洋生物棲息、覓食、成長與繁殖，為避免投放錯誤，且台灣周邊海域中的營養鹽濃度分布，以五-五十公尺深較多，故本研究之人工海洋生態由海平面向下建構，適合布建於台灣周邊海域；另因現階段尚不能準確量化投放效益，本研究再以類神經網路預測不同季節於三維人工海洋生態的魚群數量，量化復育實際成效，達成復育海洋生態、減緩溫室氣體所造成地球暖化之情形，並提供海洋生態觀光，以增進國家經濟的發展。

關鍵詞：人工海洋生態、基因演算、碎形維度、類神經網路

Title of Dissertation : The Research of 3D Artificial Marine Ecosystem  
Evolution Computation

Department : Ph.D Program in Management Sciences, Department of Business  
Administration, Nanhua University

Graduate Date : January 2014                      Degree Conferred : Ph.D.

Name of Student : Chao-Hua Kuo                      Advisor : Chun-Hsiung Lan Ph.D.

## **Abstract**

The ocean is the origin of life on earth. It approximately occupies seventy percent of the Earth's surface area. The ocean is the largest and most important living system on Earth. It provides human beings with fresh air, sustenance, and plays the role of climate regulation. Its resources are relatively richer and more precious than the land on Earth. However, people's frequent overfishing and the environment pollution lead to the constant depletion of marine resources. In recent years, nations by the ocean have invested enormous amounts of money in restoring marine resources by constructing artificial reefs which have been shown to be capable of attracting and gathering marine life. It's not easy to choose the right location. If the artificial reefs are placed in the wrong location, they will become big wastes which destroy the seabed structure. Due to the complicated seafloor topography, the difficult exploration work requires lots of funds to choose a proper location to locate the reefs. Therefore, the construction is actually affected by the government's fiscal austerity. In fact, the policy of deploying artificial reefs is no longer during the promotion in governments now. We all know the marine ecosystem restoration is an imperative, not a slogan. If we

forecast the right location accurately, most problems will be saved. In this paper, we apply genetic algorithms to construct 3D artificial marine ecosystems which can adapt to environmental changes to construct habitats for marine life and naturally attract various sea animals to settle and form marine ecosystems. The higher concentration of nutrients in the seawater surrounding Taiwan mostly locates in 5 to 50 meters ocean deep. Therefore, we work on the study of constructing the 3D artificial marine ecosystem below the sea level to fit Taiwan's coastal waters. Because there have not been any accurate data of quantifying the efficiency and benefit, we apply the neural network to predict the fish quantity of different seasons and quantity the actual results of restoration in the 3D artificial marine ecosystems. This study can be achieved in the marine ecosystem restoration and the global warming mitigation. Most of all, the construction of 3D artificial marine ecosystems will provide the marine eco-tourism, promote diversified developments of marine industries, and further enhance national economic developments.

Keywords: Artificial Marine Ecological, Genetic Algorithms, Fractal Dimension, Neural Network

# 目 錄

中文摘要	.....	i
英文摘要	.....	ii
目 錄	.....	iv
表目錄	.....	vi
圖目錄	.....	vii
第一章	緒論.....	1
1.1	前言.....	1
1.2	研究背景.....	2
1.3	研究動機與目的.....	4
1.4	研究架構.....	9
第二章	文獻探討.....	11
2.1	進化計算.....	11
2.1.1	基因演算法.....	11
2.1.2	演化策略.....	16
2.1.3	演化規劃.....	18
2.1.4	螞蟻演算法.....	20
2.2	類神經網路.....	22
2.2.1	類神經網路之架構.....	23
2.2.2	類神經網路學習模式.....	24
2.2.3	倒傳遞類神經網路.....	25
2.3	碎形理論.....	27
2.3.1	相關運用與文獻.....	27
2.3.2	碎形維度.....	29
2.4	人工海洋生態.....	31
2.4.1	國外生態概況.....	31
2.4.2	國內生態概況.....	32
2.5	海洋生態保育.....	37
2.5.1	國外保育現況.....	37

2.5.2	國內保育現況.....	39
2.6	海洋生態開發.....	40
2.6.1	國外發展現況.....	41
2.6.2	國內發展現況.....	42
第三章	研究方法.....	45
3.1	基因演算.....	45
3.2	碎形維度.....	46
3.3	類神經網路.....	48
3.4	研究參數設計.....	49
第四章	模型建構.....	50
4.1	人工海洋生態模型 1.....	50
4.2	人工海洋生態模型 2.....	52
4.3	魚群預測架構與模型.....	54
4.3.1	魚群預測架構.....	55
4.3.2	魚群預測模型.....	59
第五章	結論與建議.....	62
5.1	結論與建議.....	62
5.2	未來研究方向.....	64
參考文獻	中文文獻.....	66
	英文文獻.....	68
個人簡歷	.....	75

## 表 目 錄

表 1.1	台灣地區漁業產量表.....	3
表 1.2	軍艦礁統計表.....	36
表 3.1	輸入矩陣轉換對照表.....	48



# 圖目錄

圖 1.1	綠島投電桿礁復育不成壓死珊瑚圖.....	1
圖 1.2	台灣地區漁業產量圖.....	3
圖 1.3	台灣周邊海域硝酸鹽濃度分布圖.....	6
圖 1.4	台灣周邊海域磷酸鹽濃度分布圖.....	7
圖 1.5	台灣周邊海域矽酸濃度分布圖.....	8
圖 1.6	研究架構流程圖.....	10
圖 2.1	基因演算法流程圖.....	13
圖 2.2	生物的自然演化圖.....	15
圖 2.3	螞蟻演算法費洛蒙示意圖.....	20
圖 2.4	類神經網路架構示意圖.....	24
圖 2.5	不同切割單位之英國岸線長度圖.....	28
圖 2.6	歐氏幾何學概念圖.....	30
圖 2.7	台灣投放人工魚礁分布圖.....	33
圖 2.8	水泥礁圖.....	34
圖 2.9	舊電桿礁圖.....	35
圖 2.10	鋼結構礁圖.....	35
圖 2.11	軍艦礁圖.....	37
圖 4.1	模型建構操作畫面圖.....	51
圖 4.2	不同魚礁個數的最佳碎形維度圖.....	51
圖 4.3	建構 60 個魚礁之人工海洋生態圖.....	52
圖 4.4	模型建構操作畫面圖.....	53
圖 4.5	不同魚礁個數的最佳碎形維度圖.....	53
圖 4.6	建構 152 個魚礁之人工海洋生態圖.....	54
圖 4.7	倒傳遞神經網路需求估測架構圖.....	55
圖 4.8	轉換函數輸入與輸出關係圖.....	56
圖 4.9	魚群數量圖.....	59
圖 4.10	輸入矩陣轉換圖.....	60
圖 4.11	類神經網路架構分析圖.....	60

圖 4.12	類神經網路結構圖.....	61
圖 4.13	類神經網路訓練結果圖.....	61



# 第一章 緒論

## 1.1 前言

由於人類過度捕撈海洋生物，工業發展造成的環境破壞，導致海洋資源逐漸枯竭，雖然近幾年世界各鄰海國不惜巨資投放已被證實具有吸引海洋生物聚集能力的人工魚礁，以復育海洋生態 (Ambrose and Swarbrick, 1989; Bohnsack, 1989; Bohnsack, 1990; Bohnsack, and Johnson, 1991)，但是投放人工魚礁，必須先進行海底探測，並考量海流、水深、水質及海底地質等諸多因素，才能準確選擇到合適的地點，進行投放作業；但是海底結構極為複雜，單以聲波或震波產生折射所得之地形與地質，其準確程度仍受諸多環境因素所影響，合適地點的選擇不易，若位置選擇發生錯誤或投放位置有所偏差，將使人工魚礁原設定之效益大打折扣，更可能因人工魚礁投放所產生之巨大衝擊力，造成海床破壞，反而成為海底的巨大垃圾(Lan, Lan and Kuo, 2013)，如：綠島投放的電桿礁，復育不成反而壓死珊瑚(圖 1.1)。



圖 1.1 綠島投電桿礁復育不成壓死珊瑚圖

資料來源：環境資訊中心，(民98年)。

囿於人工魚礁受前述問題限制，因此世界各國近年來相繼又規畫建構海洋牧場，然海洋牧場係將魚苗放置於海上之漁網，再以聲納方式進行魚群餵食訓練，僅屬養殖之功能，等到魚苗長大後再捕撈食用，其目標僅為提高魚群回捕率，仍屬捕魚工具之一，根本無任何復育海洋生態之功能(Lan et al., 2013)，因此本研究以復育海洋生態為前提，應用基因演算法建構三維立體多變的人工海洋生態，提供海洋生物棲息、覓食、成長與繁殖的環境，自然吸引各式各樣的海洋生物與魚群定居，形成海洋生態系統，達到海洋生態復育之功能；更可配合觀光政策，推動海洋生態休閒觀光，增加觀光人數及收益，改善國家漁業環境；另因現階段尚不能準確量化投放效益，故為獲得復育海洋生態之成效，本研究應用類神經網路預測不同季節於三維人工海洋生態的魚群數量(Lo, Chen, Hou, Lan and Kuo, 2012)，量化復育實際成效。

## 1.2 研究背景

台灣屬於四面環海的海島型國家，位處於亞洲東部，西臨台灣海峽、東臨太平洋，南北長約三百七十七公里，東西寬約一百四十二公里，海岸線全長約一千二百五十公里(俞何興，民 90)；且日本暖流(俗稱黑潮)終年流經台灣東部的海域，自古以來均仰賴海洋資源維生，惟因人們的過度捕撈海洋生物、工業發展造成的環境破壞，導致海洋資源的枯竭，造成台灣近海與沿海漁業生產力由民國 69 年的四十萬八千二百零一噸，下降至 98 年度的十八萬七千九百一十七噸，至 99 年更下降到十六萬二千九百四十八噸，降幅高達六十點零八%(如表 1.1 及圖 1.2)；且近幾年世界各鄰海國施行二百海哩的經濟海域政策，導致遠洋漁業捕撈範圍受到非常大的限制，越界捕魚事件層出不窮。

表 1.1 台灣地區漁業產量

	漁 產 量 (公 噸)		
	99 年	98 年	增 減 %
近海漁業	128,217	147,414	-12.69
沿岸漁業	34,731	40,503	-14.25
海面養殖業	41,410	32,378	+27.90
內陸漁撈業	77	132	-41.91
內陸養殖業	274,251	255,177	+7.47

資料來源：行政院農業委員會漁業署，(民99)。

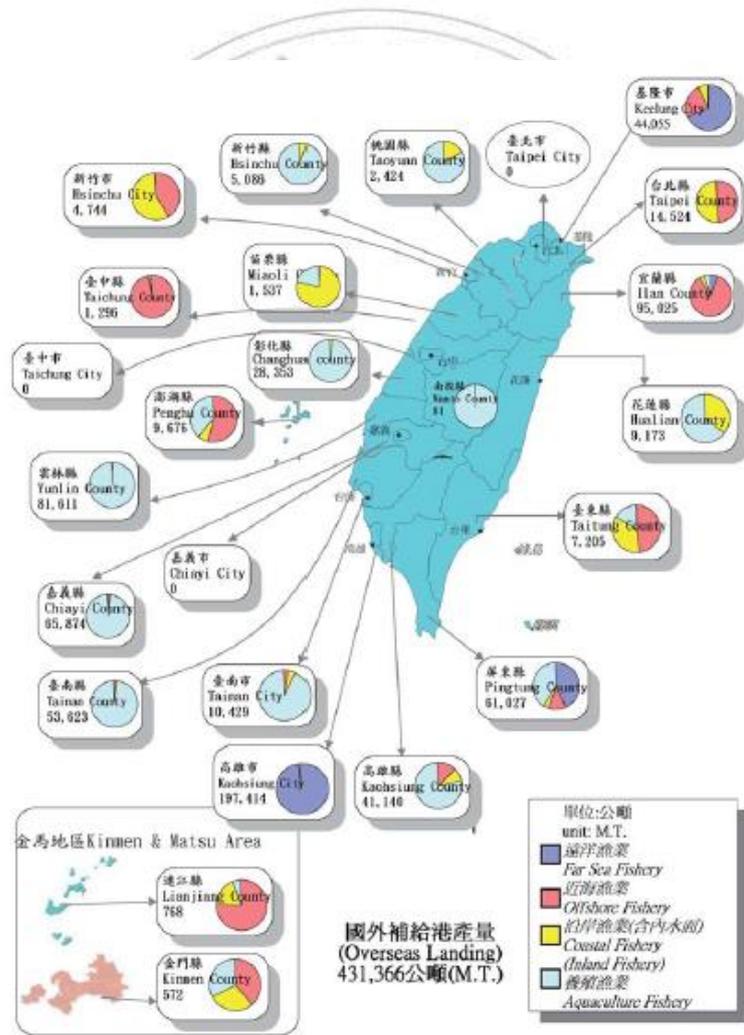


圖 1.2 台灣地區漁業產量圖

資料來源：行政院農業委員會漁業署，(民99)。

為了改善前述之窘境，我國政府漁業署自民國 63 年開始投放人工魚礁，於台灣周邊海域已設置 88 處各式各樣的人工魚礁區，總面積約為 237 平方公里(漁業署，民 101)，惟因政府近年來財政緊縮，且投放人工魚礁，必須進行嚴密的海底探測，選擇合適的地點投放；但是海底結構複雜，單以聲波或震波產生折射所得之地形與地質，其準確程度仍受諸多因素影響，合適的地點選擇實為不易，若位置選擇錯誤，將因人工魚礁投放所產生之巨大衝擊力，造成海床破壞，並成為海底的巨大垃圾，導致近年來已無再投放人工魚礁，惟海洋生態復育屬於長遠且刻不容還，不能是口號，絕對不能因上述因素就停止；為能持續有效的復育海洋生態，本研究提出由海平面向下建構海洋生態魚礁，並與休閒海洋生態觀光產業接軌，提升國家的經濟發展，促進海洋生態永續不竭。

### 1.3 研究動機與目的

海洋為地球生物緣起，面積佔地球約 70%，生物遠比陸地多源珍貴，為地球最大的維生系統，提供人類新鮮空氣、食物與氣候之調節；惟因人類過度的捕撈及環境的汙染，導致海洋資源不斷的枯竭，且根據研究海洋可以吸收熱，其熱容量比大氣要強約一千倍，因生物活動與物理過程上的相互作用，因而創造了多重反饋，例如：浮游植物吸收的熱能影響赤道氣候的短期狀態與平均溫度，相對也影響全球海洋表層平均溫度(Barange et al., 2009)。因此復育海洋生態已經不單為提升海洋資源，還可以減緩溫室氣體所造成地球暖化之情形，降低極端氣候對人類生命安全之影響。

另休閒觀光產業被喻為二十一世紀的金礦產業，並被視為無煙囪的工業，世界各鄰海國相繼重視與發展，根據世界旅遊委員會(World Travel

& Tourism Commission, WTTC) 針對全球一百七十四個國家進行觀光旅遊業的經濟效益評估指出，2005 年全球觀光人數達八億餘萬人次，創造六兆餘億美元的旅遊與觀光需求，預估至 2020 年止，每年以 4.1% 的驚人成長率複數增加中，觀光人數更將成長達一倍到達十六億萬餘人次。另再根據世界觀光組織 (World Tourism Organization, WTO) 的分析報告指出，「觀光」已成為許多國家賺取外匯的首要來源，在全球各國的外匯收入中，約有 8% 是來自觀光休閒的收益，總收益亦超過所有其他國際貿易種類，高居單一產業別的第一位(莊慶達，民 98)；因此本研究期望復育海洋生態後，賡續推動海洋生態休閒觀光(浮潛、賞魚、海釣等等)。

人工海洋生態魚礁，已被證實具有吸引海洋生物聚集能力，投放係將天然或人造的結構體投置於合適的海域，因結構體改變海水的流動，攪拌海洋底層的硝酸(Nitrate)、磷酸(Phosphate)、矽酸(Silicate)等營養鹽，使浮游生物繁殖，誘集魚、蝦、貝類前來覓食，以改善並營造海洋生物之棲息環境；經查行政院農業委員會水產試驗所，於 2010 年對台灣周邊海域漁場，進行之環境監測航次報告顯示，台灣周邊海域中的營養鹽(硝酸鹽、磷酸鹽及矽酸)濃度分布，以五~五十公尺深較多，台灣西北部海域(台灣海峽)的營養鹽，更以距離海水表面二十五公尺以內的含量最多；惟台灣西部海域(台灣海峽)平均深度約為一百公尺(王鑫，民 98)，若以一般投放於海床底部之魚礁，其營養鹽含量即相當少，投放成效必定較差，因此本研究提出建構之三維立體多變的人工海洋生態，由海平面向下建構，非常適合布建於台灣周邊海域中。營養鹽分布情形說明如下(水試所，民 99)：

1. 硝酸鹽(Nitrate： $\text{NO}_3$ )：主要分布於台灣海峽西北部，且其深度介於於五~五十公尺，台灣東部海域必須到達深度一百五十公尺以下，才有

較多的營養鹽含量 (如圖 1.3)。

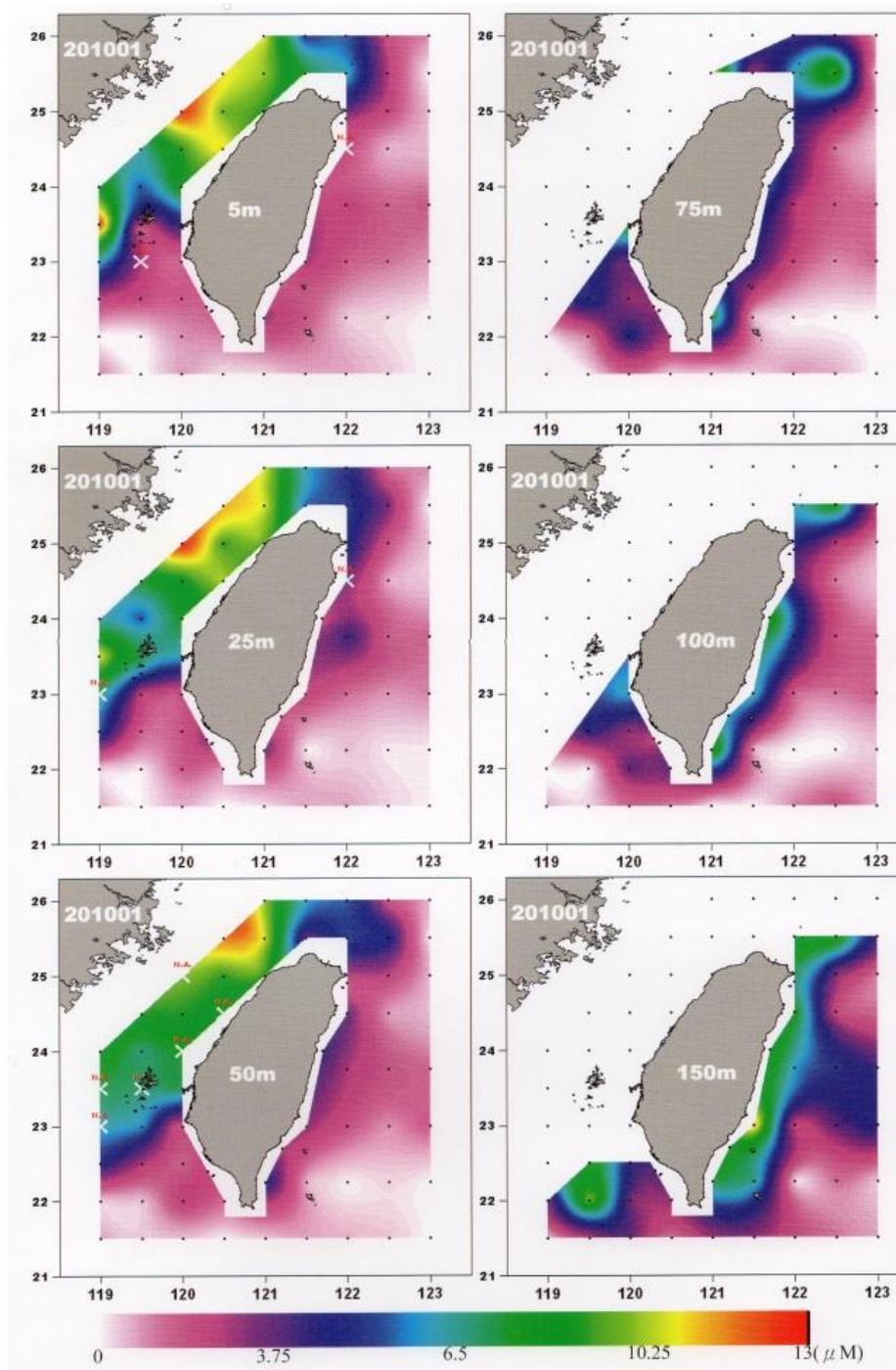


圖1.3 台灣周邊海域硝酸鹽濃度分布圖

資料來源：行政院農業委員會水產試驗所，(民99)。

2.磷酸鹽(Phosphate :  $\text{PO}_4^{3-}$ )：主要分布於台灣海峽西北部，且其深度介於於五~五十公尺，台灣東北部海域深度七十五公尺、東部部分及西南部海域深度一百五十公尺，才有較多的營養鹽含量(如圖 1.4)。

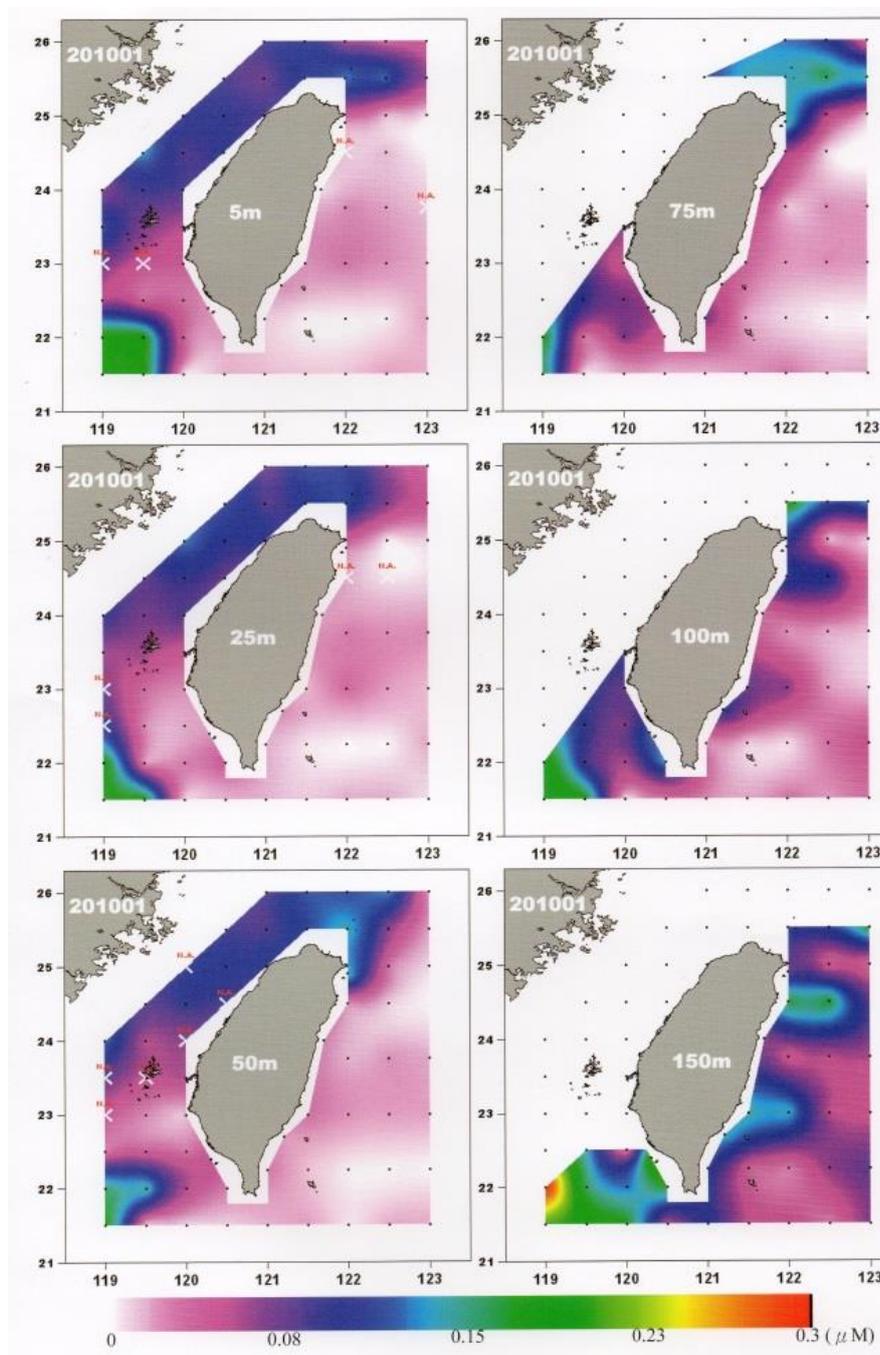


圖1.4 台灣周邊海域磷酸鹽濃度分布圖

資料來源：行政院農業委員會水產試驗所，(民99)。

3.矽酸(Silicate :  $\text{SiO}_2^{2-}$ )：主要分布於台灣海峽西北部，且其深度介於於五~五十公尺，台灣東北部海域深度七十五公尺、東部海域必須深達一百五十公尺，才有較多的營養鹽含量(如圖 1.5)。

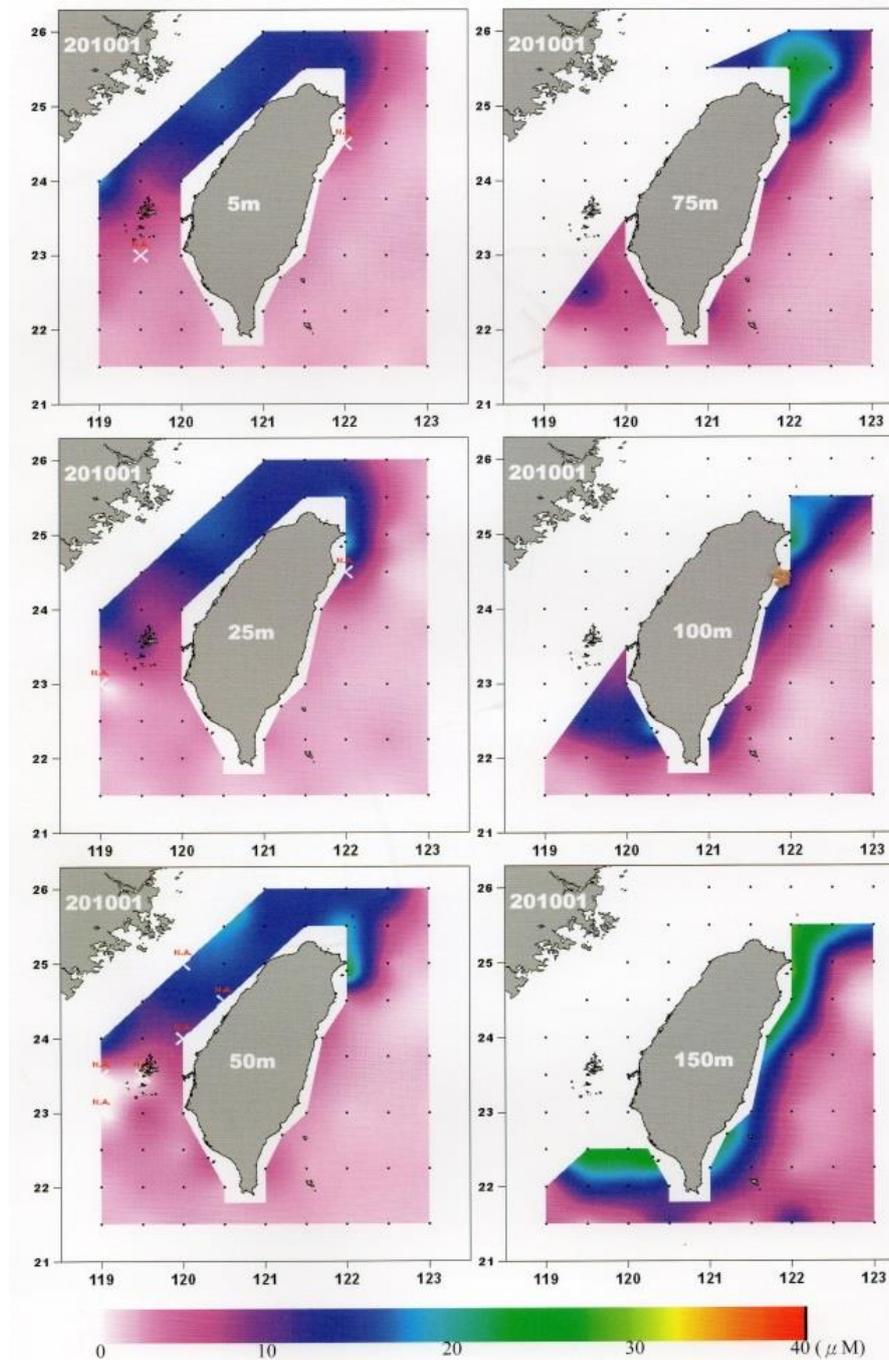


圖1.5 台灣周邊海域矽酸濃度分布圖

資料來源：行政院農業委員會水產試驗所，(民 99)。

因此本研究期望提供一個適合於台灣周邊海域的三維人工海洋生態，用以提供海洋生物棲息、覓食、成長與繁殖的自然環境，推動生態復育、提升海洋資源、減緩溫室氣體上升、減少地球軟化、逐步推動海洋生態觀光，增進國家的經濟發展；另因現階段投放之人工海洋生態魚礁尚不能準確量化其效益，因此本研究後續再應用類神經網路預測不同季節的魚群數量，了解生態復育現況，檢討調整生態管理與管理制度，提升復育成效，促進海洋生態永續不竭。

#### 1.4 研究架構

首先本研究根據目前人工海洋生態(人工魚礁)佈建設計所考慮之原則及面臨的問題，選定研究之主題，並依據研究之主題開始蒐集相關文獻加以探討後，決定以演算結果較佳、適用範圍較廣及使用函數型態較多的基因演算法，進行固定大小的三維空間搜尋，為建構多變且複雜的三維空間，故將目標函數設定為碎形維度值最大值，模擬建構一個三維人工海洋生態環境，後續再應用類神經網路預測不同季節的生態環境的魚群數量，本文之研究架構如圖 1.6。

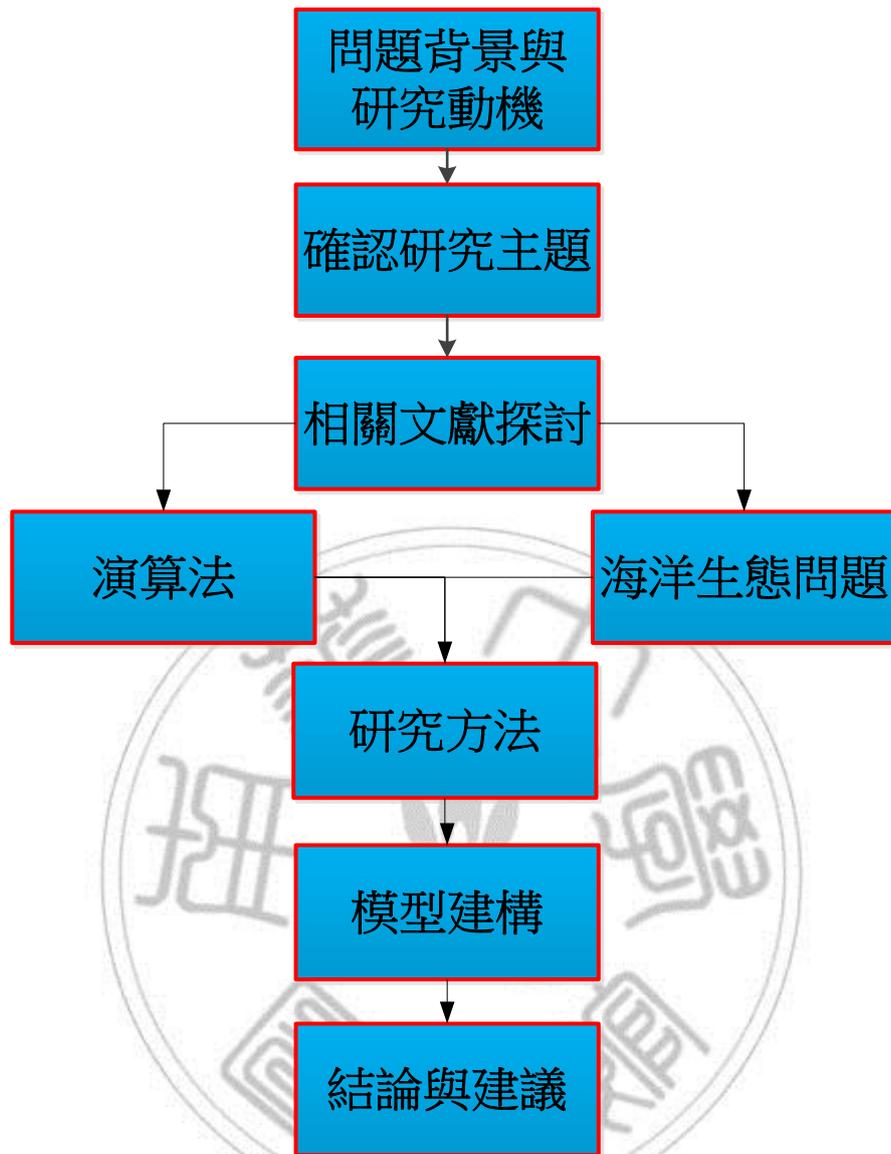


圖1.6 研究架構流程圖

資料來源：本研究整理

## 第二章 文獻探討

### 2.1 進化計算(Evolutionary Computation : EC)

進化計算係參考自然界物種進化過程，來解決現實的複雜問題，由於進化計算具有簡單、容易操作及通用的特性、並且不受其他數學微分限制的條件。爰此進化計算被廣泛的應用在工程、資訊、管理等各種領域。其主要研究方法有基因演算法(Genetic Algorithms)、演化策略(Evolution Strategy)、演化規劃(Evolutionary Programming)、螞蟻演算法(Ant Colony Optimization)等；其中基因演算法具有適用範圍較廣、較可避免落入區域最佳解、使用函數型態較多及使用更具彈性等特性，研究方法較能符合本文所模擬建構之三維人工海洋生態，各項進化計算研究方法說明如後：

#### 2.1.1 基因演算法(Genetic Algorithms : GA)

Holland 於1975 年提出基因演算法（或稱為遺傳演算法），其主要的原理來自於達爾文的物競天擇概念，模仿自然界中生物演化的現象所發展而成，模擬基因的選擇、交配、突變等機制，是一種搜尋最佳解的演算法(Holland, 1975; Goldberg, 1994, Lan et al., 2013)。基因演算法適用於解答空間大、複雜、非線性的問題，這是其他決定性最佳化方法或貪婪演算法所無法達到的，基因演算法搜尋的強韌性以及平行處理能力，能夠在各種不同的環境裡讓效率與精確率達到平衡(Goldberg, 1989)。基因演算法經過多年發展，使用領域與範圍已拓展的愈來愈大，像是與排程有關之研究(Liu, Tsai, Chou and Lai, 2005; Tsujimura, 2001)、電力系統(Levitin, Lisnianski, Haim, and Elmakis, 2000; Abdel and Abido, 2003; Ma

and Lai, 1995)、機器佈置(Heragu and Kusiak, 1988; Kumar, Hadjinicola and Lin, 1995; Ho and Moodie, 1998; Sakrker, Wilhelm and Hogg, 1998)等，均應用基因演算法求解。

基因演算法的搜尋技術是以隨機搜尋為架構，但是基因演算法絕非僅是一種單純的隨機搜尋方法；因為基因演算法保存了演化過程中重要的資訊，所以能展現出比單純的隨機搜尋方式更好的求解能力。基因演算法的優點在於它是一種強健且有效的搜尋技術，而且相較於其它演算法，基因演算法陷入局部最佳解的機率較小(Glodberg,1989; Gen, Mitsuo & Cheng, Runwei, 1997; Grefenstette, 1994; Srinivas & Patnaik, 1994)

基因演算法是以隨機方式產生「族群」，之後在依據符合函數產生的「子代」，而此「子代」中具有母代中最佳的符合函數值。基因演算法是利用基因遺傳的原則寫出來的程式，基因有複製、交配及突變的能力，故新生代中的基因會比較優良的，而劣質基因會被漸漸淘汰下圖是基因演算法的流程圖(蘇木春與章孝得，民88；周鵬程，民91)。

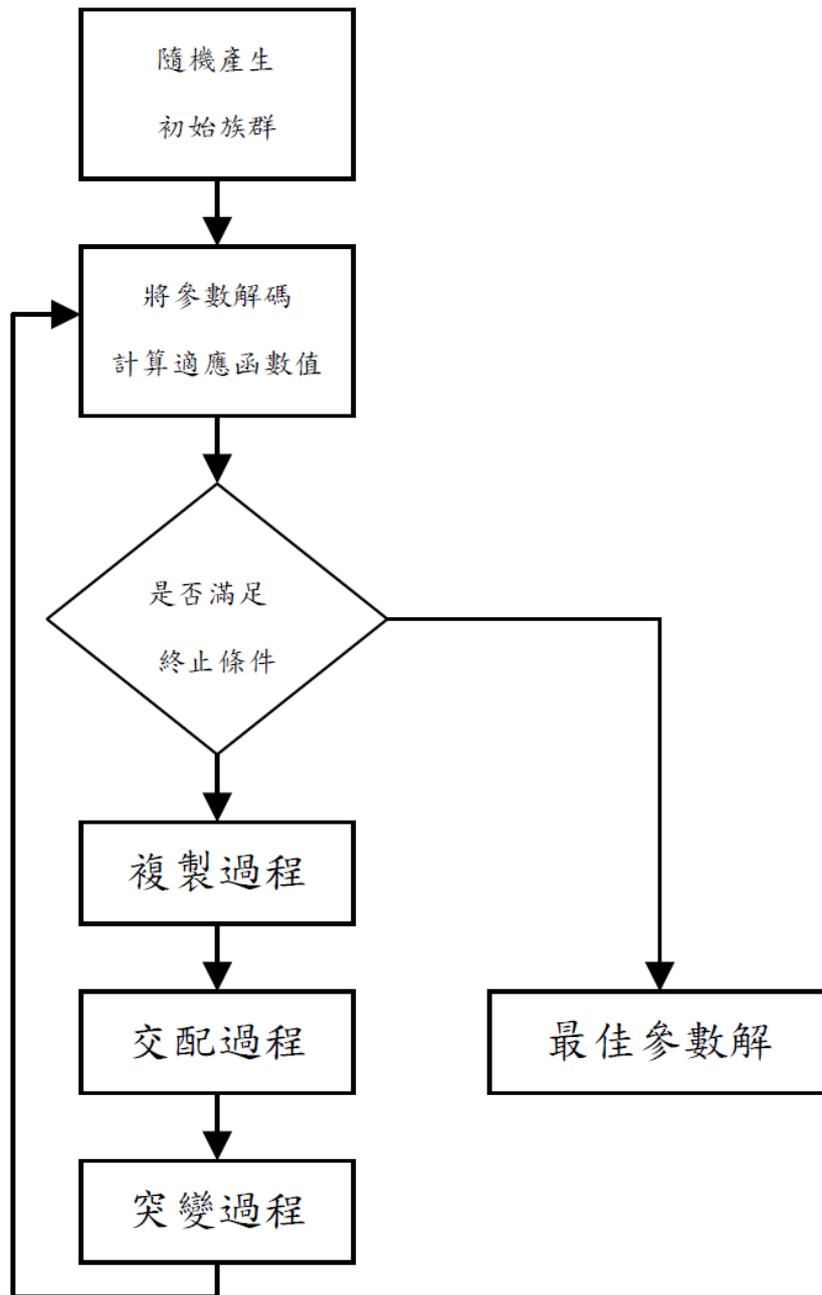


圖2.1基因演算法流程圖

資料來源：1.蘇木春與章孝得，(民88)。2.周鵬程，(民91)。

### 1. 初始化

由於初始化的目的在於決定搜尋開始時染色體的基因，因此常用的初始化方法包括均勻法(Uniform)以及高斯法(Gaussian)兩種，均勻法係指

染色體中的基因是根據某個值域產生，而高斯法則是指：染色體中的基因係遵從高斯分佈(Normal Distribution)，根據給定的平均數及標準差而產生。

## 2. 編碼、解碼及適應函數

必須先確定問題的搜尋空間大小再進行編碼，基因演算法可以接受以二進位、整數(Integer)、實數(Real)及文字(Alphabet)的編碼方式。而二進位編碼則是最常用的編碼方式，便是以0 和1 將問題的解編成n 個位元的字串，一個字串即代表一個染色體，每一個位元即代表一個基因。

基因演算法判斷字串績效的好壞是透過適應函數來衡量，以汰弱留強的程序讓較具備適應能力的基因不斷的繁衍，所以字串的績效愈好，愈有機會遺傳至下一代，在此將字串轉換成實際值來計算其適合度值的轉換過程稱之為解碼 (Decoded)。

## 3. 繁殖

依據每一物種的適應程度來決定淘汰與否，此運算過程稱為複製，在下一代中，高適應程度的物種將被大量複製；低的物種則被淘汰，而複製過程有分三種，分別為排序法、輪盤選取法和競賽法。

## 4. 交配

交配機制目的為產生不同於父代的新子代基因，透過隨機方式從父代的基因中選擇數個交配點，並互換其交配點的基因，二個新的染色體即產生，稱為子代，基本上交配的方式有三種，分別是單點交配(One Point Crossover)、兩點交配(Two Point Crossover)或多點交配(Multi Point Crossover)。

## 5. 突變

突變的用意為產生出具有大差異性之字串，來迴避過早收斂而陷入最佳區域解，就二進位編碼方式而言，突變就是對染色體中的位元做反相運算(Bit Inversion)，將染色體中隨機選取出的基因，從0變成1，1變成0，另一種突變方式為重新初始化(Re-Initialization)，即於染色體中隨機選取出的基因重新指定特定值。

## 6. 終止設定

基因演算法的執行過程是迴圈，因此必須設定一個停止條件，且此停止演化的條件必須能判斷族群是否已充份演化，所以此基因演算法意取得最佳解通常採取三個方法一為設定系統執行到某特定世代便停止執行基因演算法，二為根據收斂值的數值來決定是否停止執行基因演算法，最後便是以預設時間決定基因演算法執行停止。

由於每一個問題有不同的特性，若能針對特性的需求來設計基因型與表現型，那就能夠加快演化的速度，能夠更快速的求解問題。從圖 2.2 可看出基因型與表現型的不同，從表現型可評估物種的適應程度，適者生存，不適者被淘汰之，演化式計算就是根據這種道理，在廣大的空間中來找到問題的最佳解。

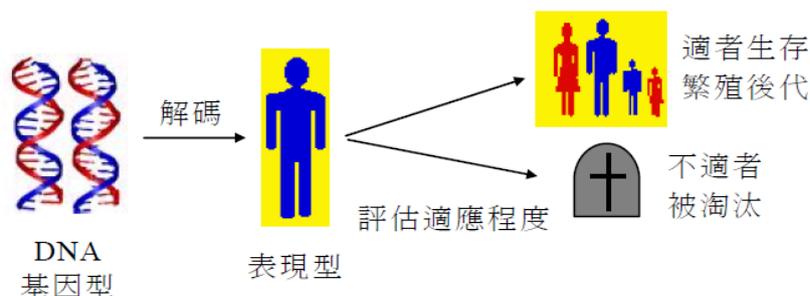


圖2.2 生物的自然演化圖

資料來源：林豐澤，(民94)。

基因演算法的特性歸納如下(Goldberg, 1994)：

1. 適用範圍較廣：基因演算法為二進位編碼，演算係關於編碼後的參數，而不是參數本身，因此適用之範圍較廣。
2. 演算結果較佳：基因演算法在搜尋的過程中是對整個母體作搜尋，也就是同時對多個點作搜尋，避免落入區域最佳解。
3. 使用函數型態較多：基因演算法是使用目標函數的資料，不需要微分或其他輔助的資料，爰此能使用再多目標或非線性等各式各樣的型態函數。
4. 使用更具彈性：基因演算法是利用機率性方式來求最佳解，並非使用明確性的規則，爰此使基因演算法更具使用之彈性。

### 2.1.2 演化策略(Evolution Strategy：ES)

德國學者 Rechenberg 於1965 年所提出(Rechenberg, 1965)，演化策略為實數編碼，每一個個體是由一組實數參數所組成，由於其每一個個體被選擇重組的機率都是相同的，因此在進行重組時，對於實數參數的突變強度必須要考慮到每一個個體變異的分佈情形，故常被使用標準常態分配來討論變異分佈的情形，演化策略操作流程如下所示(賴宜和與鄧志堅，民99)：

#### 1. 初始設定：

在操作演化策略前必需先設定初始群體、世代數等其它控制參數。

#### 2. 重組：

重組與遺傳演算法的交配類似，都是個體間位元或實數上的交換，演化策略也具有遺傳演算法的單點交配、雙點交配、字罩交配，重組的

遺傳操作發生在至少兩個或兩個以上的個體，Back 於1996 年歸納出下列五種較常使用的重組運算，如下所示 (Back,1996)：

(1) 無重組型

無重組型是直接由父代群體中直接挑選父代個體，作為子代的個體，假設選取 $A=[x_{a1}, x_{a2}, x_{a3}, x_{a4}, x_{a5}]$ 為父代個體以 $x_{a1}$ 至 $x_{a5}$ 等五個變數表示個體屬性，其中 $A$ 可視為是 $R^5$ 上的一個點，則子代個體為 $A'=[x_{a1}, x_{a2}, x_{a3}, x_{a4}, x_{a5}]=A$ 。

(2) 離散型

首先隨機選取二個父代個體如離散型所舉的 $A, B$ 兩個例子，再隨機挑選這二個父代個體內的某一個之變數作為子代個體的變數，則子代個體 $A'$ 的可能變數值為 $A'=[x_{b1}, x_{b2}, x_{b3}, x_{b4}, x_{b5}]$ 。

(3) 中點型

首先隨機選取二個父代個體，以 $A, B$ 為隨機挑選的二個父代個體，再從二個父代個體中將父代個體內的變數值之平均，則新的子代個體 $A'$ 如下所示： $A'=[1/2(x_{a1} + x_{b1}), 1/2(x_{a2} + x_{b2}), \dots, 1/2(x_{a5} + x_{b5})]$ 。

(4) 全域離散型

與離散型類似，首先隨機選取 $A, B$ 為隨機挑選的2個父代個體，將 $A$ 與 $B$ 個體的第1個變數的其中的一個作為子代個體的第一個變數，再重新挑選隨機另二個父代個體， $C=[x_{c1}, x_{c2}, x_{c3}, x_{c4}, x_{c5}]$ 、 $D=[x_{d1}, x_{d2}, x_{d3}, x_{d4}, x_{d5}]$ ，並隨機將 $C$ 與 $D$ 個體的第2個變數的其中的一個作為子代個體的第2個變數，則子代個體的前二個變數可能為 $B'=[x_{a1}, x_{d2}, \dots]$ ，其餘變數則依此類推。

(5) 全域中點型：

與中點型類似，首先隨機選取 $A, B$ 為隨機挑選的二個父代個體，

將A與B 個體的第1 個變數值的平均值作為子代個體的第1 個變數，再重新挑選隨機的另二個父代個體， $C=[x_{c1},x_{c2},x_{c3},x_{c4},x_{c5}]$ 、 $D=[x_{d1},x_{d2},x_{d3},x_{d4},x_{d5}]$ ，將C、D個體的第2個變數值的平均值作為子代個體的第2 個變數，則子代個體的前2個變數可能為 $B'=[1/2(x_{a1} + x_{b1}),1/2(x_{c2} + x_{d2})\dots]$ ，其餘變數則依此類推。

### 3. 自我適應機制：

演化策略的目標變數是由實數參數所組成，可用來處理數值性的最佳化問題。由於目標變數是由實數所構成，因此在重組時會產生變數的突變強度問題，變數的突變強度可藉著自我適應機制調整突變強度的大小，較小的突變強度有利於細部搜尋，但不易跳脫區域最佳解，較大的突變強度容易跳脫區域最佳解，但不利於整體的搜尋（郭文偉，民94）。

#### 2.1.3 演化規劃(Evolutionary Programming : EP)

演化規劃由Fogel 等人於1966 年提出，Fogel 以有限狀態機制 (Finite State Machine, FSM) 來解釋演化規劃的行為模式，有限狀態機制是由一個起始狀態經由輸入和輸出轉移至下一個狀態所組成，藉由改變符號的輸入輸出狀態使有限狀態機制產生不一樣的變化行為模式，可視為演化規劃的突變機制(Fogel, Owens and Walsh, 1966)。由於演化規劃只對於符號進行突變，因此限制了演化規劃的發展。Fogel 於1992 年使用實數參數的目標變數，其差別只在於原始的演化規劃只使用突變機制，而改進後的演化規劃除了使用突變機制還使用重組機制，這使得演化規劃在處理數值化問題已經跟演化策略很類似(Fogel ,1992; 賴宜和與鄧志堅，民99)，波蘭學者Michalewicz 於1993年將演化規劃作成一完整且明確的數學上的分析而成既嚴謹且詳盡的最佳化演算法(Michalewicz,

1993)，因此演化規劃就被積極地使用於人工智慧與機器學習等各方面 (Back, 1996)，Fogel 強調演化規劃的演化過程是由上而下的演化方法，虛擬碼如下(林豐澤，民94)：

Procedure EP

```
{  
   $k = 0$ ;  
  Randomly generate initial population  $P(k)$ ;  
  Evaluate  $P(k)$  to obtain its fitness;  
  repeat{  
    count = 0;  
    while (count < N) { //N is the size of a population  
      Select one individual from  $P(k)$ , each one will be selected  
        once and only once;  
      Mutate the individual to produce the child;  
      Evaluate the child;  
      count = count + 1;  
    }  
    Generate  $P(k+1)$  from both  $P(k)$  and the N children based on their  
      fitness;  
     $k = k + 1$ ;  
  }until (termination is met)  
}
```

### 2.1.4 螞蟻演算法(Ant Colony Optimization : ACO)

螞蟻是群體生活，無法獨自單獨1隻生活，過著高度社會性結構之生活模式，他們階級分明且各司其職，會相互分享食物，但是他們眼睛只有近距離能看到東西，所以他們找尋食物藉由觸角搜尋費洛蒙偵測氣味和辨認方位，還有和其他螞蟻溝通。螞蟻演算法係參考螞蟻在每次找尋食會在走過的路徑上遺留下分泌物-費洛蒙(Pheromone)，下一隻螞蟻便會跟隨著費洛蒙濃度往前行走，由於螞蟻的眼睛看不到，所以他們回程也只會走原來的路徑並再遺留費洛蒙，但是費洛蒙也會隨著時間而揮發，最後費洛蒙濃度最高的路徑就是最短路徑，如圖2.3。

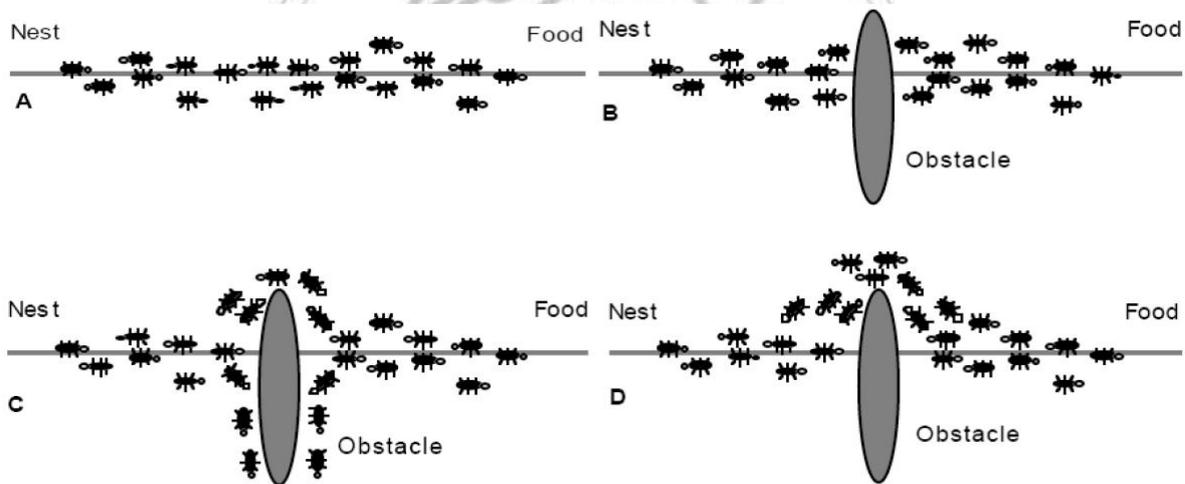


圖2.3 螞蟻演算法費洛蒙示意圖

資料來源：Dorigo, Maniezzo and Colorni, (1991a).

A圖為一般螞蟻群從巢穴往食物所行走的路徑；B圖則是在A圖一般螞蟻群從巢穴往食物所行走的路徑中放置一障礙物，使得螞蟻群必須繞過障礙物才能到達食物位置；C圖便是螞蟻群分為二路繞過障礙物的路徑圖，由圖中可得知二條路徑的長短不同，較長的路徑由於螞蟻群行走的路徑較長，費洛蒙會隨時間揮發導致濃度變低，而相對的較短路徑螞蟻群所花費的時

間較短，並且加上回程時再遺留下的費洛蒙，最後會最短的路徑費洛蒙濃度最高，D圖就是經過一段時間後費洛蒙濃度差距拉開後的最短路徑(藍俊雄與洪慈雲，民101)螞蟻演算法步驟如後：

符號 $\tau$ 代表費洛蒙濃度，因此初始化費洛蒙濃度為：

$$\tau_{ij} = C, \forall i, j \dots \dots \dots (1)$$

其中C為常數，i代表巢穴位置，j代表食物位置，則 $\tau_{ij}$ 為i到j路徑上的費洛蒙濃度。

蟻群是靠搜尋費洛蒙濃度來辨認方位，因此蟻群都具有遺留及偵測費洛蒙的能力，而蟻群遺留有費洛蒙的路徑稱之為費洛蒙路徑(Pheromone Trail)，與無蟻群走過或費洛蒙已揮發之路徑來作區分，因此路徑上的費洛蒙濃度會不停變動，因此各路徑的費洛蒙更新方式概念如下：

$$\tau_{ij}(t + 1) = (1 - \rho)\tau_{ij}(t) + \Delta\tau_{ij} \dots \dots \dots (2)$$

$\tau_{ij}(t)$ 及 $\tau_{ij}(t + 1)$ 代表從巢穴位置i到食物位置j，在時間t與時間t + 1的費洛蒙濃度； $\rho$ 為費洛蒙衰退比例參數， $(1-\rho)$ 為費洛蒙殘留因子，且 $0 < \rho < 1$ ； $\Delta\tau_{ij}$ 為此次循環中，在巢穴位置i到食物位置j上的費洛蒙的增量，其中：

$$\Delta\tau_{ij} = \begin{cases} Q/L^s & \text{if } (i, j) \in L^s \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \dots \dots \dots (3)$$

$L^s$ 為螞蟻s所完成之路徑總長度；Q為參數值，代表費洛蒙的強度，此參數具有一定程度影響到 $\tau_{ij}(t)$ 收斂速度，通常設為100，然而不同螞蟻演算法的改進版本，於費洛蒙之更新皆有所不同作法。

而尋優路徑是利用轉換機率(Transition Probability) $P_{ij}^s(t)$ 進行下一節點之選擇。轉換機率所涉及因素包含費洛蒙濃度 $\tau$ 及期望值 $\eta$ (線段長度)：

$$P_{ij}^s(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \times [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{u \in J_s(i)} [\tau_{iu}(t)]^\alpha \times [\eta_{iu}]^\beta} & \text{if } j \in J_s(i) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \dots\dots\dots(4)$$

其中 $\tau_{ij}(t)$ 代表從i到j，在時間t之費洛蒙濃度； $J_s(i)$ 代表位於巢穴位置i之螞蟻s尚未拜訪過鄰近位置的集合； $\eta_{ij}$ 為期望值，為巢穴位置i到食物位置j長度之倒數； $\alpha, \beta$ 擇適用以決定費洛蒙與距離相對重要性之參數，因此若 $\alpha=0$ ，即為螞蟻選擇距離最短的鄰近位置作為下一個拜訪點，而若 $\beta=0$ ，則代表僅以費洛蒙濃度作為選擇下一個拜訪位置，完全不考量其間距離長短。

## 2.2 類神經網路(Neural Network：NN)

類神經網路(Neural Network)簡稱NN，主要在模仿大腦與神經網路處理資料的行為。它對於輸入的資訊具有推理聯想、歸納判斷、自我學習、經驗累積、容錯能力；可廣泛應用於各層面如資料分析、故障診斷、語音識別、字體識別、決議諮詢、製程監控、影像診斷、專家系統、自動控制，最適化問題求解等方面（湯玲郎與施並洲，民90；王進德與蕭大全，民91；林文修，民89）

類神經網路是由生物學所得的靈感，其模式如同生物之神經組織，藉由神經元相互連結，以模擬生物神經網路的資訊處理能力。其確切定義，可以如此說：「類神經網路是一種計算系統，包括軟體與硬體，它使用大量簡單的相連人工神經元來模仿生物神經網路的能力」（葉怡成，民89）人工神經元是生物神經元的簡單模擬，它從外界環境或者其他人工神經元取得資訊，並加以簡單的運算，並輸出其結果到外界環境或其他人工神經元。

由於類神經網路為一平行分散式處理計算機模式，兼具高度平行性、分散式關聯記憶(Distributed Associative Memory)、容錯性、可調適性(Adaptive)、可自環境學習等特性，使它在圖形辨識、語音辨識與合成、訊號處理、影像壓縮處理、專家系統建構、決策分析等領域廣為應用。近年來，更大量應用在財務領域上(范佐松，民93)。

類神經網路的發展，在七十年代沈寂十多年後，在1982年Hopfield的研究，是類神經發展史上的重要突破之一，使得類神經網路的相關研究再度引起整個科學界的重視。而1986年McClelland與Rumelhart的論文介紹了倒傳遞網路的原理，是截至目前被引用最多次的類神經網路文獻(Kirrane, 1990; Martin and Howard, 1991)，他們對類神經網路的貢獻，使類神經網路能夠再度引起大家的研究興趣，並造成今日之蓬勃發展。

以下將先以類神經網路中的單一神經元作說明，並介紹類神經網路架構，通常類神經網路的架構可以分為：向前傳遞式(Feed-Forward)以及回饋式(Feedback, Recurrent)兩類。同時，針對類神經網路四種主要學習方式的類型：監督式(Supervised)、非監督式(Unsupervised)、聯想式(Associated)以及最佳化應用(Optimization Application)(Wong,1997)，在此也將作簡單回顧。

### 2.2.1 類神經網路之架構

類神經網路的架構可分為向前傳遞式以及回饋式兩類(如圖2.4)。二者之間最大的區別在於，代表向前傳遞式網路如圖2.4左邊中，不會形成迴圈，而回饋式網路會藉由迴圈產生回饋，以調整權重值和門檻值；在應用上，大約90%的類神經網路是採用向前傳遞式。

類神經網路結構不同，將使得網路所表現的行為也不一致。一般而言，向前傳遞式類神經網路是靜態網路，給定一組輸入，只會產生一組

輸出，這一組輸出不會對網路產生改變；但是回饋式類神經網路會藉由這一組輸出，回饋到網路之中，對網路的權重值和門檻值造成改變，因而產生一新網路。

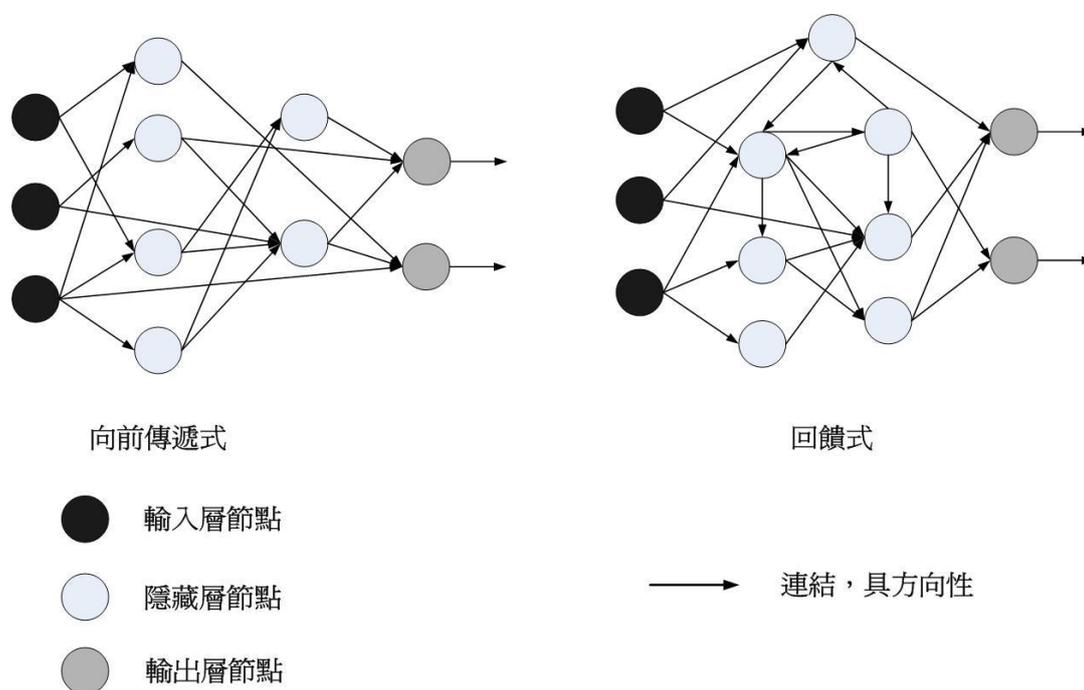


圖2.4 類神經網路架構示意圖

資料來源：Wong, Bodnovich, and Selvi, (1997).

### 2.2.2 類神經網路學習模式

類神經網路的學習方式，可分為以下四大類(葉怡成，民89)：

#### 1. 監督式學習網路

監督式學習，是將特徵普遍化的一種學習方式。也就是說，教導學習者辨認物品，並告知其物的特性與名稱，學習者再見到與原物不完全相同之物品時，學習者仍然能夠認出。監督式學習網路又被稱為分類規則的發掘，必須從問題的領域中取得訓練範例，包括輸入值與輸出值，首先得訓練這個網路，根據實際輸出值與期望輸出值之差值來調整網路的權重值，也就意味著網路從中學習兩者之間的映射規則以應用在新的

案例上。監督式學習的目的是在減少期望輸出值與實際輸出值的差距，可應用於預測與分類，例如：倒傳遞網路、反傳遞網路、感知機網路、機率神經網路、學習向量量化網路。

## 2. 非監督式學習網路

非監督式學習又被稱為資料歸納或是特性規則的發掘。非監督式學習網路只輸入資料，因為沒有期望的輸出資料，所以沒有最小誤差的要求，訓練方式是根據輸入的資料，學習樣本間分類規則，無須外在監督可自行調整網路的權重矩陣，使網路可自行分類成一致或接近的輸出向量，可應用於樣本的識別，例如：自適應共振理論網路(Adaptive Resonance Theory Network)、自組織映射圖網路(Self-Organizing Map Network)、聯想式學習網路(Associated Learning Network)。

3. 從範例中學習內部聯想記憶的規則以應用在新的案例上，通常應用於資料探勘與雜訊過濾，例如：雙向聯想記憶網路(Bi-Direction Associative Memory Network)、霍普菲爾網路(Hopfield Neural Network)、最佳化應用網路(Optimization Application Network)。

4. 根據不同的問題來設計其變數值，在滿足設計的限制條件下，達到最佳的設計目標，例如：神經網路(Annealed Neural Network)、菲爾-坦克網路(Hopfield-Tank Neural Network)

### 2.2.3 倒傳遞類神經網路

倒傳遞類神經網路是目前類神經網路學習模式中，應用最廣泛且較具代表性的模式之一，在1974年Werbos 和1982 年Parker 已提出基本概念。直到1985年，史丹福大學的Rumelhart、Hinton 和Williams 提出了反饋學習法則(Propagation Learning Rule)，或稱通用差距法則(Generalized Delta Learning Rule)，才將這項理論與演算法則清楚定義(王進德與蕭大全，

民91；林文修，民89)。

倒傳遞類神經網路其基本原理是利用最陡坡降法(Gradient Descent Method)，將誤差函數最小化進而推導出誤差法則。其構想是透過連續性修正值來降低實際輸出與期望輸出的差距。以數學的觀點來看，神經鍵值的修正情況，與錯誤發生值的一次微分成正比，可以證明在網路學習時會漸漸收斂到一個穩定狀態，相當於平面上一曲線的最小值。

倒傳遞網路的處理過程，分為順向傳遞與逆向傳遞兩種，透過這兩個階段就能夠減少誤差，達到期望的學習成果。順向傳遞從輸入層開始，將原始資料轉成向量作為網路的輸入，經過各層神經元計算，直至網路的最後一層。逆向傳遞是由輸出層開始向輸入層傳遞，在於計算誤差與更新權重值。其方法是先比較目標輸出與實際計算值的差值，在重新調整網路的神經鍵值，可將誤差值降到最小。每個神經元有兩個主要工作：

1. 聯結(Connection)

$$u_i(k+1) = \sum_{j=1}^N W_{ij}(k) a_j(k) + \theta(k) \dots\dots\dots(1)$$

2. 作用(Activation)

$$a_i(k+1) = f(u_i(k+1), u_i(k), a_i(k)) \dots\dots\dots(2)$$

神經元在反覆進行聯結及作用的工作，以更新神經元上的作用值 $a_i$ 。當一個新的作用值產生後，即傳送到其他神經元，(1)式和(2)式合稱為系統動態式，其中指標 $k$ 表示更新的次數， $u_i$ 代表第 $i$ 個神經元的輸出值， $w_{ij}$ 表示第 $i$ 個神經元與第 $j$ 個神經元間的權重值， $\theta_i$ 表示第 $i$ 個神經元內部的門檻值， $N$ 表示與第 $i$ 個神經元聯結的神經元數目。為轉換函數，是根據神經細胞中的生物效應簡化所得(Lo, Chen, Hou, Lan and Kuo, 2013)。

## 2.3 碎形理論

Hausdorff 依據實變分析學 (Real Analysis) 中的測度論 (Measure Theory) 判定出兩個重要概念—豪斯多夫測度(Hausdorff Measure) 和豪斯多夫維度(Hausdorff Dimension) 並認為此二重要概念與碎形維度有關，同時研究幾何學的構造，推廣出從整數進步到分數的維度定義，因而制定了分數維的基礎數學原理。過去數學家對於自然界中歐氏幾何或牛頓力學都無法具體形容之形狀，像是山坡的輪廓、河流的水道、林木的形狀等，都類歸於「混沌(Chaos)」去解釋。數學家曼得爾布羅特在1967年科學期刊中所發表的「英國海岸線英國的海岸線有多長？統計自相似和分數維度」(Mandelbrot, 1967)命名出“碎形 (Fractal)”此字彙，此字彙來自於拉丁文Fractus，意思是「碎成不規則細片的狀態」。

### 2.3.1 相關運用與文獻

碎形理論的第一篇論文為英國海岸線有多長？係曼得爾布羅特在計算海岸線的過程中導出碎形維度的理論如下：

$$L=Nr^{(1-D)} \dots\dots\dots (1)$$

$$\log L=\log N + (1 - D)\log r$$

$$D= \log N+ \log( 1/r ) \dots\dots\dots(2)$$

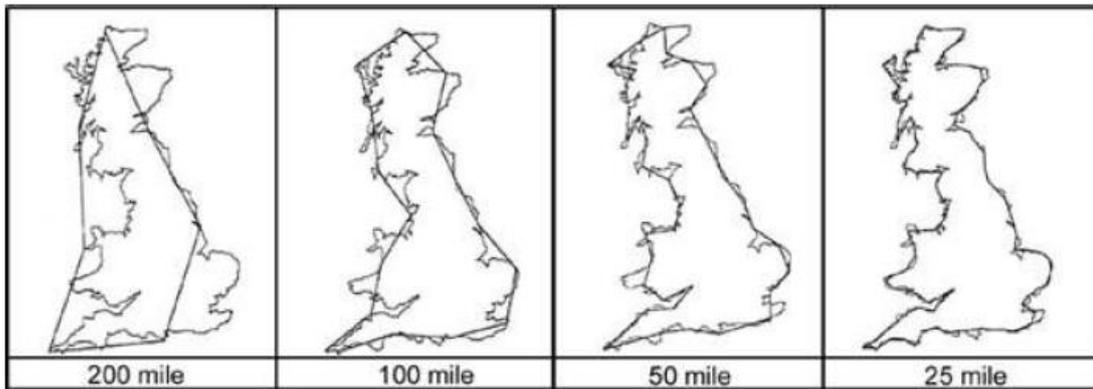
L= 海岸線總長

N= 測量單位個數

r = 測量單位長度

D= 維度值 (碎形維度)

曼得爾布羅特利用在不斷的度量單位的變化中找到共同的規則，就是自相似性的特徵，發展出碎形維度的概念，如圖2.5 所示：



切割長度	切割段數	海岸線長度	備註
200 英哩	7	1,400 英哩	
100 英哩	16.25	1,625 英哩	
50 英哩	40	2,000 英哩	
25 英哩	96	2,400 英哩	

圖2.5 不同切割單位之英國岸線長度圖

資料來源：Bovill, C. (1996).

John and David 於 1989 年也提出長久以來，人們堅信複雜形狀必須靠複雜程序才能製造出來，但是碎形即是高度複雜，又可說是特別簡單，它之所以複雜，是因為它有無窮的細節以及獨具的數學特性（沒有任何兩種碎形是一模一樣的），但是它也很簡單，因為可以用簡單的疊代公式連續運算後產生(John and David, 1989)。

目前，碎形幾何理論應用於基礎圖案的相關設計研究如日方中，碎形藝術圖案已大量用於藝術裝飾設計、服裝設計、廣告設計、陶瓷器設計等（Barnsley, 1988; Zhang, Sugisaka and Li, 1998; Chen, 1999; Barlow and Bass, 2000; Valor, Albert, Gomis and Contero, 2003; Wang, 2001, 2003; Yan and Deng, 2003；Frauenberger, Stockman, Putz and Holdrich, 2005）。像是利用碎形幾何理論中自我模仿性設計造型的 M. C. Escher、摩天樓設計美學的奠基人 Louis Sullivan 和 Op 藝術家 B. Riley，以及十八世紀日

本畫家葛釋北齋則具有深度結構化的碎形表現，以及近期在新媒體藝術方面的應用如人工生命(Artificial Life)、混沌理論(Chaos Theory)或碎形幾何理論(Fractal Geometry Theory)等(Paul, 2006)。William Whewell (1794-1866)，在 1840 年所撰的「The Philosophy of the Inductive Science」一書中提及融通(Consilience)這個詞彙，「融通」是經由跨領域中找尋不同學識文本間的可共量性、可共同性與可共通性的形式轉喻基礎，讓知識融會在一起，創造出一個共同的解釋基礎，所以「融通」可應用解釋存在於藝術學、美學、資訊科學與運算數學等專業跨領域的融合(William, 1840)。Venkatadri and Montreuil (1997)與 Montreuil, Venkatadri and Rardin (1999)所提出之碎形佈置觀點更是一大創舉，碎形佈置觀點是將生產所有產品的地方分割成大小一致的區塊然後佈置，徹底將碎形幾何理論從視覺運用轉移於實體運用。

學者 Wang 等人於 1999 年以衛星定位的方式，將澳洲北部的漁場位置，數化於地圖上，再利用盒計法以不同大小的網格，切割研究區，並利用自相似性的原則，計算出漁場分佈的碎形維度值，並驗證盒計法適用於討論物體的空間分佈狀態(陳亮瑜，民 91)。

### 2.3.2 碎形維度

維度值之觀念來自於傳統歐氏幾何學，而其中 0 維是點、一維是線、二維是面、三維是立體空間的概念如圖 2.6 所描述。從圖 2.6 可得知  $N = r^D$  其中，N 為線段數、格子數，r 為縮小比例，D 為維度值。因此，經過演算後，可得  $D = \frac{\log N}{\log r}$ ；將圖 2.6 的 r 及 N 三個值分別帶入，可得 D=1 線、D=2 面、D=3 立體。

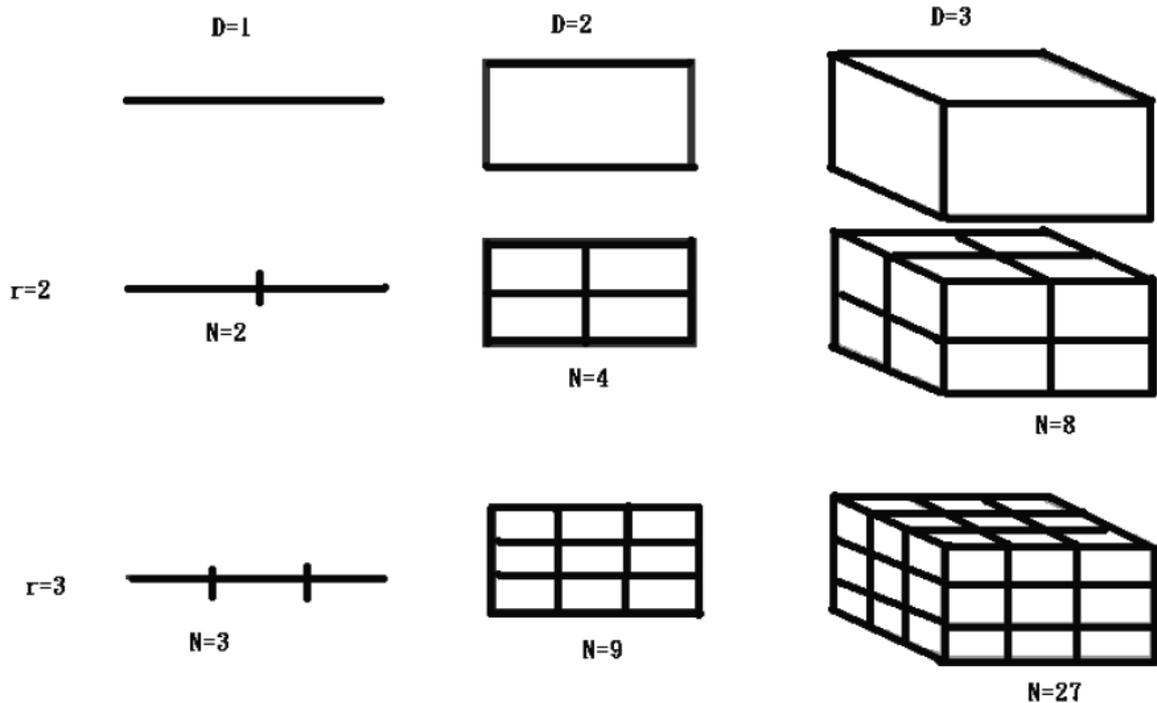


圖2.6 歐氏幾何學概念圖

資料來源：Bourke, (1993).

碎形維度具有四項特徵，第一點其維度(Fractal Dimension)是為分數，碎形的維度並非是整數，由於碎形的維度有別於一般一維的線條或是二維的矩形因此所表示碎形的維度並非為整數。其二為自我相似性(Self-Similarity)，自我相似性意指該碎形的局部會與整體相似，也就是尺度具有一階一階縮小的對稱性，以不斷循環的方式重現，所以又可稱為自我模仿性，同時碎形幾何維度也不因尺度有所改變，包括X、Y方向。第三點則是無限的延展性(Unlimited Expansion)，無限的延展性是指倘若不斷放大整體結構其相同的結構則會不斷出現，其碎形維度會一致不變。最後便是渾沌的動態性(Chaotic Dynamics)，當初始值具有微小變化即會導致無法預測的結果，這也表示其長期趨勢具有不可預測性，特以非線性的碎形即具有此現象。

## 2.4 人工海洋生態

人工海洋生態係指人工魚礁，將天然或人造的結構體投置於合適的海域，因結構體改變海水的流動，攪拌海洋底層的硝酸(Nitrate)、磷酸(Phosphate)、矽酸(Silicate)等營養鹽，浮游生物繁殖，誘集魚群前來覓食，以改善營造或營造海洋生物之棲息環境，進而達成海洋生態培育，增殖海洋漁業資源。因此近年來世界各鄰海國不惜巨資投放已被證實具有吸引海洋生物聚集能力的人工魚礁，以復育海洋生態 (Ambrose and Swarbrick, 1989; Bohnsack, 1989; Bohnsack, 1990; Bohnsack, and Johnson, 1991)，國內外概況分述如後：

### 2.4.1 國外生態現況

日本於1970年代起，開始進行人工海洋生態魚礁的研究，根據魚類行為及習性開發出浮式、沉式、懸浮式等系列之人工魚礁，日本政府每年投資約六百億日元用於人工魚礁建設，建礁規模約六百萬 $m^3$ 。韓國則著重於人工魚礁材料方面的研究進行了深入研究，採用特殊混合材料製成附著基板，較好地解決了海洋植物附著的技術難題，為魚類營造了豐富的食物鏈，大幅度提升了區域漁業資源量，也是世界上唯一出口人工魚礁的國家。澳洲也在1970年代起開始投放人工魚礁，主要材質為廢棄物為主。各臨海的省份都有投設的計畫。昆士蘭省在哈維灣和莫頓灣有三座大型的人工魚礁設置。美國自1970年政府當局開始有人正試從事人工魚礁的相關研究工作，其中Randall(1963)、Turner(1970)及Stone(1974)等人作過許多試驗研究，皆證實人工魚礁確有增進漁業資源的功效，因此近十年來於許多洲政府陸續開始有設置人工魚礁的計畫(許澤宇，民96)，然美國建造人工魚礁的主要目的是發展遊釣休閒漁業，共投置人工魚礁約七千二百多座，礁區漁業生產力約為自然海區的十一倍。

## 2.4.2 國內生態現況

民國62年由於沿海漁業資源日益減少，遠洋漁業發展又受限，故漁業署於當年委託私立中國文化學院(現在的中國文化大學)進行投放地點勘察工作，為國內人工魚礁研究的開始；漁業署自民國63年開始投放人工魚礁，主要以水泥礁、電杆礁、鋼鐵礁、船礁、軍艦礁等不同礁型，於台灣周邊海域已設置八八處人工魚礁區，總面積約為二百三十七平方公里(如圖2.7)，另辦理烏石、八斗子、梧棲、新竹等漁港基本設施及公共設施改善、漁港碼頭鋪面整建、八斗子漁港遊艇碼頭、釣魚平臺相關設施建設，以及港區疏浚等一百五十三項工作，改造傳統漁港為兼具漁業及休閒觀光之功能(漁業署，民101)，惟因政府近年來財政緊縮，且投放人工魚礁，必須進行嚴密的海底探測，選擇合適的地點投放；但是海底結構複雜，單以聲波或震波產生折射所得之地形與地質，其準確程度仍受諸多因素影響，合適的地點選擇實為不易，若位置選擇錯誤，將因人工魚礁投放所產生之巨大衝擊力，造成海床破壞，並成為海底的巨大垃圾，導致近年來已無再投放人工魚礁，投放礁型種類，分述如後：

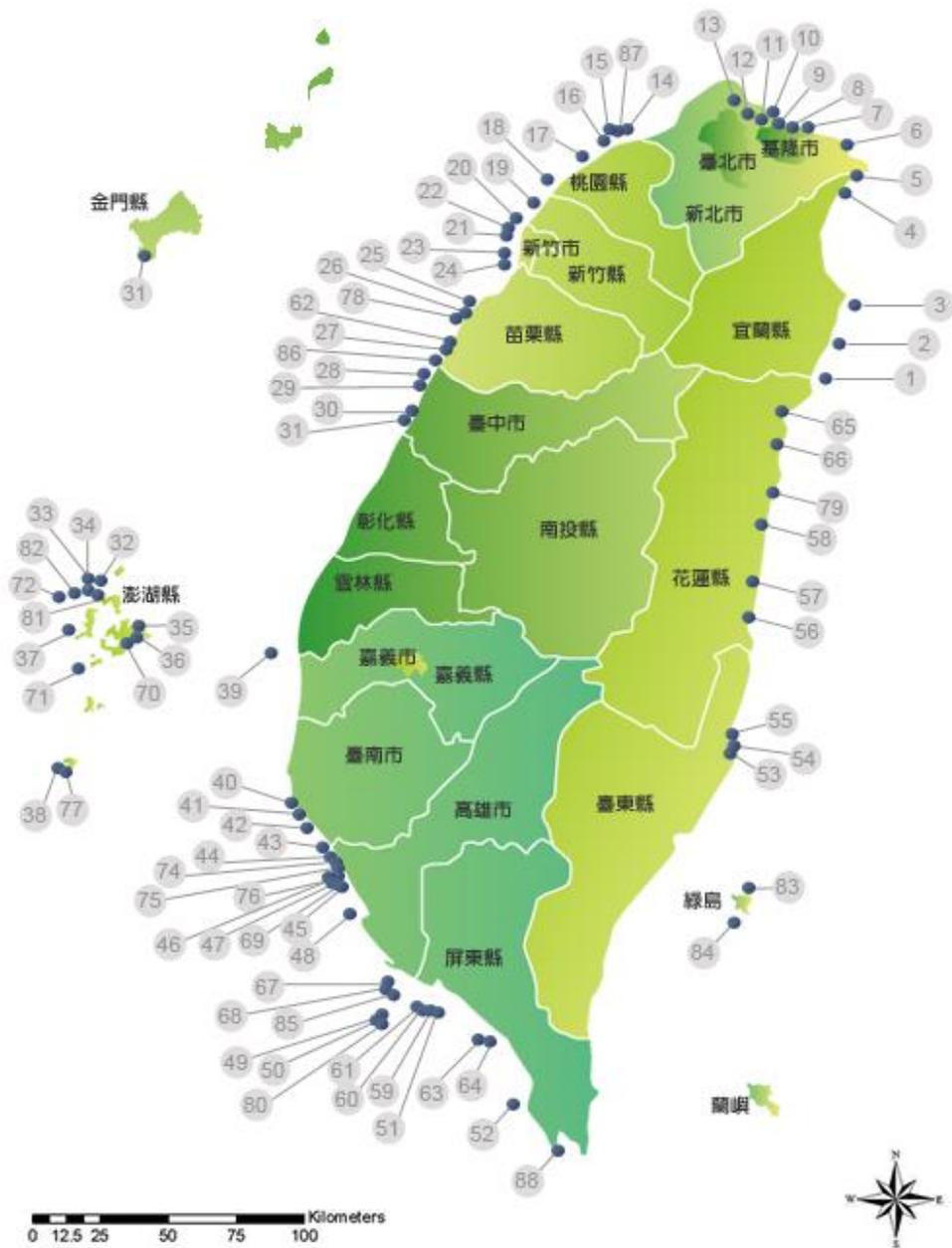


圖2.7 台灣投放人工魚礁分布圖

資料來源：行政院農業委員會漁業署，(民101)。

### 1. 水泥礁：

以混凝土材料製成，非常耐用、且容易取得，為台灣周邊海域主要投放之魚礁種類，依其構型有大致上有三角礁、雙層框型鋼礁、半圓型積疊礁、方型礁及雙層式大型礁，但是投放應集中堆疊放置，才能營造出複雜多樣的棲蔽空間，如圖2.8。



圖2.8 水泥礁

資料來源：行政院農業委員會漁業署，(民101)。

### 2. 舊電桿礁：

漁業署與台灣電力公司為再造台灣沿近海域豐富多樣的魚類棲生場所，攜手合作之「海底城造鎮計畫」，於89年12月1日起於台北縣淡水人工魚礁區揭開序幕，由台電公司提供報廢之電桿供漁業署製成人工魚礁，以汰舊資源再利用，節省製作成本，因礁桿露出圓形孔，適合龍蝦棲息，但是投放應集中堆疊投放，才能營造出複雜多樣的棲蔽空間(漁業署，民101)。



圖2.9 舊電桿礁

資料來源：行政院農業委員會漁業署，(民101)。

### 3. 鋼結構礁：

由鋼鐵材質製成，設計上需具有基樁腳及地板，才能抗沉陷，延長礁體壽命、提高受益，可加掛配件(如舊輪胎)，但是必須注意掛裝強度，由於其造價較高，較少使用，如圖2.10。(漁業署，民101)。



圖2.10 鋼結構礁

資料來源：行政院農業委員會漁業署，(民101)。

#### 4. 軍艦礁：

國防部提供報廢的軍艦，自民國89年迄今，共計有十三艘退役的軍艦投置於沿岸海域當做礁體(如表2.1)，此除了有傳統人工魚礁生態再造及培育資源的效益外，軍艦礁區另具有發展海洋觀光遊憩的潛力，如圖2.11。(漁業署，民101)。

表2.1 軍艦礁統計表

軍艦名稱	投放位置	投放時間
萬安艦	宜蘭石城	2000/11/19
凌雲艦	澎湖七美	2000/12/16
岳陽艦	花蓮奇萊鼻海域	2001/10/13
慶陽艦	新北澳底	2001/11/02
鎮海艦	屏東小琉球	2001/12/09
當陽艦	宜蘭石城	2002/10/31
居庸艦	宜蘭東澳	2002/11/09
大同艦	花蓮奇萊鼻海域	2002/11/10
中榮艦	屏東海口	2002/11/29
武勝艦	澎湖錠鉤嶼	2003/01/09
萊陽艦	澎湖縣西嶼鄉內垵村北海洋牧場	2003/03/29
綏陽艦	台東綠島中寮村外海域	2003/04/11
漢陽艦	苗栗縣外埔漁港外海	2003/04/19

資料來源：行政院農業委員會漁業署，(民101)。



圖2.11 軍艦碼頭

資料來源：資料來源：行政院農業委員會漁業署，(民101)。

## 2.5 海洋生態保育

海洋為生命誕生和孕育的起源，僅占地球表面積約70%，在人類文明進程中扮演著非常重要的角色，根據統計，世界上有一半以上的人口居住在距離海岸六十公里內(Spergel and Melissa, 2004)，因此對海洋資源不斷的開發應用，而疏於養護與管理，造成過去一直被認為取之不竭、用之不盡的海洋生物資源，在人類的過度利用而日趨衰退，甚至即將枯竭，因此聯合國海洋事務與海洋法總署制定了聯合國國際海洋公約(United Nations Convention on the Law of the Sea)，對當前全球各處的領海主權爭端、海上天然資源管理、污染處理等具有重要的指導和裁決作用(Chu, 2011)。

### 2.5.1 國外保育現況

#### 1. 挪威：

位處於北歐，西臨大西洋，海岸線狹長，海洋漁業發展迄今已有近千年的歷史，於1964年即建立漁業部，為世界上最早成立漁業部的國家。挪威漁業部下設漁業管理局、國家漁業銀行、漁民保證基金會、海洋研究會、

海洋食品出口委員會、挪威捕撈與養殖研究所等部門，專責挪威全國海洋捕撈、水產養殖、漁業資源保護、海岸安全、海洋科研、魚品質量、出口貿易、漁業立法以及漁業資金的具體管理(Li and Mu ,2013)。

挪威在長期的發展過程中，瞭解到制訂相關漁業法規的重要意義，爰此較早即開始立定漁業法規，其漁業法規項目非常繁多，大致分為以下幾種類：

- (1)漁業資源保護法規：如捕鯨法、拖網漁業法、捕獵海豹法、十二海湮漁業活動法、漁民登記和標識法、漁民註冊登記法、關於從事漁業的規定、捕撈參與法、專屬經濟區法、外國漁船在挪威專屬經濟區捕魚法、防止污染和排廢條例、海洋漁業法、港口和航道條例，除上述之外還訂定了網目法、魚類可捕標準、漁區的開放、關閉時間、關閉特殊漁區等。
- (2)養殖法規：如淡水魚魚病防治條例、有關魚類孵化、養殖場的構造、裝備、建立和擴建條例、魚貝類養殖法、魚病防治法。
- (3)水產品質量控制與銷售法規：如鮮魚法、魚品出口條例、水產品質量控制法、加工者條例法、魚類和水產品外銷法等。

從上述可得知，挪威在長期的漁業發展中，制定出一系列先進的漁業管理制度，確保挪威漁業資源可永續經營與發展。

## 2. 日本：

位處於東北亞，屬四面環海的海島型國家，人口數世界排名第十，人口數高達一億二千七百三十一萬餘人，惟因國土狹窄，耕地面積少、生產環境惡化、成本高，導致農村活力下降，糧食給自給率偏低，因此對於海洋漁業發展極為重視，為世界第二大漁業資源生產國，捕魚技術和捕魚量居世界前列(CIA, 2011)，為管理漁業資源，主要制定漁業資源保護法(其

宗旨是為了保護和增殖漁業資源)、漁業合作協會法(是漁民合作生產的根據)等等。其中漁業資源保護法是日本漁業生產的基礎；在沿海漁業中，部分漁具必需要有使用執照才能使用，而某些特定漁具則必須由有關的漁民共同管理。

日本漁業以許可證制度實施管理，由漁業協調委員會制度保障捕魚權和許可證制度方案。該制度包括六十六個海區協調委員會及一個中央協調委員會。各個委員會都有實權，有行政機構及顧問團，個別依據不同區域授予捕魚權和區域許可證；委員會也具有廣泛的管理權，如果需要，有權作出限制漁撈作業和漁場利用的決定。在內陸水域漁業中，類似的委員會執行同樣的職能(Li and Mu ,2013)。

## 2.5.2 國內保育現況

台灣屬於四面環海的海島型國家，位處亞洲東部，西臨台灣海峽、東臨太平洋，海岸線長達約一千一百四十公里，又因終年流經台灣東部的日本暖流(俗稱黑潮)，自古以來均仰賴海洋資源維生，漁政管理法規方面制定有漁業法、漁船建造許可及漁業證照核發準則、漁船船員管理規則、86年我國漁船在東大西洋(含地中海)海域捕撈黑鮪之漁獲限量及配額分配事項、赴西南大西洋海域魷釣漁船及運搬船請領作業證明書相關規定及我國延繩釣漁船或運搬船赴太平洋、大西洋及印度洋等三大洋海域從事南方黑鮪作業應行注意事項等，並以健全漁船及船員管理、輔導漁業權漁業發展、注重漁民福利及作業安全，以落實簡政便民措施，提昇為民服務績效為目標。另在海洋漁業方面政策：積極推動國際漁業合作、責任制漁業及漁業資源養護、培育，加強蒐集與分析漁業資訊、漁獲統計資料及資源評估研究等工作，以強化遠洋漁業管理及落實執法能力；執行三大洋公海漁

業巡護四航次，共計登檢五十二艘漁船及港口檢查一百八十三艘漁船；派遣五十八名觀察員進行海上觀測觀察員涵蓋率三大洋平均為6.7%，達到各國際漁業組織5%涵蓋率之要求，並完成生物樣本採樣六千七百九十九筆及魚體、混獲生物及海上拍攝一萬五千七百三十八筆；輔導中小型延繩釣漁船安裝漁船監控系統，安裝率達93%；增加大西洋大目鮪組漁船及輸日冷凍鮪類之轉載或卸魚港口一處(行政院農委會年報，民99)。

近海與沿海漁業新生：辦理烏石、八斗子、梧棲、新竹等漁港基本設施及公共設施改善、漁港碼頭鋪面整建、八斗子漁港遊艇碼頭、釣魚平臺相關設施建設，以及港區疏浚等一百五十三項工作，改造傳統漁港為兼具漁業及休閒觀光之功能；並完成十六萬立方公尺、二百三十七平方公里的人工海洋生態魚礁投放與魚苗放流約一千萬尾，惟目前僅針對人工海洋生態魚礁區內，禁止潛水、打魚和炸、毒魚，禁止使用網具類來撈等基本項目的管理，在行政院農業委員會的強力推動之下，地方上的漁民大部分都能接受。對於極少數違反規定的船家，必須面對罰則。在這種情況之下，相關的經營管理已進入軌道。

## 2.6 海洋生態開發

近年來因科技進步，使得海洋觀光產業不論種類或規模均快速的增加與成長，其中，以海上交通工具與潛水設備的發明，有效拉近了人類與海洋間的距離，興起海洋生態旅遊（賞鯨、潛水、賞鳥、極地觀光），如澳洲海洋公園（大堡礁），峇里島、普吉島的島嶼觀光等都已成為世界知名的旅遊去處。對於海岸及島嶼而言，海洋休閒觀光已成為重要的經濟活動。海洋(岸)休閒觀光活動概分如下(莊慶達，民96)：

1.水上及水中運動(Activities of Water)、2.海濱活動(Beach Activities)、

- 3.遊憩船及載客船 (Recreational Vessels and Passenger Carrying Vessels)
- 4.釣、捕魚 (Sport/Game Fishing)
- 5.海洋景觀 (Ocean Scenery)
- 6.海洋公園、文化 及海鮮 (Marine Park、Culture and Seafood)
- 7.海洋生物互動 (Interaction with Marine Organisms)

### 2.6.1 國外開發現況

在海洋生態資源耗竭與匱乏之際，全球正掀起一場藍色風暴-海洋資源的開發與使用，其中最受到高度重視海洋牧場建設，目前已有一百一十五座海洋牧場，遍佈於二十多個國家，刻正蓬勃的發展中；海洋牧場的構想源自於1973年由日本在沖繩國際海洋博覽會上提出，將魚苗放置於海上漁網中，每次餵食前，以聲納方式進行魚群餵食訓練，當魚群習慣餵食方式後，再將魚群放置劃設之海洋牧場，並在距離海岸二百公尺遠處設置一組浮標，水面下配置聲納、餵食器、魚群探測儀及水下照相機，岸上設遙控監測基地，每當開啟聲納，魚群回游覓食，吃完後又游回海洋，使魚群在海洋中也能像草原裡的牛群，處於隨時可管理之狀態，由於魚群能大範圍游動，覓食海洋浮游生物，其長較快，味道更勝定置漁網養殖魚類，當魚苗長大後，便利用回游覓食時捕撈(Shao, 1994)，屬養殖功能及捕魚之工具(Lan et al, 2013)。

海洋牧場建設成為引領世界新技術革命、發展低面具有引領潮流的示範作用。“海洋牧場”是指在某一海域內，採用一整套規模化的漁業設施和系統化的管理體制(如建設大型人工孵化廠，大規模投放人工魚礁，全自動投餵飼料裝置，先進的魚群控制技術等)，利用自然的海洋生態環境，將人工放流的經濟海洋生物聚集起來，進行有計劃有目的的海上放養魚蝦貝類的大型人工漁場。形像地說就是通過“底播增殖”手段，像

在陸地放牧牛羊一樣，讓魚、蝦、貝、藻資源在自然海域裡生長。建設海洋牧場的目的，一是為了提高某些經濟品種的產量或整個海域的魚類產量，以確保水產資源穩定和持續的增長。二是在利用海洋資源的同時重點保護海洋生態系統，實現可持續生態漁業。這種生態型漁業發展模式顛覆了以往單純的捕撈、設施養殖為主的生產方式，克服了由於局部污染和過度捕撈帶來的資源枯竭、由近海養殖帶來的海水污染和病害加劇等弊端，可以說是海洋漁業領域傳統生產方式的重大轉變，也是該領域調整產業結構大力發展低碳經濟的一場產業革命，惟仍屬養殖功能及捕魚之工具。

## 2.6.2 國內開發現況

政府為改善台灣觀光事業的環境，以及經營條件，交通部觀光局訂 2005 年起為「台灣觀光元年」，並以「打造台灣成為觀光之島」為目標，行政院為永續保有台灣美麗綠色島嶼與藍色海洋的美譽，更特別將「觀光倍增計畫」列為「挑戰 2008：國家發展重點計畫」十大計畫之一，經統計來台旅客由 2008 年的四百三十九萬五千餘人次，增加至 2012 年的七百三十一萬一千四百餘人次、成長率達 66%，旅遊外匯收入高達一百一十七億美餘元（新台幣三千四百八十五億元），占 GDP 百分比 4.4%，足見觀光產業對台灣的重要性，為未來發展經濟的重心(觀光局，民 97)。

行政院漁業署與行政院交通部觀光局正積極推動「休閒漁業」及近岸海域遊憩活動，先後成立北海岸及觀音山、東北角暨宜蘭海岸、東部海岸、雲嘉南濱海、大鵬灣、澎湖及馬祖等海岸型國家風景區，帶動海洋休閒觀光之發展。其中，民國 80 年漁業法增訂娛樂漁業專章，民國 81 年台灣省漁業局成立休閒漁業發展指導小組，規劃探討台灣休閒漁業發

展模式、法規制度，並且對縣市提出的休閒漁業計畫提出審查建議，台灣的休閒漁業由此開始萌芽發展(陳美芬與李清儀，民99)。

民國82年5月訂定「娛樂漁業管理辦法」，將海上休閒納入漁業的一環，正式開始我國娛樂漁業之發展，該辦法配合產業之發展經過多次修正，於民國88年8月公告之修正明確定義娛樂漁業的範圍，該辦法第二條修正為「本辦法所稱娛樂漁業，係指提供漁船，供以娛樂為目的者，在水上採捕水產動植物或觀光之漁業。前項所稱觀光，係指乘客搭漁船觀賞漁撈作業或海洋生物及生態之休閒活動。」因此除一般海釣外，尚可經營賞鯨、觀賞漁業作業，同時吸引民眾走入漁港、漁村。另為因應西南沿海地區漁筏、漁民轉型休閒之實際需要，民國90年7月修正該辦法開放舢舨、漁筏得於具天然屏障之沿岸水域如內海、潟湖等兼營娛樂漁業。整體而言，台灣的休閒漁業概可分為：

- 1.漁鄉美食型：包括海魚品嚐、生鮮魚市以及特產選購等。
- 2.教育文化型：有漁業推廣教育示範(漁事、家政、四健)，漁史民俗慶典(古蹟史話、媽祖、王爺、燒王船...)，漁業教育之展示：水族館、文物館、博物館等。
- 3.運動休閒型：海釣、磯釣、塹釣、潛水、親水遊憩、沙灘活動、漁港參觀遊憩等。
- 4.體驗漁業型：牽罟、石滬、採拾貝蛤、參觀箱網、定置網、魚塭水產加工及體驗漁村生活、民俗等。
- 5.生態遊覽型：海上藍色公路、巡海探島、賞鯨豚、紅樹林、觀漁火等。

總結前述，當前台灣休閒漁業發展的重要項目有：(1)娛樂漁船海釣、(2)賞鯨(豚)、(3)休閒漁港、(4)漁港漁產品直銷中心、(5)休閒養殖場區、(6)水族及漁業文物展示、(7)其他漁業有關之休閒活動等等。

雖然休閒漁業的起步較遲，但許多活動仍在陸續發展之中，如：海上藍色公路、生態旅遊、導遊潟湖、海上作業參觀、漁村民宿、漁業技藝、魚食烹飪、漁業節慶活動等。海洋觀光與休閒漁業的確提供遊客新的休閒選擇，也為失業率居高不下的今天，提供國人新的就業機會。然而，此種屬於三級產業的服務業，其發展除需要有整體的軟硬體配套措施外，服務品質、遊客安全、合理價位等，更是經營者須具備的基本理念。雖然海洋觀光休閒的發展可以為人類帶來不少實質上的正面效益，然而若規劃不當或管理不善，亦可能為海洋環境安全與自然資源永續帶來不小壓力，值得加以重視。若政府相關單位與民間企業能一起合作，共同規劃及發展永續性的海洋觀光休閒產業，則前述目標應可順利達成，為台灣創造觀光休閒事業另一高峰的願景也會相去不遠(莊慶達，民96)。

### 第三章 研究方法

本研究以演算結果較佳、適用範圍較廣及使用函數型態較多的基因演算法，在假設固定大小的基地以基因演算在三維空間進行全域搜尋，另為避免收斂到局部(Local)最佳點，故交配採用多點交配(Multi Point Crossover)，並於族群產生過程進行干擾提高族群質量；適應值是用來計算與評估個體的適存程度，在最佳化的問題中，可使適應值函數等於目標函數，因此為使建構之海洋生態空間複雜且多變，目標函數設定為碎行維度最大值，模擬建構三維人工海洋生態。

#### 3.1 基因演算

為提高初始族群((Initial Population)的品質，於隨機產生族群後，先進行突變，另為避免收斂到局部(Local)最佳點，交配採用多點交配。研究步驟如下(Lan et al., 2013)：

1. 編碼(Coding)：

每個三維個體是由二進制的位元所組成，每個位元 1 或 0 代表了該處魚礁存在與否。

2. 繁殖(Multiplication)：

產生第 0 代  $G=0$  的初始族群  $P(0)$

進行突變後，產生第  $O_i$  代的初始族群  $P(O_i)$

計算初始族群適應值(Fitness Value)，並由高至低排列後進行交配

3. 交配(Crossover)：

根據交配機率  $R_C(0.6\sim 1)$  由適應值最高開始進行交配產生第 1 代的子代族群  $P(1)$

#### 4. 突變(Mutation)：

第 1 代的子代族群  $P(I)$ ，根據突變常數  $\bar{M}(>0.1)$  進行基因突變產生第  $1_m$  代的子代族群  $P(1_m)$

#### 5. 天擇(Ranking Selection)：

計算第  $1_m$  代的子代族群  $P(1_m)$  之適應值(Fitness Value)，並由高至低依序排列

#### 6. 終止(End)：

若滿足終止條件則停止演化，否則回到步驟 2，再進行一次交配、突變、天擇，直到滿足終止條件。

### 3.2 碎形維度

由數學家曼得爾布羅特於 1970 年提出，認為傳統幾何無法正確度量的關鍵在於維度，為突破其限制，提出在的一維、二維、三維之間，還有分數的維度地帶，如 1.28 維，而非只有整數的維度，並依據碎形維度值的高低，表達出地物形狀或空間分佈的型態(Lee and Tsai, 2005)。計算方法分別為等步進法 (Structured Walk Method)、面積—周長 (Area-Perimeter) 及盒計法 (Box Counting Method, BCM) 等三種(Batty and Longley, 1994; Kenkel and Walker, 1996)。

其中盒計法在計算物體及其空間分佈在不同大小邊長的方格切割下，所產生的對應關係，以方格數與方格邊長速率變化來檢測出碎形維度 (Guoyan, 2011)，盒計法對於三度空間的地形也採相似方法計算，以立方體取代網格，按照所訂定之一組立方體大小切割數值資料，進而得到立方體大小與數量之變化關係，完全符合本文三維人工海洋生態魚礁建構之需求，且學者王素芬(民 96)表示碎形維度比一般指標更能描述自然界

不規則的景觀，係因景觀是由各種大小不同、形狀相異的鑲嵌體組成，這些鑲嵌體恰可符合碎形理論(Lan and Hsui, 2006)，學者貝克於 1998 年比較碎形維度、向量分散、鏈條和磁帶及並連續基質高差等四個指標，得出結論認為，碎形維度是最好衡量海洋生態環境的複雜性的指標 (beck,1998)，因此本研究之生態空間的碎形維度值設定為最大化，其中符號說明如下：

$FD$ ：碎形維度(Factal Dimension)。

$b$ ：將空間於水平及垂直方向各分成  $b$  等分。

$r$ ：魚礁的平均半徑。

$d_{min}$ ：二個魚礁間可容許的最小間隔距離。

$D_l$ ：空間的長度。

$D_w$ ：空間的寬度。

$D_h$ ：空間的高度。

$k$ ：二個魚礁中間點的最小距離，其中  $k \geq 2r + d_{min}$ ，另外  $k$  亦指空間之可佈置方格寬度。

$(i, j, l)$ ：每個可佈置方格的位置代號，而每個可建構魚礁位置的方格面積皆為  $k^3$ 。因此本研究生態大小固定為 9X9X9 及 13X13X13 等個模型。

$[f]$ ： $f$  取高斯函數；即  $[f]$  為大於  $f$  值得最小整數。

$A_k$ ：給定  $k$  定義值  $A_k = \left\{ \left( (i, j, l) \mid \begin{array}{l} i=1,2,\dots,m_k \\ j=1,2,\dots,n_k \\ l=1,2,\dots,v_k \end{array} \right) \right\}$  指的是在以  $k$  為建構

寬度下之空間方格所組成的集合，其中  $m_k$  代表長度可分配的格數，為  $\left[ \frac{D_l}{k} \right]$ 。而  $n_k$  代表寬度可分配的格數，為  $\left[ \frac{D_w}{k} \right]$ ，而  $v_k$  代表高

度可分配的格數，為 $\left[\frac{Dh}{k}\right]$

### 3.3 類神經網路

由於類神經網路為一平行分散式處理計算機模式，兼具高度平行性、分散式關聯記憶(Distributed Associative Memory)、容錯性、可調適性(Adaptive)、可自環境學習等特性，使它在圖形辨識、語音辨識與合成、訊號處理、影像壓縮處理、專家系統建構、決策分析等領域廣為應用，因此本研究以類神經網路，預測人工海洋生態魚礁區不同季節於的魚群數量，提供量化復育實際成效。

首先透過生態區的魚群調查與分析，魚群因時節的不同，而導致在不同時節魚群數量皆有所差異。因此，我們將魚群每一單位週期(可能為節氣、週或月等)之魚群種類之數量與總量，轉換成輸入矩陣( $X_1, \dots, X_n$ )，其輸出矩陣則由次一週期之各魚群種類之數量經由適當之轉換而得到，根據倒傳遞類神經網路演算法，建構「倒傳遞神經網路魚群預測模組」，其轉換方式如表3.1所示。

表 3.1 輸入矩陣轉換對照表

輸入參數名稱	代表意義
$X_1$	魚群的總重
$X_2$	魚群 A 的數量所占的比率
$X_3$	魚群 B 的數量所占的比率
$X_4$	魚群 C 的數量所占的比率
$X_5$	魚群 D 的數量所占的比率
$X_6$	魚群 E 的數量所占的比率
$X_n$	魚群 N 的數量所占的比率

資料來源：本研究整理

### 3.4 研究參數設計

1. 編碼方式：二進位編碼(Binary Code)
2. 族群個體數目：十二或二十四
3. 族群初始分佈：均勻分布
4. 交配方式：多點交配
5. 演化代數：1000 或 2000
6. 突變型態：柯西突變(Cauchy Mutation)
7. 突變常數：2 或 10
8. 複製型式：依據適應值高低排列
9. 適應值(函數)： $f: R^{n \times n \times n} \rightarrow R$
10. 目標：碎形維度(Fractal Dimension)最大值

$$FD = -\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} \left( \frac{\log N(\varepsilon)}{\log \varepsilon} \right)$$

11. 生態大小：
  - (1) 模型一：9X9X9，729 個立體空間
  - (2) 模型二：13X13X13，2,197 個立體空間
12. 魚礁數：(可由使用者依據條件自行設計)
  - (1) 模型一：六十個
  - (2) 模型二：一百五十二個

## 第四章 模型建構

本研究應用基因演算法對一個複雜的三維空間( $f:R^{n \times n \times n} \rightarrow R$ )進行全域搜尋，佈建一個三維人工海洋生態，並希望這個生態空間的碎形維度值(Fractal Dimension)為最大；首先將它簡化設計成二維複雜空間( $f:R^{n \times n} \rightarrow R$ )，並讓這個二維空間的碎形維度儘可能到最大值，進一步到三維複雜的空間( $f:R^{n \times n \times n} \rightarrow R$ )進行搜尋，其中目標函數設定為碎形維度最大(Lan et al., 2012)。

另本研究依據行政院農業委員會水產試驗所，於2010年對台灣周邊海域漁場，進行之環境監測航次報告顯示，台灣西北部海域(台灣海峽)的營養鹽，以距離海水表面二十五公尺以內的含量最多，若將人工海洋生態魚礁投放於海層底部，囿於其養分較少，成效勢必大打折扣，因此本研究提出將人工海洋生態魚礁由海水表面下建構，上層設計為一個平面式浮台，懸浮於海水表面，底部則依據基地大小、魚礁數及重量，計算所需錨塊重量後，連結數組錨塊，並以鋼纜將錨塊與浮台連結，其基本結構可使用玻璃纖維來製造，前述所提為本文後續研究範圍。

### 4.1 人工海洋生態模型一

模型一設定在一個9X9X9(共有729個立體空間)固定的三維立體空間，其設計參數為：族群個體數目為十二、突變常數為2.0、演化代數1000、交配方式：多點交配，操作畫面如圖4.1。



圖4.1 模型建構操作畫面

資料來源：本研究整理

為求演化結果最佳化，經重複三十次計算，記錄下最佳碎形維度值，如圖 4.2，由圖可得知碎形維度和魚礁個數為一個對數函數： $FD = a \cdot \log(x) + b$ ， $x$ 是人工海洋生態魚礁的個數， $a, b$  是常係數。

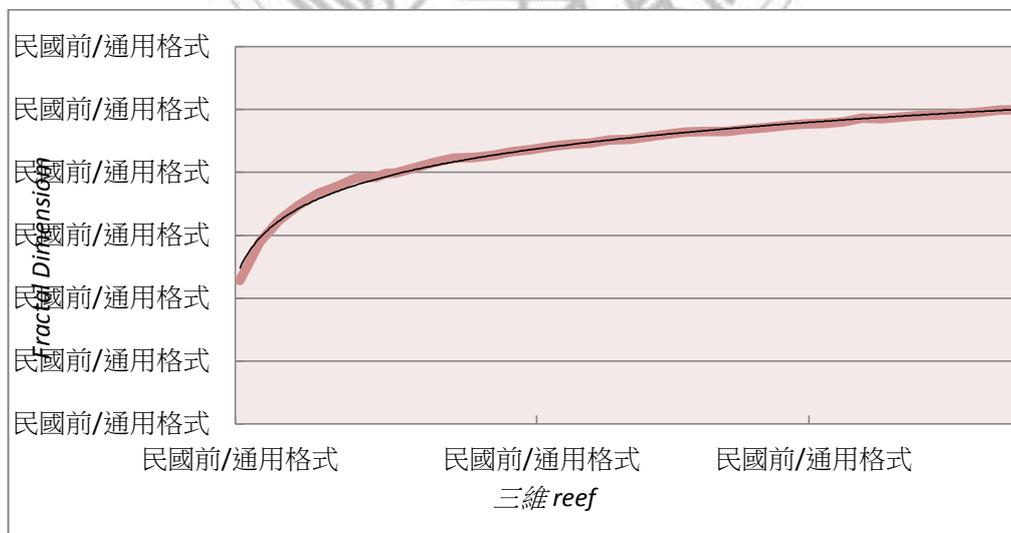


圖4.2 不同魚礁個數的最佳碎形維度

資料來源：本研究整理

模型一的人工海洋生態海洋，魚礁個數設定為六十個，最佳解如圖4.3，最大碎形維度值( $FD$ )為2.3662；可推動休閒海洋生態觀光產業，提升國家的經濟發展，促進海洋生態永續不竭。推動休閒海洋生態觀光產業，提升國家的經濟發展，促進海洋生態永續不竭。

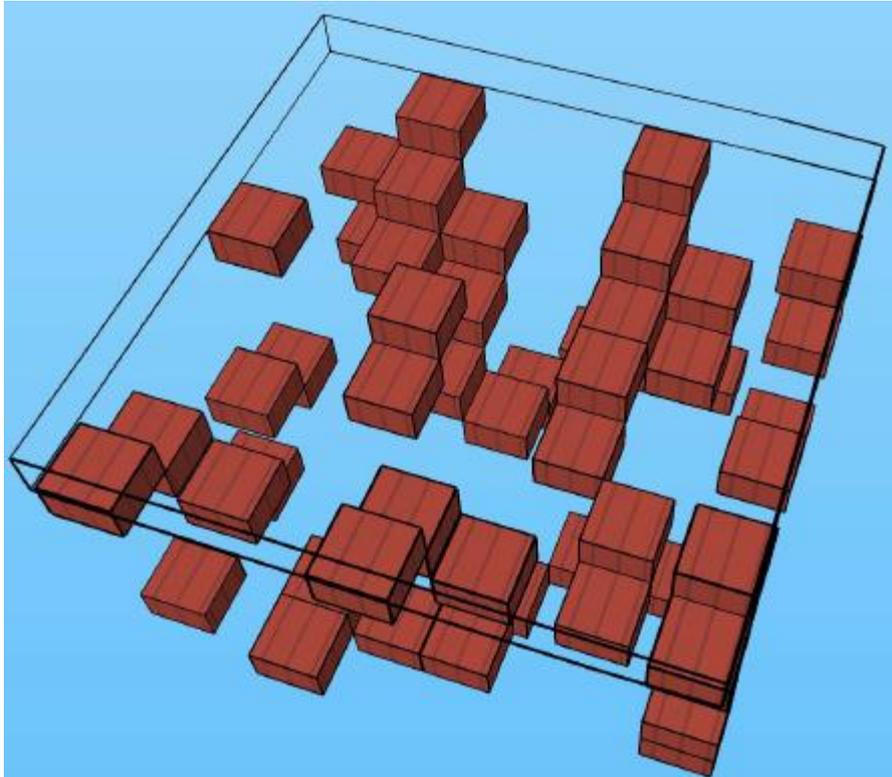


圖4.3 建構六十個魚礁之人工海洋生態

資料來源：本研究整理

## 4.2 人工海洋生態模型二

模型二設定在一個13X13X13(共有2197個立體空間)固定的三維立體空間，其設計參數為：族群個體數目為二十四，突變常數為 10，演化代數2000、交配方式：多點交配，操作畫面如圖4.4。



圖4.4 模型建構操作畫面

資料來源：本研究整理

為求演化結果最佳化，經重複五十次計算，記錄下最佳碎形維度值，

如圖4.5。

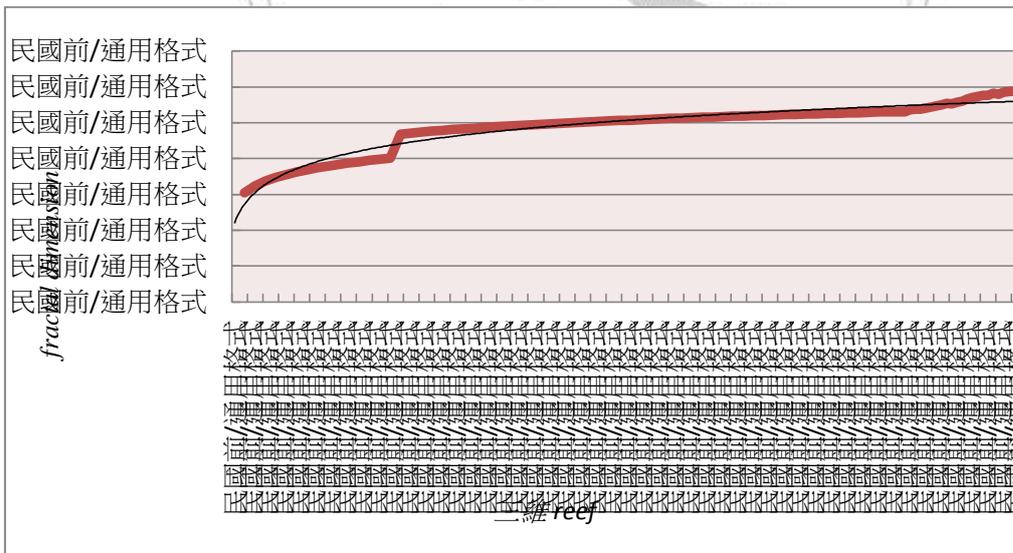


圖4.5 不同魚礁個數的最佳碎形維度

資料來源：本研究整理

由由模型二設定的基地比較大，由圖4.5可得知碎形維度值於一百四十二個魚礁開始明顯上揚，因此模型二的人工海洋生態海洋，魚礁個數設定為一百五十二個，最佳解如圖4.6，最大碎形維度值(FD)為2.9401。

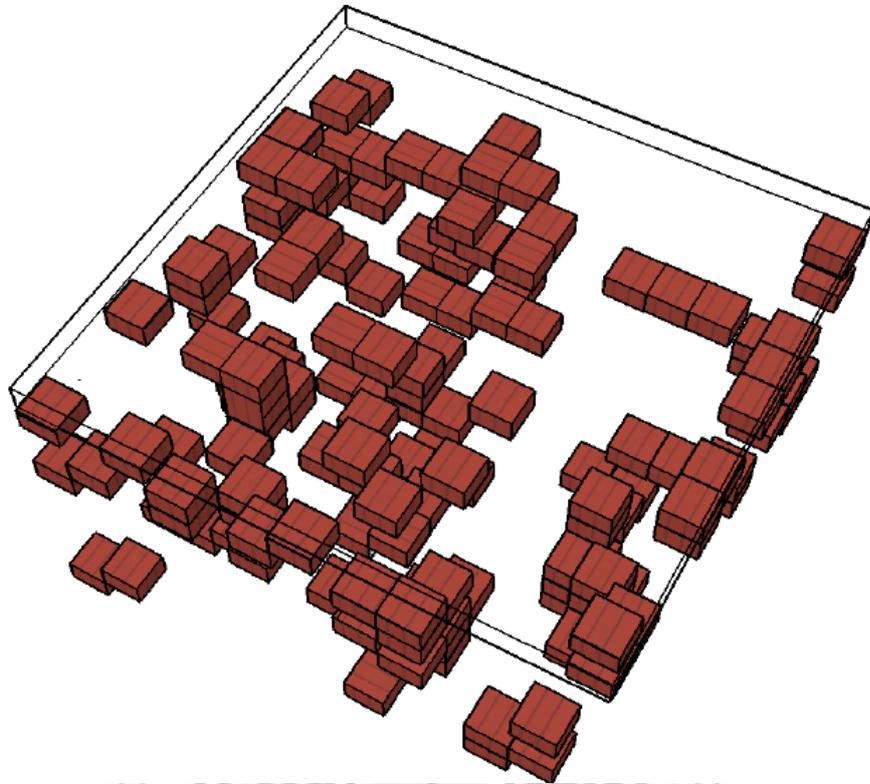


圖4.6 建構一百五十二個魚礁之人工海洋生態

資料來源：本研究整理

### 4.3 魚群預測架構與模型

囿於現階段投放之人工魚礁尚不能準確量化其效益，因此本研究應用類神經網路預測不同季節的魚群數量(Lo et al., 2012)，量化海洋生態復育成效，並不斷的調整生態管理與管理制度，促進海洋生態永續不竭為目標。

### 4.3.1 魚群預測架構

經過適當之輸入矩陣與輸出矩陣後，根據倒傳遞類神經網路演算法，建構「倒傳遞神經網路魚群預測模組」，其模組架構採用一層隱藏層如圖 4.7 所示，亦可用式(1)

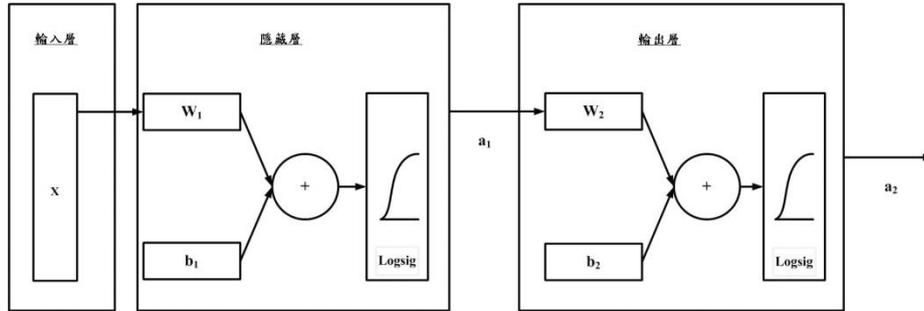


圖 4.7 倒傳遞神經網路需求估測架構

資料來源：本研究整理

其中輸入層中 $X$ 表示輸入矩陣，此矩陣即為前面所述由每一週期之魚群依照各不同之魚群種類之數量所轉換得參數矩陣。 $a_1$ 為隱藏層輸出矩陣， $a_2$ 為輸出層輸出矩陣，代表意義為所預測之魚群數矩陣。

$$a_2 = f(W_2 \cdot f(W_1 \cdot X - b_1) - b_2) \dots\dots\dots(1)$$

式中 $f()$ 表示轉換函數，隱藏層和輸出層中的 $W_1, b_1, W_2, b_2$ ，則需經由「倒傳遞類神經網路訓練演算法」計算後所得，此部份於下面詳述之。根據相關文獻，本研究中預期所使用之轉換函數為 $Logsig$ ，其輸入與輸出關係如圖4.8所示：

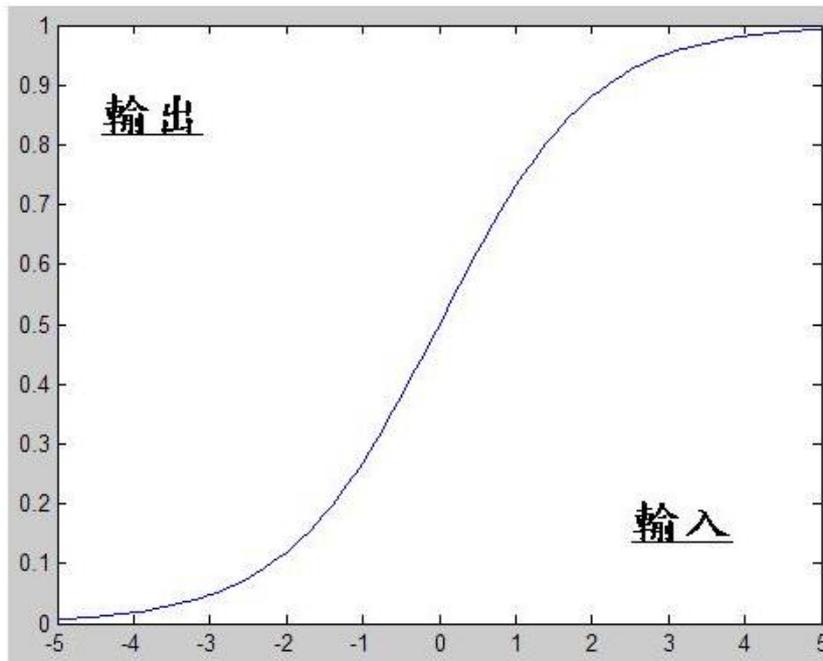


圖 4.8 轉換函數輸入與輸出關係圖

資料來源：本研究整理

類神經網路隱藏層的權重矩陣 $W_1$ 及門檻向量 $b_1$ ，輸出層的權重矩陣 $W_2$ 及門檻向量 $b_2$ ，其學習與訓練過程，詳如下說明：

1. 輸入一組訓練範例向量 $X$ 與期望目標輸出向量 $T$ 。
2. 計算網路實際的輸出向量 $a_1$
3. 計算隱藏層輸出向量 $a_1$ 。

$$n = \sum W_1 \cdot X - b_1 \dots\dots\dots(2)$$

$$a_1 = f(n) = \text{log sig}(n) = \frac{1}{1 + e^{-n}} \dots\dots\dots(3)$$

4. 計算實際輸出向量 $a_2$

$$m = \sum W_2 \cdot a_1 - b_2 \dots\dots\dots(4)$$

$$a_2 = f(m) = \text{log sig}(m) = \frac{1}{1 + e^{-m}} \dots\dots\dots(5)$$

5. 計算輸出向量 $a_2$ 與目標向量 $T$ 的差距量 $E$

$$E = T - a_2 \dots\dots\dots(6)$$

6. 更新權重值 $W$ 及門檻值 $b$

A. 更新輸出層權重值 $W_2$ 及門檻值 $b_2$

$$W_2(\text{new}) = W_2 + \Delta W_2 \dots\dots\dots(7)$$

$$b_2(\text{new}) = b_2 + \Delta b_2 \dots\dots\dots(8)$$

B. 更新隱藏層權重值 $W_1$ 及門檻值 $b_1$

$$W_1(\text{new}) = W_1 + \Delta W_1 \dots\dots\dots(9)$$

$$b_1(\text{new}) = b_1 + \Delta b_1 \quad b_1(\text{new}) = b_1 + \Delta b_1 \dots\dots\dots(10)$$

7. 其中權重值修正量 $\Delta W$ 及門檻值修正量 $\Delta b$ 計算方式如下：

$$\Delta W_2 = \eta \delta_2 a_1^T \dots\dots\dots(11)$$

$$\Delta b_2 = -\eta \delta_2 \dots\dots\dots(12)$$

$$\Delta W_1 = \eta \delta_1 X^T \dots\dots\dots(13)$$

$$\Delta b_1 = -\eta \delta_1 \dots\dots\dots(14)$$

上述(11)式到(14)式中的 $h$ 代表學習率，此參數為使用者自訂； $d_1, d_2$ 的計算方法則如下：

$$\delta_2 = -2F_2(m)(T - a_2) \dots\dots\dots(15)$$

$$F_2(m) = \begin{bmatrix} \cdot f_2(m_1) & 0 & 0 \\ 0 & \cdot f_2(m_2) & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & \cdot f_2(m_i) \end{bmatrix} \dots\dots\dots(16)$$

$$\cdot f_1(m_i) = \frac{d}{dn} \left[ \frac{1}{1 + e^{-m_i}} \right] = (1 - a_2)(a_2) \dots\dots\dots(17)$$

$$\delta_1 = F_1(n)(W_1)^T \delta_2 \dots\dots\dots(18)$$

$$F_1(n) = \begin{bmatrix} \cdot f_1(n_1) & 0 & 0 \\ 0 & \cdot f_1(n_2) & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & \cdot f_1(n_i) \end{bmatrix} \dots\dots\dots(19)$$

$$\cdot f_1(n_i) = \frac{d}{dn} \left[ \frac{1}{1 + e^{-n_i}} \right] = (1 - a_1)(a_1) \dots\dots\dots(20)$$

重複以上步驟，直到誤差值 $E$ 不在有明顯變化，即表達到收斂，表示學習完成。當學習完成後，儲存所得的權重值 $W_1, W_2$ 與門檻值 $b_1, b_2$ ，也就

代表由過往魚群數所歸納出來的魚群特性。將權重值矩陣及門檻值矩陣代入(1)式。

### 4.3.2 魚群預測模型

以電腦亂數產生九組每組六百筆的魚群數量資料，隨機選取四百一十筆（68.33%）進行訓練，九十五筆（15.83%）進行驗證、九十五筆（15.83%）進行測試，資料如圖4.9。

	(N) Column #1	(N) Column #2	(N) Column #3	(N) Column #4	(N) Column #5	(N) Column #6	(N) Column #7	(N) Column #8	(N) Column #9
	data 1	data 2	data 3	data 4	data 5	data 6	data 7	data 8	data 9
TST	1521	3423	2063	2967	4182	1724	1875	2258	2522
TST	2867	4891	3899	3127	4770	2058	3808	4058	1868
TRN	4167	1018	2582	1599	1600	3498	2890	4131	3089
TRN	1070	2152	4702	3507	4593	1539	3575	3475	2589
TST	3660	2041	3591	1030	2072	4608	3488	4853	2071
TST	1264	1926	4062	4648	4012	2535	3371	2684	1900
TRN	3024	1126	4398	4233	1589	2874	3023	4274	2901
TRN	1332	2255	1154	2410	1683	1409	1701	2505	2119
TRN	2495	2641	4627	3905	2809	2765	2156	3202	3725
TRN	2544	1401	3569	1886	3895	3868	1760	2704	1827
VLD	3879	1723	1610	1107	2897	2549	1874	4770	2759
TRN	2820	1684	2178	2635	2358	4415	1738	3601	4438
TRN	2955	4219	2599	1763	3471	4369	4251	3077	3599
TRN	3368	1753	3635	4010	1877	2030	3281	1880	4680
VLD	4068	2425	2542	3240	2281	2378	3575	3749	3321
TRN	2758	3708	3794	2651	3738	2473	1173	3651	4061
VLD	2684	3644	1576	2925	1207	1932	3659	1858	4825
TRN	1953	4673	2883	1217	4315	4620	4972	2439	2671
TRN	4440	1635	4822	3424	4091	1599	2800	3611	2762
TRN	1924	2012	4890	4103	3464	1017	3807	4060	1973
TST	3242	1569	4731	1293	3407	2884	4781	1120	4960
TST	1081	3234	2403	4462	4096	4487	1386	1605	1874
TST	3887	4679	2719	4136	3323	1498	3973	3704	3347
TST	1634	1794	4342	4841	3303	1301	4592	2369	4654
TRN	2381	1945	4151	1605	2325	2097	4686	2961	1204
TST	1468	2642	1519	3269	2296	3612	1769	1651	1312
VLD	1054	4512	1638	4581	1561	3291	1091	1674	3859
TST	1979	1213	4545	3950	4039	2211	3101	4987	1897
TST	3658	3020	2960	1258	4341	2989	4770	4757	4674

圖 4.9 魚群數量圖

資料來源：本研究整理

首先將人工海洋生態魚礁區之魚群種類之數量與總量資料，轉換成輸入矩陣 $X_1 \sim X_9$ ，資料矩陣轉換結果，如圖4.10。

Column #1	Column #2	Column #3	Column #4	Column #5	Column #6	Column #7	Column #8	Column #9
-0.739304	0.209548	-0.473631	-0.017263	0.592194	-0.644724	-0.565349	-0.373403	0.381722
-0.065799	0.947236	0.448518	0.062797	0.886415	-0.476884	0.40821	0.528174	0.216612
0.584689	-0.998995	-0.212958	-0.701776	-0.699775	0.246734	-0.054143	0.564738	0.524867
-0.964974	-0.429146	0.851833	0.25294	0.797848	-0.737688	0.290859	0.236163	0.398637
0.330998	-0.484925	0.293822	-0.98649	-0.463598	0.804523	0.247041	0.926371	0.267862
-0.867901	-0.542714	0.530387	0.823868	0.50713	-0.237186	0.188114	-0.16003	0.224691
0.01276	-0.944724	0.699146	0.616212	-0.705279	-0.066834	0.012843	0.636364	0.477405
-0.833875	-0.377387	-0.930186	-0.295972	-0.658244	-0.803015	-0.652984	-0.249687	0.27998
-0.251939	-0.183417	0.814164	0.452089	-0.094821	-0.121608	-0.423823	0.099424	0.685433
-0.227421	-0.806533	0.282772	-0.558169	0.448586	0.432663	-0.623269	-0.150013	0.206261
0.44058	-0.644724	-0.701155	-0.947961	-0.050788	-0.230151	-0.565852	0.884798	0.441555
-0.089317	-0.664322	-0.415871	-0.183388	-0.32049	0.707538	-0.634349	0.299274	0.865438
-0.021766	0.609548	-0.20442	-0.619715	0.236427	0.684422	0.631327	0.036814	0.653623
0.184889	-0.629648	0.315922	0.504628	-0.561171	-0.490955	0.142785	-0.562735	0.926534
0.535151	-0.29196	-0.233049	0.11934	-0.359019	-0.31608	0.290859	0.373403	0.583439
-0.12034	0.352764	0.395781	-0.175382	0.370028	-0.268342	-0.918912	0.324318	0.77026
-0.157368	0.320603	-0.718232	-0.038279	-0.896422	-0.540201	0.333165	-0.573754	0.963141
-0.523142	0.837688	-0.061778	-0.89292	0.658744	0.810553	0.99446	-0.282745	0.419339
0.721291	-0.688945	0.912104	0.211409	0.54666	-0.707538	-0.099471	0.304282	0.442313
-0.537653	-0.499497	0.946258	0.551163	0.232925	-1	0.407706	0.529176	0.24312
0.121841	-0.722111	0.866399	-0.854891	0.204403	-0.061809	0.898262	-0.943401	0.997223
-0.95947	0.114573	-0.302863	0.730798	0.549162	0.743719	-0.811634	-0.700476	0.218127
0.444583	0.840704	-0.144149	0.567676	0.162372	-0.758291	0.491312	0.350864	0.590003
-0.682762	-0.609045	0.67102	0.92044	0.152364	-0.857286	0.803072	-0.317806	0.91997
-0.308982	-0.533166	0.575088	-0.698774	-0.337003	-0.457286	0.850416	-0.021287	0.048978
-0.765824	-0.182915	-0.746861	0.13385	-0.351514	0.30402	-0.618736	-0.677436	0.076243
-0.97298	0.756784	-0.687092	0.790343	-0.719289	0.142714	-0.960212	-0.665915	0.719263
-0.510133	-0.901005	0.772978	0.474606	0.52064	-0.4	0.052128	0.993489	0.223933
0.329997	0.007035	-0.023104	-0.872404	0.671754	-0.009045	0.892722	0.878287	0.925019
-0.816863	0.555276	-0.84882	-0.283463	-0.715787	0.757286	-0.881642	-0.777611	0.367079

Column Details	
Parameter	Value
Column type	input
Format	numerical
Scaling range	[-1..1]
Encoded into	1 columns
Min	1000
Max	4997
Mean	0
Std. deviation	0
Scaling factor	0.0005

圖 4.10 輸入矩陣轉換圖

資料來源：本研究整理

前述資料經類神經網路重複二萬次演算後，獲得最佳模型架構為 8-6-1，其中隱藏層(Hidden Layers)為6，模型架構如圖4.11，類神經網路結構如圖4.12。

ID	Architecture	# of Weights	Fitness	Test error	Akaike's criterion	R-Squared	Correlation	Train Error	Stop Reason
1	[8-1-1]	11	0.00091	1098.568481	0.002712	0.03654	0.191221	955.154968	All iterations done
2	[8-14-1]	141	0.000914	1094.527466	0.001563	-0.001556	-0.009096	981.669922	All iterations done
3	[8-9-1]	91	0.000918	1089.72937	0.001856	0.003826	0.081699	978.933777	All iterations done
4	[8-5-1]	51	0.000926	1079.689697	0.002439	0.191973	0.458141	869.126587	All iterations done
5	[8-7-1]	71	0.000873	1145.493042	0.002274	0.211435	0.479477	847.767944	All iterations done
6	[8-3-1]	31	0.000918	1089.139282	0.002384	0.000576	0.046793	980.618286	All iterations done
7	[8-6-1]	61	0.000941	1062.898682	0.002068	-0.025616	-0.003472	990.156799	All iterations done

圖 4.11 類神經網路架構分析圖

資料來源：本研究整理

### 8-6-1

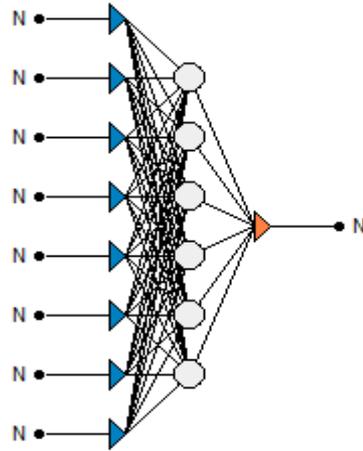


圖 4.12 類神經網路結構圖

資料來源：本研究整理

經重複二萬次的訓練後，誤差值已不再有明顯變化，並已開始收斂，表示學習完成，如圖4.13，模型即可提供人工海洋生態魚群預測數，分析復育實際效益，作為生態區經營管理之依據，提升海洋生態復育成效。



圖 4.13 類神經網路訓練結果圖

資料來源：本研究整理

## 第五章 結論與建議

### 5.1 結論

海洋為地球生物緣起，面積佔地球約70%，生物遠比陸地多源珍貴，為地球最大的維生系統，提供人類新鮮空氣、食物與氣候之調節；惟因人類過度的捕撈及環境的汙染，導致海洋資源不斷的枯竭，且根據研究海洋可以吸收熱，其熱容量比大氣要強約一千倍。因此復育海洋生態已經不單為提升海洋資源，還可以減緩溫室氣體所造成地球暖化之情形，降低極端氣候對人類生命安全之影響。

雖世界各鄰海國不惜巨資投放已被證實具有吸引海洋生物聚集能力的人工海洋生態魚礁復育海洋生態，惟投放人工海洋生態魚礁，卻受諸多因素限制與環境所影響，投放位置錯誤或偏差，將使其效益大打折扣，成為海底的巨大垃圾；因此世界各國又興起建構海洋牧場，惟海洋牧場屬養殖功能，於魚苗長大後捕撈食用，根本無復育海洋生態之功能。

因此本研究以復育海洋生態為前提，以演算結果較佳、適用範圍較廣及使用函數型態較多的基因演算法，模擬建構三維立體多變的人工海洋生態棲息地，提供海洋生物棲息、覓食、成長與繁殖；為避免收斂到局部最佳點，交配採用多點交配，並於族群產生過程進行干擾，提高族群質量。為建構一個複雜且多變的海洋生態，目標函數以衡量海洋生態環境的複雜性最好的指標「碎形維度」為最大值，開發模型建構程式，並模擬建構模型1：9X9X9(共有729個立體空間)、魚礁個數設定為60個及構模型2：13X13X13(共有2197個立體空間)、魚礁個數設定為152個等二個三維人工海洋生態基地。

為解決投放於海層底部魚礁之問題，且依行政院農業委員會水產試驗所，於2010年對台灣周邊海域漁場，進行之環境監測航次報告顯示，台灣周邊海域中的營養鹽濃度分布，以五~五十公尺深較多，故本研究之三維人工海洋生態棲息地，由海平面向下建構，而上層設計為一個平面式浮台，懸浮於海水表面，始海流碰撞三維人工人工海洋生態，產生營養鹽攪動，帶動浮游生物行形成與藻類、貝類及珊瑚之附著生長，吸引各式各樣的魚群覓食、定居，即可自然形成海洋生態系，達到海洋復育之功能，並可配合觀光政策，推動海洋生態休閒觀光，增加觀光人數及收益，改善國家漁業環境，增加漁民收入，提升國家的經濟繁榮與發展。

另考量現階段建構之三維人工海洋生態，尚不能準確量化其效益，因此本研究再應用類神經網路預測不同季節於三維人工海洋生態的魚群數量，量化海洋生態復育實際成效，提供政策單位參考，做為檢討修正法規、生態保育與管理制度之依據，有效促進海洋生態復育、永續不竭為目標。本研究之成果如下：

- 1.完成開發模型建構程式：本研究以基因演算法，目標函數設定為碎行維度最大值，開發模型建構程式，用以設計建構三維立體複雜且多變的人工海洋生態棲息地，提供海洋生物棲息、覓食、成長與繁殖。
- 2.模型建構操作簡易：本研究開發之程式可由使用者自行設定基地之大小、魚礁數，基因個體數目、演算代數、交配方式等條件，即可建議出符合生態需求之三維人工海洋生態。
- 3.生態模型可360度觀看：模型係建議出一個三維立體的海洋生態，因此可360度旋轉，以不同視角查看，了解魚礁結構如何配置，避免實際建構發生錯誤，導致效益大打折扣。
- 4.復育成效較佳：因台灣周邊海域的營養鹽濃度分布，以五~五十公尺

公尺深較多，一般投放於海層底部魚礁，其營養鹽含量勢必較少，故本研究之三維人工海洋生態棲息地，由海平面向下建構，即可有較多的營養鹽含量，帶動浮游生物行形成與藻類、貝類及珊瑚之附著生長，吸引各式各樣的魚群覓食、定居，復育成效相對較佳。

5. 量化復育成效：本研究應用類神經網路預測不同季節於三維人工海洋生態的魚群數量，可量化實際復育成效，提供政策單位參考，做為檢討修正法規、生態保育與管理制度之依據。

## 5.2 未來研究建議

1. 進行細部研究設計：本研究提出以基因演算法建構三維立體多變的人工海洋生態棲息地，並由海水表面下建構，惟有關基地之浮台結構與錨塊配重塊等均尚未探討與設計；未來應依據基地大小、生態魚礁重量等因素，設計錨塊重量與組數，結構部分可設計使用玻璃纖維或碳纖維等材質，進行細部研究設計。
2. 進行實證研究：由於台灣西部海域營養鹽介於水深0至25公尺內含量較多，為證實本研之可行性，故建議於台灣西部北部海域，擇定一個試驗管制區，以本研究開發之模型建構程式，建議出符合生態需求，小尺寸基地的三維人工海洋生態，進行實證，並定期調查該區域魚群數後，再應用類神經網路，進行預測不同季節於人工海洋生態的魚群數量，量化海洋生態復育成效，驗證本研究實際效果，期盼本研究未來能為海洋生態復育盡一份力，開創出新的里程碑。
3. 增加模型建構程式功能：本研究開發之程式，未來可針對魚群種類、游速、海水流向等條件，進行研究與探討後，將其增加為模型建構之

條件選項，使用者自行依據需求，即可建議出符合生態需求之三維人工海洋生態。



## 參考文獻

### 一、中文文獻

1. 王進德、蕭大全(民91)，類神經網路與模糊控制理論入門，全華科技圖書股份有限公司。
2. 王素芬（民86），地理資訊系統和碎形維度於森林地景空間變化上之應用，台灣大學，碩士論文，未出版，台北市。
3. 王鑫（民98），台灣海峽，文化部台灣大百科，台北市。
4. 行政院農業委員會漁業署(民101)，以海為田-闢建魚家，高原文化事業有限公司。
5. 行政院交通部觀光局行政資訊系統(民102)，觀光政策、觀光統計，<http://admin.taiwan.net.tw/indexc.asp>。
6. 陳美芬、李清儀(民99)，遊客對海岸型國家風景區遊憩設施使用需求與滿意度之研究，台東大學，碩士論文，未出版，台東縣。
7. 林文修(民89)，演化式類神經網路為基底的企業危機診斷模型：智慧資本之運用，中央大學，博士論文，未出版，桃園縣。
8. 林豐澤(民94)，演化式計算上篇:演化式演算法的三種理論模式，智慧科技與應用統計學報，第3卷，第1期。
9. 洪慈雲（民101），應用螞蟻演算法於精簡生產系統佈置，南華大學，博士論文，未出版，嘉義縣。
10. 周鵬程(民91)，基因演算法原理與應用-活用Matlab，全華科技圖書股份有限公司。
11. 范佐松(民93)，應用類神經網路於流通業商品採購建議之研究，輔仁大學，碩士論文，未出版，新北市。
12. 俞何興(民90)，淺談台灣海岸的類型、變遷及利用，全球變遷通訊雜

- 誌，第十八期。
13. 許澤宇(民96)，複雜度觀點下之最佳化空間佈置：人工棲地設計與應用，南華大學，博士論文，未出版，嘉義縣。
  14. 莊慶達(民98)，海洋觀光與休閒漁業的發展，台灣競爭力論壇學會，<http://www.tcf.tw>。
  15. 莊慶達、胡興華、邱文彥、高松根、何立德、碧菡著(民98)，海洋觀光休閒之理論與應用，五南出版社。
  16. 郭文偉（民94），類梯度搜尋演算策略方法，東海大學，碩士論文，未出版，台中市。
  17. 陳亮瑜(民90)，碎形維度與空間形態之研究-台灣地區之聚落空間為例，臺灣大學，碩士論文，未出版，台北市。
  18. 湯玲郎，施並洲(民90)，灰關聯分析、類神經網路、案例推理法於財務危機預警模式之應用研究，中華管理評論，第4卷，第2期，第25-37頁。
  19. 葉怡成(民89)，類神經網路模式應用與實作，第7版，儒林圖書公司。
  20. 賴宜和、鄧志堅(民99)，使用Tsallis 隨機變數產生器於演化規劃的突變操作，科學與工程技術期刊，第6卷，第2期，第71-84頁。
  21. 蘇木春、章孝得(民88)，機器學習：類神經網路、模糊系統以及基因演算法則，全華科技圖書股份有限公司。
  22. 環境資訊中心(民98)，<http://e-info.org.tw/>。

## 二、英文文獻

- 1 Abdel-Magid, Y. L. & Abido, M. A. (2003), Optimal multiobjective design of robust power system stabilizers using genetic algorithms, Power Systems, IEEE Transactions on, Vol.18, pp.1125-1132.
- 2 Ambrose, R. F. & Swarbrick, S. A. (1989), Comparison of fish assemblages on artificial and natural reefs off the coast of southern, California, Bulletin of Marine Science, Vol. 44, pp.718-733.
- 3 Batty, M. & Longley, P. A. (1994), Fractal Cities : A Geometry of Form and Function, Academic, Press, San Diego, CA .
- 4 Back, T. (1996), Evolutionary Algorithms in Theory and Practice: Evolution Strategies, Evolutionary Programming, Genetic Algorithms, Oxford University Press, New York.
- 5 Barnsley, M. (1988), Fractals Everywhere, New York: Academic Press.
- 6 Barange, M., John, G. F., Roger, P., Harris, E. E., Hofmann, R., Ian P. & Francisco, W. (2011), Marine Ecosystems and Global Change, Oxford University Press UK.
- 7 Barlow, M. T. & Bass, R. F. (2000), Divergence form operators on fractal-like domains, Journal of Functional Analysis, Vol. 175, pp. 214-247.
- 8 Beck, W. M. (1998), Comparison of the measurement and effects of habitat structure on gastropods in rocky intertidal and mangrove habitats, Marine Ecology Progress Series, Vol. 169, pp.165-178.
- 9 Bohnsack, J. A. & Sutherland, D. L. (1985), Artificial reef research: a review with recommendations for future priorities, Bulletin of Marine

- Science, Vol. 37, pp.11-39.
- 10 Bohnsack, J. A. (1989), Are high densities of fishes at artificial reefs the result of habitat limitation or behavioral preference, Bulletin of Marine Science, Vol.344, pp.631-645.
- 11 Bohnsack, J. A. (1990), Habitat structure and the design of artificial reefs, in: Bell, S. S. McCoy, E. D. Mushinsky, H. R. Habitat Structure: The Physical Arrangement of Objects in Space, Chapman and Hall, London, pp. 412-426.
- 12 Bourke, P. (1993), Fractal Dimension Calculator User Manual, Macintosh Application.
- 13 Bovill, C. (1996), Fractal geometry in architecture and design, Cambridge, Mass : Birkhauser Boston.
- 14 Chu, J. S. (2011), Management of large marine ecosystem based on ecosystem approach, Chinese Journal of Applied Ecology, Vol.19, pp. 2464-2470.
- 15 Chen, J. M. (1999), Fractal characterization of fabric wrinkle image, Journal of China Textile University, Vol.16, No.3, pp.86-89.
- 16 CIA (2011), World Factbook: Japan.
- 17 Lo, C. Y., Chen, P. C., Hou, C. I., Lan, C. H. & Kuo, C. H. (2013), The Analysis of Seasonal Fish Quantity with Artificial Intelligent Theory, Advanced Science Letters, Vol.19, No.9, pp.2585-2590.
- 18 Dorigo M., Maniezzo, V. & Colorni, A. (1991), The Ant System: An Autocatalytic Optimizing Process, Technical Report No. 91-016 Revised, Politecnico di Milano, Italy.

- 19 Fogel, L. J., Owens, A. J. & Walsh, M. J. (1966), Artificial Intelligence through Simulated Evolution, Wiley, New York.
- 20 Fogel, D. B. (1992), Evolving artificial intelligence, Ph.D. thesis, University of California, San Diego, CA.
- 21 Frauenberger, C., Stockman, T., Putz, V. & Holdrich, R. (2005), Mode independent interaction pattern design, In Proceedings of 9th International Conference on Information Visualization, pp.24-30.
- 22 Gen, M. & Cheng, R. (1997), Genetic algorithms and engineering design, New York : Wiley.
- 23 Glodberg, D. E. (1989), Genetic Algorithm in Search, Optimization and Machine Learning, Addison Wesley, Reading.
- 24 Goldberg, D. E. (1994), Genetic and Evolutionary Algorithms Come of Age, Communications of the ACM, Vol.37, pp.2-3.
- 25 Guoyan, H. Qi., X. Lan, B. & Jiadong, R. (2011), A Clustering Algorithm Based on Fractal Self-similarity over Data Stream, Journal of Convergence Information Technology, Vol.6, No.12, pp.8-15,.
- 26 Hausdorff, F. (1919), Dimension und äußeres Maß, Mathematische Annalen, Vol.79, No.1-2, pp.157-179.
- 27 Heragu, S. S. & Kusiak, A. (1988), Machine Layout Problem in Flexible Manufacturing Systems, Operations Research, Vol.36, pp.258-268.
- 28 Holland, J. H. (1975), Adaptation in Natural and Artificial Systems, University of Michigan Press, Ann Arbor, Republished by the MIT press.
- 29 Ho, Y. C. & Moodie, C. L. (1998), Machine Layout with a Linear Single-Row Flow Path in an Automated Manufacturing System, Journal of

- Manufacturing Systems, Vol.17, pp.1-22.
- 30 John, B. & David, F. (1989), Turbulent Mirror: an Illustrated Guide to Chaos Theory and Science of Wholeness, Harpen & Row Publishers.
- 31 Grefenstette, J. J. (1994), Optimization of Control Parameters for Genetic Algorithms, IEEE Transactions on System Man. and Cybernetics, Vol.24, No.4.
- 32 Kenkel, N. C. & Walker, D. J. (1996), Fractals in the biological sciences”, Coenoses, Vol.11, pp.77-100.
- 33 Kirrane, (1990), Machine Learning, Training and Development Journal, pp.24-29.
- 34 Lan, C. H. & Hsui, C. Y. (2006) The Deployment of Artificial Reef Ecosystem: Modeling, Simulation and Application, Simulation Modeling Practice and Theory, Vol.14, No.5, pp.663-675.
- 35 Lan, C. H., Lan, K. T. & Kuo, C. H. (2013), The Construction of a Marine Ecological Ranch with Floating 3D Artificial Reefs, Advances in Information Sciences and Service Sciences.
- 36 Lan, K. T., Lan, C. H. & Kuo, C. H. (2012), The 3D Artificial Reef Ecology Design and Deployment, Journal of Convergence Information Technology, Vol.7, No.6, pp.86-94.
- 37 Kumar, K. R., Hadjinicola, G. C., & Lin, T. L. (1995), A Heuristic Procedure for the Single-Row Facility Layout Problem, European Journal of Operational Research, Vol.87, pp.65-73.
- 38 Lee, C. C. & Tsai, B. W. (2005), The Relationship between the Spatial Pattern of Built-upArea and Landform- An Application of Fractal Theory,

- Journal of Taiwan Geographic Information Science, Vol.3, pp.43-55.
- 39 Levitin, G., Lisnianski, A., Haim, H. B. & Elmakis, D. (2000), Genetic algorithm and universal generating function technique for solving problems of power system reliability optimization, Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies, 2000. Proceedings. DRPT 2000. International Conference on, pp.582-586.
- 40 Liu T. K., Tsai J. T., Chou J. H., & Lai C. H. (2005), Job-shop scheduling problems by using an improved genetic algorithm, Proc. of the 2005 SICE Annual Conference, Okayama, Japan, August pp.944-949.
- 41 Liu T. K., Tsai J. T., & Chou J. H. (2006), Improved genetic algorithm for the job-shop scheduling problem, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol.27, No.9-10, pp.1021-1029.
- 42 Li. C. & Mu. Y. (2013), An Analysis of Marine Fishery Management System in Japan, World Agriculture, Vol.4, pp.65-69.
- 43 Martin, T. H, Howard, B. D. (1991), Mark Beale, Neural Network Design, Thomson Learning, pp.2-6.
- 44 Mandelbrot, B. B. (1967), How Long Is the Coast of Britain? Statistical Self-Similarity and Fractional Dimension, Science, Vol.156, No.3775, pp. 636-638.
- 45 Michalewicz, Z. (1993), Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs, Springer Publishing, N. Y.
- 46 Srinivas, M. & Patnaik, L. M. (1994), Genetic Algorithms: A Survey, IEEE Computer, June, pp.17-26.
- 47 Ma, J. T. & Lai, L. L. (1995), Application of genetic algorithm to optimal

- reactive power dispatch including voltage-dependent load models, Evolutionary Computation, IEEE International Conference on, Vol. 1.
- 48 Paul, A. & Fishwick, E. (2006), Aesthetic Computing, Massachusetts Institute of Technology Press, Cambridge, Massachusetts, London, England, pp.3-13.
- 49 Rechenberg, I. (1965), Cybernetic solution path of an experimental problem, In: Royal Air-craft Establishment, Library Translation, 1122, Farnborough, Hants., UK.
- 50 Sakrker, B. M., Wilhelm, W. E., & Hogg, G. L. (1998), Locating Sets of Identical Machines in a Linear Layout, Annals of Operations Research, Vol.77, pp.183-207.
- 51 Shao, K. T. (1999), The global Situation And prospect of Artificial Habitat (Reefs), Marine Farm Management Forum Monograph, pp. 21-26.
- 52 Spergel, B. & Melissa, M. (2004), Financing Marine Conservation: A Menu of Options, Washington, D. C: WWF Center for Conservation Finance.
- 53 Tsujimura Y., Mafune Y., & Gen M. (2001), Effects of Symbiotic Evolution in Genetic Algorithms for Job-shop Scheduling, Proc. of the IEEE 34th International Conference on System Sciences, Hawaii, pp.1-7.
- 54 Thiony, S., Hudson, T, P., & Jean, C, J. (2011), Target fishes on artificial reefs: Evidences of impacts over nearby natural environments, Science of The Total Environment, Vol.409, Issue.21, pp.4579-4584.
- 55 Valor, M., Albert, F., Gomis, J.M. & Contero, M. (2003), Textile and tile pattern design automatic cataloguing using detection of the plane

- symmetry group, In Proceedings of Computer Graphics International, pp. 112-119.
- 56 Venkatadri, U., Rardin, R. & Montreuil, B. (1997), A design methodology for fractal layout organization, IEE Transactions, Vol.29, pp.911-924.
- 57 Wang, Y.G., Lin, Y. X. & Haywood, M.D.E. (1999), A quasi-likelihood method for fractal-dimension estimation, Mathematics and Computers in Simulation, Vol.48, pp.429-436.
- 58 Wang, X. M. (2003), Algorithmic modeling techniques in computer-aided fractal art pattern design, Journal of South China Normal University (Natural Science Edition), Vol.2003, No.1, pp.46-50.
- 59 Wang, X. M. (2001), Composition art of fractal pattern with its implementation in computer, Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, Vol.13, No.1, pp.83-86.
- 60 William, W. (1840), The Philosophy of the Inductive Sciences, Founded upon their History, Vol.1.
- 61 Wong, B. K., Bodnovich, T. A. & Selvi, Y. (1997), Neural Network Applications in Business: A Review and Analysis of the Literature. Decision Support Systems, Vol.19, pp.301-320.
- 62 Yan, C. Y. & Deng, X. X. (2003), Design of fractal artistic pattern, Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis, Vol.25, No.5, pp.801-804.
- 63 Zhang, Y. G., Sugisaka, M. & Li, X. J. (1998), Lifelike artificial trees based on growth iterated function system, Applied Mathematics and Computation, Vol.91, pp.3-8.