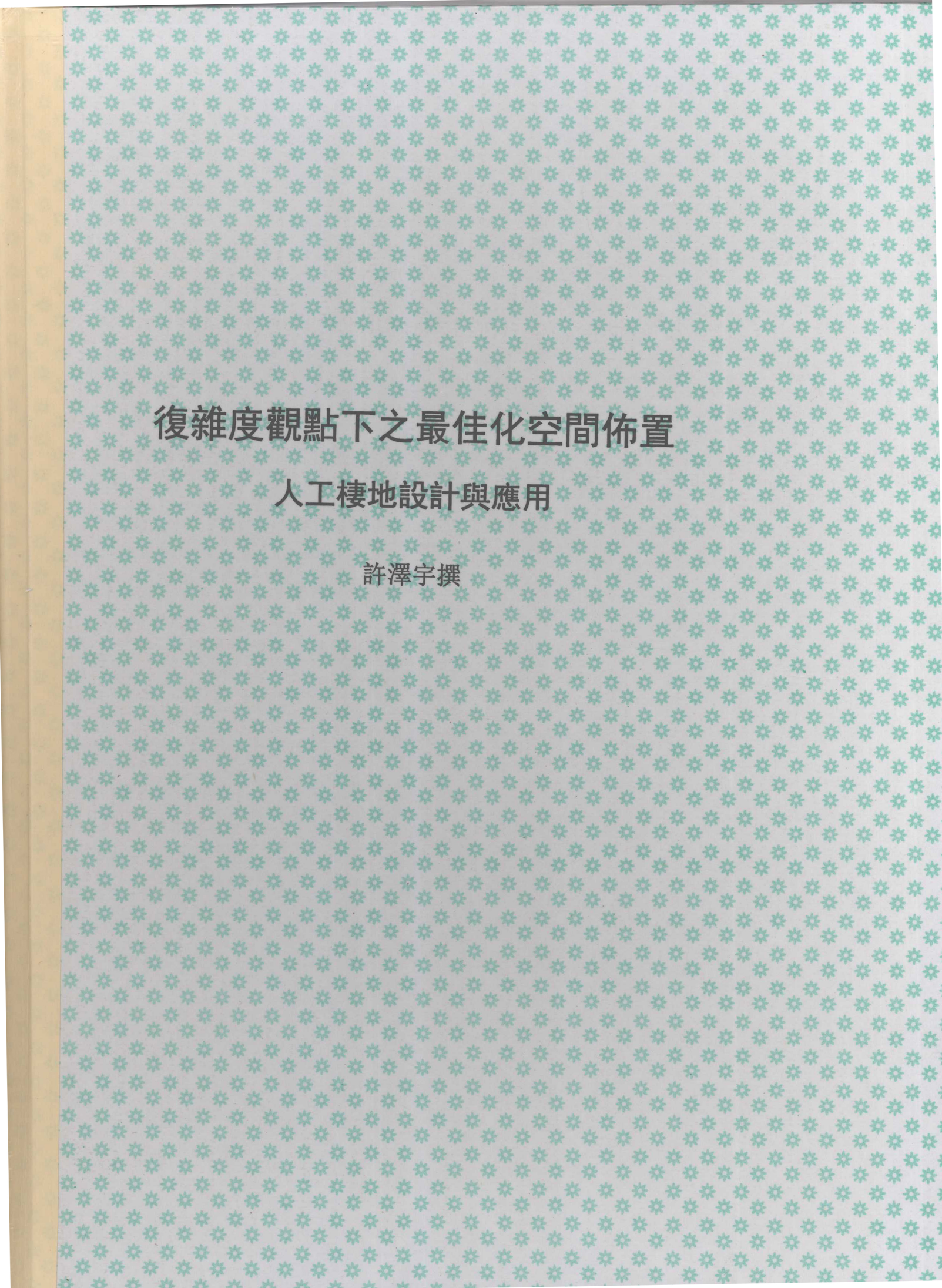




復雜度觀點下之最佳化空間佈置

人工棲地設計與應用

許澤宇撰

南華大學企業管理系管理科學博士論文

A DISSERTATION FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY

Ph.D PROGRAM IN MANAGEMENT SCIENCES

DEPARTMENT OF BUSINESS ADMINISTRATION

NANHUA UNIVERSITY

複雜度觀點下之最佳化空間佈置：人工棲地設計與應用

A COMPLEXITY PERSPECTIVE TO DEPLOY ARTIFICIAL HABITAT IN

MARINE ENVIRONMENT

指導教授：藍俊雄 博士

ADVISOR: Chun-Hsiung Lan Ph.D

研究生：許澤宇

GRADUATE STUDENT: Che-Yu Hsui

中 華 民 國 九 十 七 年 一 月

南華大學企業管理系管理科學博士班

九十六學年度第一學期博士論文摘要

論文題目：複雜度觀點下之最佳化空間佈置：人工棲地設計與應用

研 究 生：許澤宇

指導教授：藍俊雄 博士

論文摘要內容：

傳統以來人工魚礁之佈置設計並無一定之施工規範可以依循，僅有如魚礁礁堆之體積大小或魚礁礁群彼此間距之建議；因此對於設計人工魚礁生態系統之生態工程師而言，當投放魚礁之位址及所欲投放之礁體選定之後，接下來所面臨的問題即是將這些人工魚礁佈置排列於所選定之場址中。根據過去的經驗，生態工程師之佈置設計所憑藉的大都為工程師的判斷，然怎樣的佈置形式是成本最低而能夠產生最佳之聚魚效果卻很少被討論。根據生態學家研究天然礁與魚類族群的關係後指出，複雜度對魚礁之設計是一重要的考量。因此本研究嘗試利用生態學家對生物群聚現象之觀察，並配合工程師之經驗，提出一空間顯式數學模型，以科學量化的方式討論人工魚礁之礁群佈置設計。模型之目標函式則為最大化棲地系統之複雜度，複雜度之大小則以碎形維度值來衡量；此外模型中亦一併考慮預算有限之情況，並考量購礁成本、拋放成本及佈礁礁群之擴散半徑等參數。另外本研究亦提出佈礁模型之啟發式解法，進而結合物種動態擴散遷徙模式，在不同成本預算與物種保育策略下，提供工程設計人員於實務設計上之佈置參考。而在參數敏感性分析方面，本研究則透過對佈礁工程之參數模擬，提出設計階段所應考慮及遵行之方針；最後並引用景觀生態學之觀念，利用空隙度指標進階量化分類所設計之人工棲地景觀格局。整體而言，本研究整合不同領域之知識，其過程跟結果並可提供實務工作者、景觀生態學家及管理科學家另一新的思維。

關鍵詞：人工魚礁、碎形、空隙度、保育策略、景觀生態學

Title of Dissertation: A Complexity Perspective to Deploy Artificial Habitat in
Marine Environment

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

Graduate Date : Jan 2008

Degree Conferred : Ph.D

Name of Student : Che-Yu Hsui

Advisor : Chun-Hsiung Lan Ph.D

Abstract

We applied perspectives on landscape ecology to propose a spatially explicit model, termed the DARCs (deployment of artificial reef communities) model, to address problems associated with configuring artificial reefs. The deployment of most artificial reefs involves configurations based on engineers' judgments, and the spatial and financial constraints of the system. These designs are often merely plausible and not necessarily optimal. The DARCs model tries to integrate ecological and engineering aspects to replace subjective deployment. The core of this model is based on the ecological concept that species diversity and biomass will increase with increasing habitat complexity. Here, we apply the fractal dimension (FD) to assess the habitat complexity. Moreover, we present a solving algorithm for achieving the maximal fractal dimension under a fixed budget. As regards ecological applications, the proposed model to a case study was performed by considering the dispersal dynamics for a specific conservation policy, and creates an artificial habitat with several-small strategy in marine environment as well. In finally, we applied the lacunarity index as a complementary index, to characterize different spatial patterns that have the same FD value. Indeed, this study not only provide referenced guidelines for ecological engineers in deploying artificial reef programs, but also allow ecologists to explore some of the consequences of the geometrical configuration of environmental variability for species richness in future studies.

Keywords: artificial reef communities, fractal geometry, lacunarity, conservation, landscape ecology

目錄

中文摘要.....	i
英文摘要.....	ii
目錄.....	iii
表目錄.....	v
圖目錄.....	vi
第一章 緒論.....	1
1.1 問題背景.....	1
1.2 研究動機與目的.....	3
1.3 研究架構.....	6
第二章 相關文獻探討.....	8
2.1 國內外人工魚礁現況概述.....	8
2.1.1 台灣人工魚礁概況.....	9
2.1.2 香港人工魚礁概況.....	10
2.1.3 美國及歐洲人工魚礁概況.....	11
2.2 人工魚礁規劃與設置考慮因素.....	12
2.3 人工魚礁佈置設計之原則.....	15
2.4 複雜度及碎形維度.....	17
第三章 佈礁模型之構建與求解程序.....	21
3.1 模型假設與符號說明.....	21
3.2 DARCs 模式.....	23
3.3 逐步演算法.....	25
3.4 數值範例.....	27
3.5 多階段優勢確保演算法.....	32
3.6 盒計演算法.....	35
第四章 人工棲地之模擬與敏感性分析.....	37
4.1 棲地景觀之模擬算例(應用 MSPA 演算法).....	37
4.2 敏感性分析.....	41
4.2.1 單位礁群購買成本之模擬.....	41
4.2.2 礁體施放方式之模擬.....	42
4.2.3 佈礁運輸成本之模擬.....	44
4.2.4 礁群擴散半徑之模擬.....	45
4.2.5 佈礁計畫預算之模擬.....	46
4.3 討論.....	47
第五章 佈礁模型於生態學上之應用.....	50
5.1 人工棲地決策輔助系統.....	50
5.2 考慮族群動態遷徙模式下之保護區棲地設計.....	55

5.3 SS 策略下之棲地設計.....	59
5.3.1 島嶼生物地理學的觀點.....	59
5.3.2 細胞自動機自由鄰域規則的引入.....	61
5.3.3 結果與討論.....	65
第六章 進階棲地結構定量:空隙度指標之引入	69
6.1 前言.....	69
6.2 空隙度指標.....	72
6.3 滑動框演算法.....	74
6.4 數值範例.....	76
6.5 討論.....	78
第七章 結論.....	81
7.1 主要研究成果及貢獻.....	82
7.2 建議未來研究方向.....	84
參考文獻.....	86
附錄.....	96
附錄一 盒計演算法之 FORTRAN 程式語法	96
附錄二 特定保育策略下保護區建議長、寬之求解.....	99

表目錄

表 1.1 台灣現有之人工魚礁專利表列.....	3
表 3.1 $d=300$ 公尺之第一回合($\alpha=1$)詳細佈礁設計計算過程.....	28
表 3.2 $d=300$ 公尺情況下之各回合建議佈礁最佳解.....	29
表 3.3 不同模擬相鄰礁群間距之情況下數值案例之建議佈置.....	31
表 4.1 WGS84 及 TM2 系統下之計畫區四個頂點座標.....	38
表 4.2 在 $d=300$ 公尺之情況下，永安港外海人工魚礁生態區佈置設計案之建議佈置(僅列出部分計算過程).....	39
表 4.3 不同模擬相鄰礁群間距之情況下永安港外海人工魚礁生態區佈置設計案之建議佈置.....	40
表 4.4 不同計畫預算下，永安港外海人工魚礁生態區佈置設計案之最終建議佈置決策(僅列出部分結果).....	47
表 4.5 永安港外海人工魚礁生態區佈置設計案之最終建議預算及其佈置決策..	47
表 5.1 永安港外海人工魚礁生態區模擬佈置之詳細結果.....	52
表 5.2 永安港外海人工魚礁生態區模擬佈置決策之快速索引表.....	53
表 5.3 三種不同保護物種之 D 值.....	54
表 5.4 不同模擬相鄰礁群間距之情況下永安港外海人工魚礁生態區佈置設計案之建議佈置.....	57

圖目錄

圖 1.1 不同複雜度之空間景觀格局比較圖.....	5
圖 1.2 本研究架構流程圖.....	7
圖 2.1 人工魚礁生態系統之組成.....	15
圖 2.2 複雜度概念圖.....	19
圖 3.1 透過疊圖之技術以找出下一設計回合之候選位置細胞集合示意圖.....	29
圖 3.2 $d=300$ 公尺情況下各回合設計之建議礁群佈置圖	30
圖 3.3 數值算例所建議之最佳礁群佈置圖.....	31
圖 3.4 位址細胞鄰域規則.....	34
圖 3.5 盒計法之計算架構圖.....	36
圖 4.1 位於台灣永安港外海之人工魚礁生態區計畫位置圖.....	37
圖 4.2 在 $d=300$ 公尺之情況下，計畫區經空間離散所得之位址細胞、位址細胞座標、初始佈置位置及遵循八鄰規則所提供之可佈置候選位置示意圖..	38
圖 4.3 永安港外海人工魚礁生態區佈置設計案最終建議之平面佈置圖.....	40
圖 4.4 購礁成本(C_R)與最佳碎形維度(FD)值及礁群數量(N)之關係	42
圖 4.5 在不同之單位購礁成本(C_R)情況下，相鄰礁群間距(d)與相應之最佳棲地系統複雜度(FD)之關係.....	42
圖 4.6 拋放成本(C_L)與最佳解碎形維度(FD)值及礁群數量(N)之關係.....	43
圖 4.7 在不同之拋放成本(C_L)情況下，相鄰礁群之間距(d)與相應之最佳棲地系統複雜度(FD)之關係.....	43
圖 4.8 在不同之運輸成本(C_T)情況下，相鄰礁群之間距(d)與相應之最佳棲地系統複雜度(FD)之關係.....	44
圖 4.9 運輸成本(C_T)與最佳碎形維度(FD)值及礁群數量(N)之關係.....	44
圖 4.10 礁群擴散半徑(r)與最佳碎形維度(FD)值及礁群間距(d)之關係.....	45
圖 4.11 在不同礁群擴散半徑(r)情況下，相鄰礁群之間距(d)與相應之最佳棲地系統複雜度(FD)之關係.....	45
圖 4.12 計畫預算(B)與最佳碎形維度(FD)值及礁群數量(N)之關係	46
圖 4.13 在不同計畫預算(B)下，相鄰礁群之間距(d)與相應之最佳棲地系統複雜度(FD)之關係.....	46
圖 5.1 不同物種之族群損失率(λ)與保護區邊界條件(ρ)之關係	51
圖 5.2 特定保育策略下永安港外海人工魚礁生態區決策輔助系統所建議之平面佈置圖.....	55
圖 5.3 整合族群動態遷徙模式於佈礁模型中以建構人工棲地之架構.....	56
圖 5.4 不同模擬相鄰礁群間距 d 永安港外海人工魚礁生態區佈置設計案之建議佈置圖(部分結果).....	58
圖 5.5 特定保育策略下永安港外海人工魚礁生態區佈置設計案最終建議平面佈	

置圖.....	58
圖 5.6 人工魚礁棲地組成示意圖.....	61
圖 5.7 網格細胞之鄰域規則.....	63
圖 5.8 結合佈礁模型及演化計算演算法之海洋環境人工棲地佈置設計架構圖..	64
圖 5.9 單島及多島等兩種不同景觀格局之排列比較.....	67
圖 5.10 演化計算演算法之參數設定視窗.....	68
圖 6.1 對一微型景觀操作滑動框演算法示意圖.....	75
圖 6.2 具有相同碎形維度值之空間排列空隙度比較圖.....	76
圖 6.3 不同空間排列型態之空隙度比較圖.....	77
圖 6.4 四個具有相同數目綴塊但空間分佈不同之二維景觀格局空隙度比較示意圖.....	80

第一章 緒論

本研究以最佳化(Optimization)之方法輔以複雜度之觀點探討符合生物群聚之空間景觀格局(Landscape Pattern)設計，並將之應用於海洋環境人工棲地(如常見之人工魚礁)之空間佈置。事實上，人工魚礁的投放在諸多改善漁場環境之方法中，為效果顯著且為最簡便的方式；因此以下首先就人工魚礁設置之必要性及其對生態保育之貢獻作一說明，再針對設置所需考量之因素作介紹，另外研究動機與目的及研究架構亦分述如下。

1.1 問題背景

根據生態學家的研究(e.g. Abelson, 2006)，珊瑚礁(Coral Reefs)及相關之熱帶沿岸生態系統(Tropical Nearshore Ecosystems)對人類之生存具有極為重要之生態意義¹。然而由於人為的破壞及自然的干擾(Natural Disturbances)，世界上之珊瑚不論是在豐富度(Abundance)或多樣性(Diversity)方面皆已面臨長期且嚴重之惡化，特別是在近數十年(參見 Richmond, 1993; Grigg, 1994; Hughes, 1994; Hinrichsen, 1997; Abelson, 2006)。為解決珊瑚銳減及沿岸生態系統的破壞，方案之一即是人工魚礁的投放(Bohnsack, 1990; Bohnsack *et al.*, 1991; Seaman and Sprague, 1991; Seaman, 1996; Collins and Jensen, 1999; Spieler *et al.*, 2001)。所謂人工魚礁(Artificial Reefs, 簡稱 ARs)指的是將天然或人工結構物投入海中，藉著這些物體之特殊結構，提供海洋生物一個棲息、避敵及索餌的場所；換言之，不論是人工魚礁或珊瑚礁，皆具有吸引及聚集海洋生物之能力；此部份之實證研究亦可廣見於諸多文獻報告之中，例如 Rounsefell (1972)、

¹ 因為除了提供人類所需之資源外，更蘊含了豐富的基因庫。

Bohnsack & Sutherland (1985)、Bohnsack (1990)、Ambrose & Swarbrick (1989)、Bohnsack *et al.* (1991)及 Collins *et al.* (1991)。此外由於撈補技術的進步，近岸資源已遭過度開採，致使資源量驟減；更由於工業廢水之污染及沿岸地區工程之開發破壞，使得海洋生物之棲息地日益縮減。因此為挽救日益枯竭的沿岸資源，進而增加沿岸漁民之收入，各鄰海國家乃不惜花費鉅資，於適當之沿岸海域投放人工魚礁，藉以達成沿岸資源之復育，以達到增加漁產的目的。

事實上，就以改善漁場環境或復育珊瑚的目的來說，人工魚礁的投放是最簡便的方式，而當前之人工魚礁研究重點則聚焦於人工魚礁之設計(Baien, 2001)。學者 O'Leary *et al.* (2001)認為，人工魚礁的設計包含選址(Site)、材質(Composition)及排列(Arrangement)等三議題；雖然過去曾有學者(e.g. Bohnack and Sutherland, 1985)認為選址是攸關人工魚礁計畫成敗之主因，然 Baien (2001)指出，人工魚礁之設計除了應著眼於選址議題外，諸如人工魚礁之組成(包含不同材質之選用或魚礁模組之設計)及人工魚礁之佈置，亦需加以審慎考慮，若其任一因素有所忽略，將使人工魚礁設置計畫的失敗機率大幅提昇。

而在人工魚礁之選址議題方面²，除了應考量物質環境與生物環境是否適合佈設投放人工魚礁外，更應在社會經濟面與利害關係者間之衝突取得平衡，以使得社會福利最大化。至於在材質及人工魚礁之組成上，目前業已有諸多研究討論³，不同材質之選用，確實分別有其優缺點；此外在人工魚礁之構造設計方面，有的強調其功能性(如抗沉陷)，有些則強調其聚魚性，而由於此項設計極具商業上之價值，因此國內外皆可廣見多項人工魚礁模組(Module)之設計專利(如表 1.1 所列)。唯在人工魚礁之

² 相關之研究如 Mathews (1985)、Heaps *et al.* (1997)、Kennish *et al.* (2002)等。

³ 相關之研究如 Lok *et al.* (1998)、Seaman and Sprague (1991)、O'Leary *et al.* (2001)等。

佈置/排列上，卻無相關之施工規範甚或專利的提出；迄今之研究僅有就設置人工魚礁之礁堆體積、礁堆之高度、礁群之間距等原則性之建議，而無具體之人工魚礁配置(Configuration)方法可依循。

表 1.1 台灣現有之人工魚礁專利表列

編號	公告號	公告日	專利名稱	設計分類
1	1286463	2007/09/11	廢輪胎人工魚礁	組成(單體/模組)
2	200637948	2006/11/01	多孔長條柱狀消波塊單體	組成(單體/模組)
3	M298331	2006/10/01	人工浮動魚礁	組成(單體/模組)
4	200603723	2006/02/01	廢輪胎人工魚礁	組成(單體/模組)
5	00557650	2003/10/11	人工魚礁之改良	組成(單體/模組)
6	00521572	2003/02/21	廢輪胎混凝土潛堤魚礁	組成(單體/模組)
7	00382896	2000/02/21	巨集電桿魚礁	組成(單體/模組)
8	00382895	2000/02/21	水泥電桿魚礁	組成(單體/模組)
9	00259937	1995/10/11	人工魚礁定性基座	組成(單體/模組)
10	00224566	199//06/01	人工魚礁之鐵模改良構造	組成(單體/模組)
11	00211832	1993/08/21	消波塊之人工魚礁	組成(單體/模組)
12	00105636	1988/11/11	人造魚礁	組成(單體/模組)

備註：1).資料來源為中華民國專利資訊網(<http://www.twpat.com/webpat/>)，2007

2).表中之設計分類係依據 Baien(2001)對人工魚礁之設計所進行之分類

1.2 研究動機與目的

根據前述，人工魚礁之佈置(排列)設計問題確實是刻不容緩之議題，而佈置設計之主要訴求，應朝向能提出一科學、可量化且兼具可操作性(Manageability)之方法著手。不論如何，在礁體型式、材質及場址選定後，最後之施工階段則是將這些魚礁礁體投入所計畫之場址內，雖然只要在適當之地點及時間投放必定會有效益⁴，但根據近年來景觀生態學

⁴ 在效益評估方面，依據佐藤修(民73)的研究，投放每立方公尺的人工魚礁平均可造成1.837立方公尺的有效漁場，而每1立方公尺之人工漁場較一般未投放之漁場每年可多增加10公斤之漁獲量。另外根據 White (1990)的研究，則指出每年每立方公尺的人工魚礁應可增加16~20公斤之漁獲量；國內學者歐錫祺(民81)的研究則為每立方公尺可增加約13公斤之漁獲量。

(Landscape Ecology)之理論及實證，不同之佈設型態對於生物之群聚會有程度上不同之影響；然而怎樣的設計才屬於較佳之設計⁵，亦即在有限的資源投入下(如資金)，所佈設之人工魚礁可具有邊際利益之產出，此方面之理論研究應可說是人工魚礁佈置設計問題之核心。

因此本研究擬就邊際複雜度之觀點設計人工魚礁之佈置(Deployment)，因為根據生態學家研究天然礁與魚類族群的關係後指出，複雜度(Complexity)對魚礁之設計著實是一重要的考量。因為基本上，對天然礁而言，其複雜度越高，魚類種數與族群數量越高(Bohnsack and Sutherland, 1985; Abelson and Shlesinger, 2002)；此外，棲地中的複雜度、食物、掠食者數目亦與幼魚的存活率有關(Carr and Hixon, 1995)；Ogawa(1982)亦曾指出，棲地構造之複雜度越高，則魚群的密度越高。這些研究再再都顯示出當棲息地之複雜度越高，生物種類之差異性及生物量越高。因此，魚礁礁群(生態系統)之佈置規劃應朝棲地複雜度著手。

至於上述所討論之棲地複雜度(Habitat Complexity)，根據 Baien (2001)的說法為：係指人工魚礁模組(Module)本身或人工魚礁礁群(Artificial reef communities)間之交互作用(Interactions)所致⁶。雖然諸多學者(Shulman, 1984; Helvey and Smith, 1985; Gorham and Alevizon, 1989; Hixon and Beets, 1989; Bohnsack, 1990; Charbonnel *et al.*, 2002; Sherman *et al.*, 2002)皆提出複雜度為一影響生物群聚之重要因素，唯近年來針對複雜度進一步之研究主要仍著眼於魚礁單體模組之設計上(亦即僅考慮礁體模組複雜度)；即

⁵ Milon *et al.* (2000) 曾說，人工魚礁之設計應考量成本與效益間之關係，也就是在設計上應進行 Cost-benefit 分析。他們進一步舉例說明：「若以礁體體積為定量棲地之最適指標，則以最小成本之設計為較佳」。

⁶ 換言之，棲地複雜度包含礁體模組複雜度(Module Complexity)及空間複雜度(Spatial Complexity)等兩類。其中礁體模組複雜度則包括礁體表面孔隙大小、結構空間型態以及礁體內部之空間配置等參數之討論(詳 Abelson & Shlesinger, 2002)；至於礁群間之交互作用指的則是因其在空間之排列位置的不同所造成對生態過程之影響，此亦即棲地系統之空間複雜度的概念。然而 Bohnsack (1991)指出，由於這些因素都會分別對生物群聚有所影響，因此很難直接將其影響層面加以量化比較。

便有針對空間複雜度對生物群聚之探討，卻仍僅限於定性間之討論(如 Abelson and Shlesinger, 2002)，而未有最佳化棲地景觀格局等概念之研究。因此本研究的目的首要為利用空間複雜度的觀念，配合 Bohnsack & Sutherland (1985)所提之礁群間距之建議，在成本預算與環境參數之考量下，建構一空間顯式數學模型，以最佳化之方式探討人工魚礁礁群之佈置。具體來說，若景觀格局之複雜度以碎形維度值(進一步之討論參見 2.4 節)衡量，則依據 Li(2000)之模擬結果(如圖 1.1 所示)，複雜度最高之景觀格局應是礁群「均勻佈滿」整個系統 (即圖示之 Regular Pattern)，而在相同資源(即礁群個數固定)之情況下，複雜度較低之佈置景觀格局呈現聚集叢聚式(Aggregated Clumped)景觀(即圖 1.1(d)所示)；然而若在資源有限之情況下(即現有預算成本考量下無法購得佈滿整個系統之礁體數量)，最佳(最高空間複雜度)之佈置景觀格局應該如何呢？

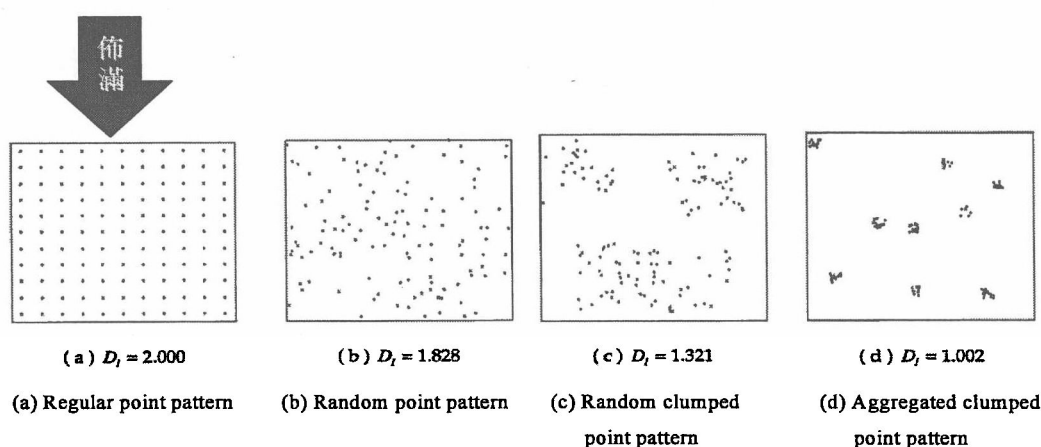


圖 1.1 不同複雜度之空間景觀格局比較圖。本圖之景觀格局複雜度以碎形維度值(如圖示之 D_f)衡量，碎形維度值越高者表示複雜度越高

資料來源：修改自 Li (2000)

此外本研究並針對所提出之佈礁模型發展出一啟發式之演算法以利計算求解；並在不同物種保育的政策考量下，配合學者 Buechner (1987) 及 Stamps *et al.* (1987)所提出之族群動態遷徙模式(Dispersal Dynamic

Model)以建構出在不同物種保育區內之建議佈置，以提供工程設計人員於設計人工魚礁群佈置時之參考依據。

1.3 研究架構

本研究首先回顧工程上人工魚礁佈置設計所考慮之原則，配合生態學家之觀察，以成本效益為考量建構一最大化棲地空間複雜度之人工魚礁群佈置模式，並提出其求解演算法(詳第三章)。在第四章中，則以一完整數值算例具體描述佈礁問題之求解過程；此外並針對實務佈礁工程之環境參數進行敏感性分析，以提出設計階段所應考慮及遵行之方針。接著在第五章中配合學者 Buechner (1987)及 Stamps *et al.* (1987)所提之族群動態遷徙模式，提出一特定保育策略下之建議佈礁決策；此外本研究亦討論在 Several Small (SS)策略下之多島格局礁群佈置。在研究之末章，則探討另一量化棲地景觀格局之指標(空隙度)，以進階分類區隔本研究所提出之定率式碎形棲地。最後總結本研究之貢獻及說明未來之研究方向則列於第七章。簡言之，本研究主要之章節架構可羅列如下。

- (1)研究動機與問題背景；
- (2)相關文獻回顧(包含國內外人工魚礁現況概述、人工魚礁規劃設置考慮因素、人工魚礁佈置設計之原則及有關複雜度及碎形維度等議題)；
- (3)佈礁模型之建立與求解(包含有模型建構、逐步演算法、多階段優勢確保演算法及盒計法)；
- (4)人工棲地之模擬與敏感性分析；
- (5)佈礁模型於生態學上之應用(包括人工棲地決策輔助系統之建立、考慮族群動態遷徙模式下之保護區棲地設計及 SS 策略下之棲地設計)；
- (6)進階棲地結構定量：空隙度指標之引入；

(7) 結論與建議。

至於整體研究架構流程圖請參閱圖 1.2。

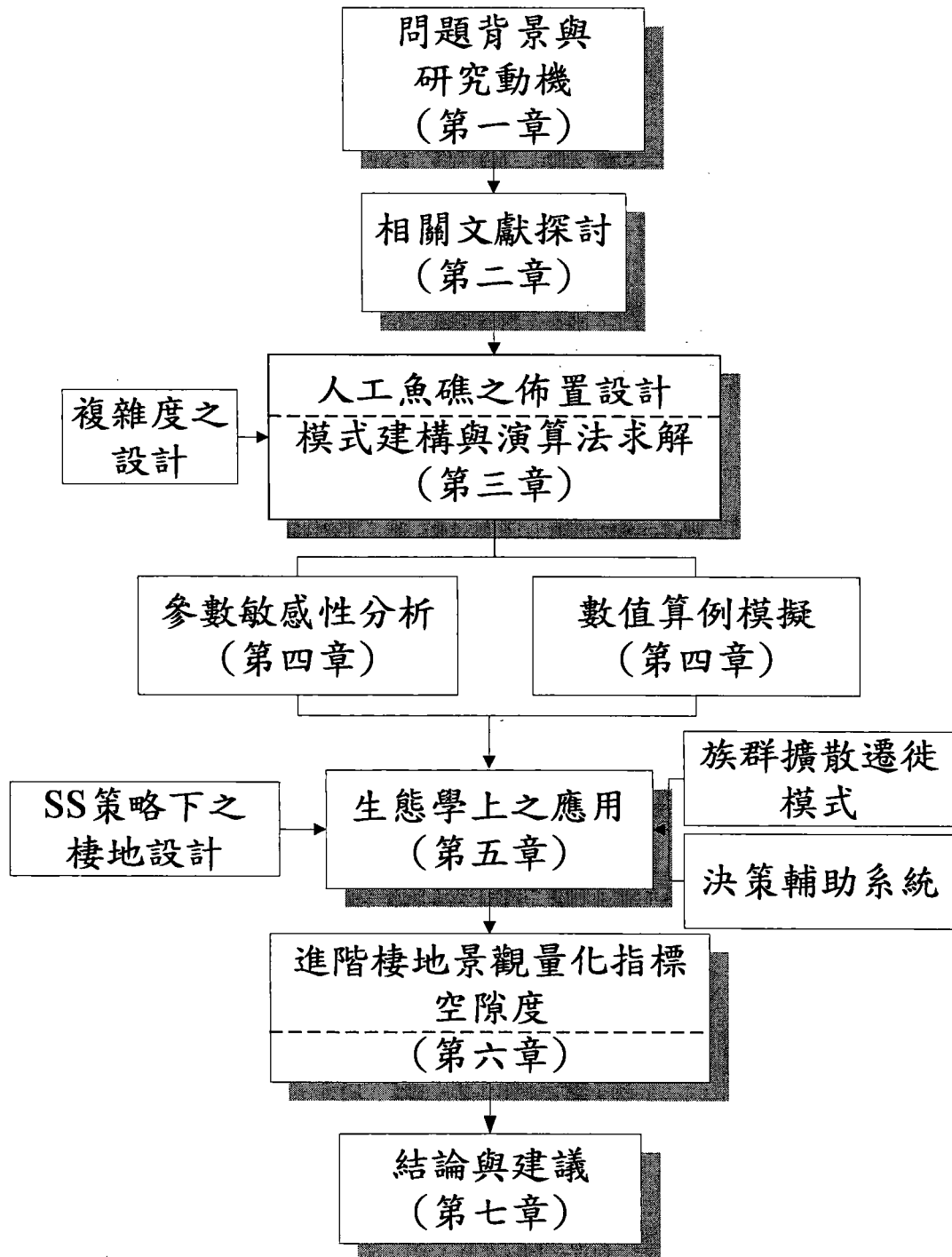


圖 1.2 本研究架構流程圖

第二章 相關文獻探討

本章首先整理國內外之人工魚礁設置現況，並對人工魚礁之規劃及設置所需考慮因素與其佈置設計之原則作介紹，最後針對本研究用以進行人工魚礁之佈置設計之複雜度及碎形維度概念進行相關文獻之探討。

2.1 國內外人工魚礁現況概述

人工魚礁的歷史源遠流長，在晉朝的古籍「爾雅」一書中就有漁民投樹枝、石塊於海中誘集魚類，然後聚而捕之的記載，這是人工魚礁的原始形式。近代人工魚礁建設逐漸發展成一種產業，一般傾向認為始於日本。二次大戰前的規模較小，後來由於遠洋漁業發展急速，沿海漁業因而停滯不前，日本政府乃開始大力推行人工魚礁計畫，包括投石、爆破岩礁、投放水泥礁及廢船等。從 1952 年起，正式實施五年計畫，擬定政策，大量構築水泥礁體，在 1952~1961 年間共投資十四億八千多萬日圓。1962~1970 年間投資八十九億五千多萬日圓(邵廣昭，民 68)。到 1976 年，由於世界各國將經濟水域擴張為二百海浬，日本更急於對其沿海漁場擬定長期開發整備計畫，從 1976 年起的七年中投資二千億日圓，從事魚礁漁場、增殖場、養殖漁場的設置以及漁場環境的維護措施。其中每年均投資數十億於水泥魚礁之構築和投放方面。此外，日本並於 1975 年頒佈了「沿岸漁場整修開發法」，使人工魚礁的建設以法律的形式確定下來，保障了產業的持久發展。

現今在世界各地諸多沿海國家都有投放人工魚礁，在亞洲有中國、臺灣、日本、韓國、馬來西亞、新加坡、印尼、菲律賓、泰國、印度；