

雲嘉地層下陷區水土資源合理規劃

Land and Water Resources Planning in Land Subsidence Areas of Yulin and Chiayi

國立台灣大學農業工程學研究所助理教授

童 慶 斌

Ching-Pin Tung

摘 要

台灣沿海地區地表水源供應不足，故居民多仰賴開發成本較低，水質水量較穩定之地下水。近年來因為地下水之超抽導致嚴重之地層下陷。土地重新規劃利用，確可治本改善地層下陷之問題，惟不當規劃，仍可能繼續超抽地下水，而造成地層持續下陷。本研究即是考量不同土地使用方式之用水需求，在水資源限制下，尋求最適之土地規劃方案。本研究應用於雲林及嘉義沿海地區，結果發現若農業面積減少50%，養殖面積減少60%，工業面積不成長，則雲林與嘉義地區需水量將分別減少104%與113%。若考慮工業區規劃，雖然需水將提高許多，但若再配合循環用水，可使雲林與嘉義地區需求分別減少84%與103%。因此減少農業與養殖面積並配合循環用水是必須推行方向。此外在水資源限制及經濟效益考量下，住宅及商業之土地使用效益最高，其次為休閒使用。然住宅與商業不可能佔太大比例，因此在水資源供應不是非常充足下，休閒區為其次之選擇。此結果說明白水湖休閒遊憩區之規劃是一正確方向；要推動工業區，則充足水資源開發是不可避免之措施。

關鍵詞：地層下陷，水土資源，優化，系統分析。

ABSTRACT

Water supply for coastal areas of Taiwan is deficit. Thus, residents depend on groundwater which has better quality and stable quantity. Recently, aquaculture quickly develops in these areas, which results in over-pumping groundwater and thus cause land subsidence. New land use planning could solve the problem, but improper planning may continue over-pumping groundwater and subsiding. The purpose of this study is using optimization method to seek for proper land uses under water resource constraints. The method is applied to Yulin and Chiayi. The results indicate that water requirements are reduced 104% and 113% for Yulin and Chiayi, respectively, if agricultural and aquicultural land uses are reduced 50% and 60% respectively and industrial areas remain as current. If future industrial development comes with water recycle, the reduction of 94% and 53% can be ex-

pected for the two areas. Commercial and residential land uses are preferred due to water supply and economic considering. However, these two land uses can not expand too much, because of limited demand. Thus then, the results suggest recreation land use as the next choice, which implies that the project of the White-Water-Lake recreation area is in the right direction. Although industrial land use produces high revenue, its development is limited by water supply.

Keywords : Land subsidence, Land and water Resources, Optimization, System analysis.

一、前言

台灣地區地層下陷主要導致於地下水之超抽，台北盆地在民國 46 年至 69 年間工商業大量抽取地下水，致使水位下降，首先產生地層下陷。後因翡翠水庫完成，提供足夠之地表水源而解決台北地區之地層下陷問題。台灣沿海地區地表水源供應不足，故居民多仰賴開發成本較低，水質水量較穩定之地下水。近年來亦因為地下水之超抽導致嚴重之地層下陷。

許多國內外研究者已針對抽水導致地層下陷之機制進行研究(林永德與陳守強, 1987; 蘇苗彬, 1991; 賈儀平, 1993; 單信瑜與曾嘉文, 1997; Gottavdi et al., 1995; Heywood, 1995)。而在防治上亦有相關報告, 如行政院農委會在民國 83 年 1 月提出「防止地層下陷實施計劃」, 後又於民國 84 年 11 月與經濟部水利司會銜提出「地層下陷防治執行方案」, 方案中包括四大對策, 期望在整體考量之原則下, 提供沿海地層下陷區最佳之改善及發展。方案主要手段之一即是土地利用重新規劃, 土地重新規劃利用, 確可治本改善地層下陷區之問題, 惟不當之規劃, 仍可能繼續超抽地下水, 而造成地層持續下陷。因此如何在考量水資源限制下, 做最適之土地利用規劃, 並且避免地下水不當之超抽, 乃是刻不容緩之工作。該方案為一原則性報告, 並未對水土資源如何規劃加以進一步說明, 而相關研究亦不多見。

本研究目的即是在考量不同土地使用方式之用水需求及避免地下水不當之超抽下, 尋求最佳之土地規劃方案。研究成果可提供政府決策單位, 做為規劃合理使用水土資源之依據, 並以治本解決地層

下陷問題。本研究工作內容主要將分析現有土地利用方式及其水資源需求調查, 並利用優化 (optimization) 方法評估在地表水及地下水供應限制下之最適土地利用規劃方案及其水資源需求分析。

二、研究區域說明

本研究區域包含雲林及嘉義沿海鄉鎮。本節將根據雲林縣統計要覽及嘉義縣綜合發展計畫, 彙整說明雲林及嘉義沿海鄉鎮土地利用現況。

2.1 雲林沿海地區

雲林縣位於台灣省中南部, 東西寬 50 公里, 南北長 38 公里, 土地總面積為 1,290 平方公里, 佔台灣省總面積之 3.59%, 佔中部地區總面積之 12.29%, 全縣共分 1 市 5 鎮 14 鄉。雲林縣地形十分平坦, 除斗六市, 古坑鄉及林內鄉等三個鄉鎮市靠近山地外, 其餘十七個鄉鎮均位處平地, 加上氣溫、雨量... 等氣候條件也非常適合濃漁業生產, 故自古以來, 整個經濟產業活動便一直以農、林、漁、牧及狩獵為主。

雲林縣沿海地區土地貧瘠及缺乏地表水資源供給, 農業生產不佳, 且近年來, 由於養殖漁業之蓬勃發展, 以及其他報酬率高的產業之移入, 導致西南沿海地區因為地下水之超抽而導致嚴重之地層下陷。雲林縣麥寮鄉、台西鄉、四湖鄉、口湖鄉四個鄉鎮形成一狹長之海岸線, 主要由濱海沖積平原、海埔新生地及外海沙洲地所組成, 為雲林縣主要之養殖地區, 且為嚴重之地層下陷區域, 為本研究兩個主要研究區域之一。

根據雲林縣統計要覽, 彙整沿海鄉鎮土地利用整理如下列之表 1。沿海地區(麥寮、台西、口湖、四湖): 農業及養殖使用面積約佔 72%。

表 1. 雲林研究區域土地使用分類統計 (雲林縣統計要覽, 80 年)

面積單位: 公頃

鄉 鎮	麥寮		台西		四湖		口湖		總計	
	面積	%	面積	%	面積	%	面積	%	面積	%
農 業	3466.7	43.3	2740.9	44.9	5767.1	74.8	2936.8	36.5	14911.5	49.9
養 殖	2504.6	31.3	1348.0	22.1	608.1	7.9	2065.7	25.67	6526.4	21.8
工 業	30.0	0.4	11.7	0.2	9.8	0.1	0.0	0	51.5	0.2
商 業	5.2	0.1	4.65	0.1	3.2	0.0	1.6	0.02	14.6	0.2
休 憩	0.0	0.0	111.9	1.8	5.2	0.1	6.0	0.07	123.1	0.4
保 育	463.5	5.8	21.3	0.4	93.5	1.2	0.0	0	578.3	1.9
住 宅	44.9	0.6	52.9	0.9	44.2	0.6	22.8	0.29	164.8	0.6
其 他	1488.1	18.6	1818.9	29.8	1180.8	15.3	3013.3	37.45	7501.1	25.1
總 計	8003.0	100.0	6110.3	100.0	7711.9	100.0	8046.1	100.0	29871.3	100.0

2.2 嘉義沿海地區

嘉義縣全縣面積約 1,901 平方公里, 佔全省面積之 5.35%, 佔南部地區 19.02%。全縣共分二市二鎮十四鄉, 全縣土地分類受自然環境、地理位置與交通路線影響。縣內西側為海岸平原為全縣之金華區, 面積約佔全縣 40%, 其都市或聚落受自然環境及氣候影響多分佈在發源於東部山地河流的沿岸地帶: 如嘉義、朴子、六腳、水上、布袋、義竹。

嘉義地區位於本省西南部, 屬於水資源匱乏區, 近年來農業、工業、養殖業用水與公共給水的需求量與日遽增, 由於地面水供應不足, 乃競相鑿取地下水補充。由於大多數養殖用水集中於沿海地區, 以導致地下水水位不斷下降, 瞬時最低地下水水位曾到達海平面以下 26.05 公尺, 進而發生嚴重地層下陷(嘉義

農專, 1995)。其中又以布袋、東石、義竹地區之地層下陷情形最為嚴重。布袋鄉、東石鄉、義竹鄉三個鄉位於嘉義縣西側, 為嘉義地區主要養殖地區且為嚴重地層下陷區域, 因此選為本研究之另一研究區域。

根據嘉義縣綜合發展計畫(1996), 彙整沿海鄉鎮土地利用整理如表 2。嘉義沿海地區(東石、義竹、布袋): 農業及養殖使用面積約佔 70%。

三、優化模式建立

本研究以系統分析的方法, 評估在以地下水安全抽用量及地表水可供水量為限制條件下之最佳土地使用方案, 水土資源之關係如圖 1 所示。為反應當地及社會之經濟考量, 因此本研究將以最大收益為目標函

表 2. 嘉義研究區域土地使用分類統計

面積單位: 公頃

鄉 鎮 別	布袋鎮		義竹鄉		東石鄉		總計	
	面積	(%)	面積	(%)	面積	(%)	面積	(%)
農 業	1891.5	31.6	4601.6	58.0	3517.0	46.8	10010.1	45.4
養 殖	2251.2	37.7	1743.9	22.0	1520.2	18.6	5515.3	25.0
工 業	0	0.0	15.6	0.2	28.9	0.4	44.5	0.2
商 業	17.1	0.3	5.4	0.1	0.0	0.0	22.5	0.1
休 閒	0.9	0.0	2.2	0.0	3.6	0.0	6.7	0.0
保 育	3.4	0.1	0.0	0.0	12.1	0.2	15.5	0.1
住 宅	102.4	1.7	44.7	0.6	0.0	0.0	147.1	0.7
其 他	1710.5	28.6	1515.6	19.1	3076.0	37.7	6302.3	28.6
總 計	5977.0	100.0	7929.0	100.0	8158.0	100.0	22064.0	100.0

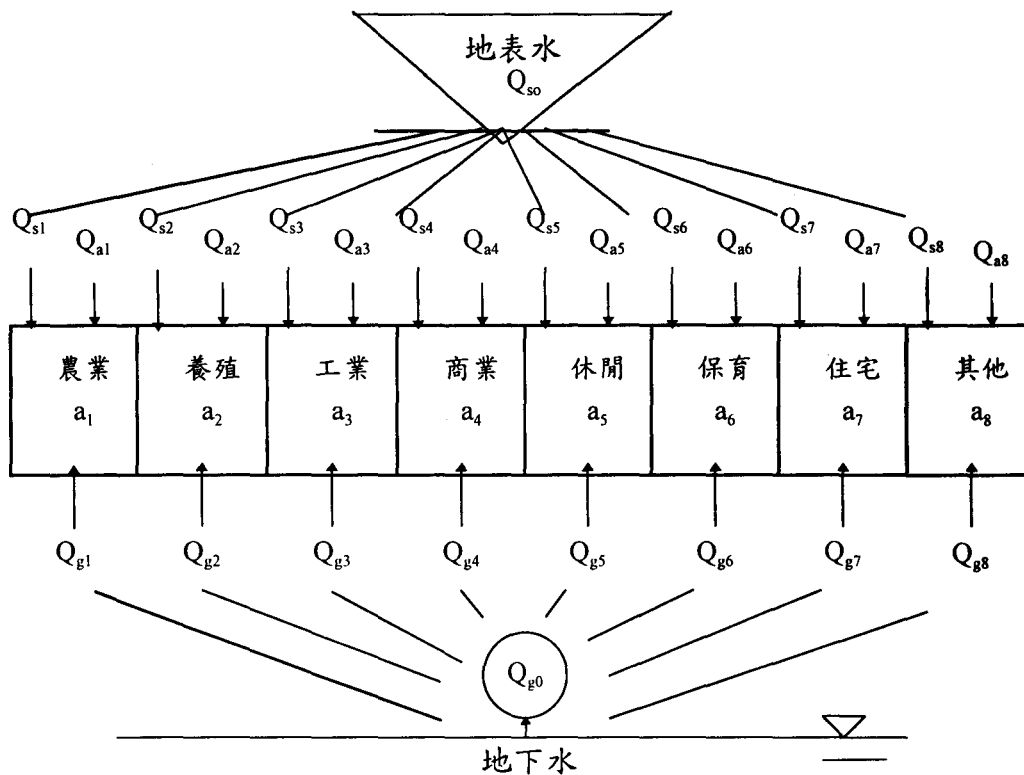


圖 1. 系統關係圖

數。土地利用收益包含兩部分，分別為土地本身價值及土地使用產業之產值。而成本主要為考慮地表水、替代水源及地下水使用成本。

建立一系統分析之數理模式，包含變數、目標函數、限制式之建立。說明如下：

(1) 變數

a. 土地使用方式

X_i ：土地使用方式 i 之面積(公頃)， $i=1, 2, \dots, 8$

分別代表農業、養殖、工業、商業、休閒、保育、住宅及其他。

X_{ij} ：由農業使用改成土地使用方式 j 之面積(公頃)， $j=3, 4, \dots, 7$ 。

X_{2j} ：由養殖使用改成土地使用方式 j 之面積(公頃)， $j=3, 4, \dots, 7$ 。

X_{8j} ：由其他類改成土地使用方式 j 之面積(公頃)， $j=3, 4, \dots, 7$ 。

b. 供水來源

Q_{si} ：土地使用方式 i 之地表水供給量($10^4 m^3/$

年)， $i=1, 2, \dots, 8$ 。

Q_{gi} ：土地使用方式 i 之地下水抽取量($10^4 m^3/$ 年)， $i=1, 2, \dots, 8$ 。

Q_{ai} ：土地使用方式 i 之替代水可供給量($10^4 m^3/$ 年)， $i=1, 2, \dots, 8$ 。

(2) 目標函數：最大收益

$$Max Z = \sum_{i=1}^n r_i X_i - \sum_{i=1}^n c_s Q_{si} - \sum_{i=1}^n c_g Q_{gi} - \sum_{i=1}^n c_a Q_{ai}$$

r_i = 地價+產值，(10^4 元/公頃)。

c_s = 地表水使用成本，(10^4 元/ m^3)。

c_g = 地下水使用成本，(10^4 元/ m^3)。

c_a = 替代水源使用成本，(10^4 元/ m^3)。

(3) 限制條件

a. 供水需求：滿足土地使用方式 i 之用水需求

$$Q_{gi} + Q_{si} + Q_{ai} \geq a_i X_i \quad i=1, 2, \dots, 8$$

其中 a_i 為土地使用方式 i 之單位用水量($10^4 m^3/$ 年/公頃)。

- b. 地表水供給限制：每年地表水總用水量必須不大於可提供量。

$$\sum_{i=1}^8 Q_{si} \leq q_{so}$$

其中 q_{so} 為地表水供應量 ($10^4\text{m}^3/\text{年}$)。

- c. 地下水總抽取量限制：每年之地下水總用水量必須不大於年安全出水量。

$$\sum_{i=1}^8 Q_{gi} \leq q_{go}$$

其中 q_{go} 為地下水供應量 ($10^4\text{m}^3/\text{年}$)。

- d. 土地可利用面積限制：所有土地使用面積之和等於總面積。

$$\sum_{j=1}^8 X_j = x_0$$

其中 x_0 為總規劃面積 (公頃)。

- e. 土地分區使用之面積及上下限制

$$X_i = x_{0i} - \sum_{j=3}^7 X_{1j} \quad i = 1, 2, 8$$

$$X_i = x_{0i} + X_{1i} + X_{2i} + X_{8i} \quad i = 3, \dots, 7$$

$$lx_i \leq X_i \leq ux_i \quad i = 1, 2, \dots, 7$$

其中 x_{0i} 為土地利用方式 i 之原規劃面積 (公頃)。

- f. 土地可改變量限制：由農業或養殖用地改變為其他用地之和，不應大於原農業或養殖用地面積。

$$\sum_{j=3}^7 X_{1j} \leq x_{0i} \quad i = 1, 2, 8$$

當令所有變數大於或等於零時，此限制式已隱含於 (e) 類限制式中，因此模式不再加入。

- g. 替代水源：替代水源等於需水量乘以循環用水效率

$$e_i a_i X_i - Q_{ai} = 0 \quad i = 2, 3$$

其中 e_i 為循環用水效率，在此僅考慮工業與養殖採用循環用水。

上述模式屬於線性模式，可由簡形法 (Simplex Method) 求解。可利用相關軟體包括 LINDO, MATHLAB,

Excel Solver 等。本研究採用 Excel Solver，主要著眼於容易使用及 Excel 本身之資料處理能力。根據前面分析數理規劃模式可整理如表 3，模式中之已知值以小寫符號表示。

表 3. 數理規劃模式

$Max Z = \sum_{i=1}^n r_i X_i - \sum_{i=1}^n c_s Q_{si} - \sum_{i=1}^n c_g Q_{gi} - \sum_{i=1}^n c_a Q_{ai}$	
Subject to	
$a_i X_i - Q_{gi} - Q_{si} - Q_{ai} \leq 0 \quad \forall i = 1, 2, \dots, 8$	(a)
$\sum_{i=1}^8 Q_{si} \leq q_{so}$	(b)
$\sum_{i=1}^8 Q_{gi} \leq q_{go}$	(c)
$\sum_{i=1}^8 X_i = x_0$	(d)
$X_i + \sum_{j=3}^7 X_{1j} = x_{0i} \quad i = 1, 2, 8$	(e1)
$X_i - X_{1i} - X_{2i} - X_{8i} = x_{0i} \quad i = 3, \dots, 7$	(e2)
$lx_i \leq X_i \leq ux_i \quad i = 1, 2, \dots, 8$	(e3)
$e_i a_i X_i - Q_{ai} = 0 \quad i = 2, 3$	(g)
All Variables ≥ 0	

四、參數評估

本研究根據問題特性寫成線性規劃模式，如表 3 所列。相關參數推求將在本節中加以說明。土地資源限制為總規劃面積，而可轉用面積即農業、養殖及其他原土地面積。需要討論之參數為經濟參數 (用水成本、土地地價、產業產值)、單位用水量、水資源限制 (地表水、地下水供應量)、及土地利用上下限。

4.1 目標函數係數

4.1-1 水價

地表水價依據台灣省自來水價，11-30 度間之計價標準即 9 元/度 (立方公尺)。目前地下水並未訂定收

費標準，惟水價之徵收乃為不可避免之措施，另沿海地區地下水單價理應較地表水高，在此假設為地表水價之兩倍。替代水源或循環用水應為獎勵用水方式，其水價應較地表水為低，因此假設其單位水價為地表水之一半。

4.1-2 地價

而地價估算乃參考林國慶編撰之「台灣地區土地價格之分析」(1995)，分析土地價值如表 4，其中休閒之地價假設為非都市建築用地，而保育一般價值較低，但在沿海地區保育可發揮節省社會成本之功效，因此其地價假設與非都市水田相同，如此可使規劃之保育面積提高。

表 4. 台灣地區土地價格

土地類別	每公頃平均價格 (萬)	土地類別	每公頃平均價格 (萬)
都市計畫區		非都市用地	
商業區	40966	建築用地	7873
住宅區	19143	一般水田	1414
工業區	9706		
農業區	2425		

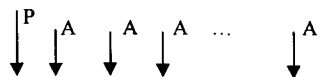
表 5. 模式相關經濟參數

	雲林地區			嘉義地區		
	面積總值 (萬/公頃)	地價 (元/坪)	產值 (萬/公頃)	面積總值 (萬/公頃)	地價 (元/坪)	產值 (萬/公頃)
農業	2798.5	8000	27.5	2874.2	8000	33.0
養殖	4484.7	8000	150.0	4113.1	8000	123.0
工業	33786.3	32000	1751.3	27945.9	32000	1327.0
商業	53721.4	135000	936.0	50087.5	135000	672.0
休閒	9860.9	26000	145.0	9860.9	26000	145.0
住宅	19057.5	63000	0.0	19057.5	63000	0.0
保育	1512.5	5000	0.0	1512.5	5000	0.0
其他	7542.8			7483.6		

產值約 1327.3 萬/公頃，而商業假設有 20%利潤下單位面積收益約為 672.5 萬/公頃。休憩單位面積收益依照嘉義白水湖休憩區規劃報告(嘉義縣政府，1996)，開發之建造成本由初期出售開發之住宅區、商業區及

4.1-3 產值

根據台灣農業年報(1995)與雲林縣統計要覽(1995)可推求相關土地使用收益。雲林縣農業產值約 23,893,202 千元，而顯示耕地面積約 86,814 公頃，因此農業單位面積所得約 27.5 萬/公頃。另依統計要覽計算養殖單位面積收益為約 25 萬/公頃，但與現況並不符合，根據訪談及參考嘉義資料設為 150 萬/公頃。工業單位面積產值約 175.1 萬/公頃，而商業假設有 20%利潤下單位面積收益約為 936 萬/公頃。休憩單位面積收益比照嘉義白水湖休憩區財務分析設為 145 萬/公頃，詳細說明請參照嘉義部分說明。上述分析為年收益，假設年收益持續 30 年，則以下式折回現值。

$$\frac{P}{A} = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$$


其中 A 為每年收益值(萬/公頃)，P 為 n 年總收益折算為現值。規劃模式中土地變數之目標函數係數，為土地地價加上 30 年收益之現值，結果如表 5。

根據嘉義縣綜合發展計畫(1996)推求相關土地使用收益。嘉縣農業單位面積所得約 33.6 萬/公頃。另計算養殖單位面積收益為約 123.4 萬/公頃。工業單位面積

遊艇區平衡之，因此不予考慮，規劃報告預估收益約 15 億/年，扣除出售土地，單位面積收益約為 145 萬/公頃。上述分析為年收益，同樣假設年收益維持 30 年並折回現值，結果如表 5。

4.2 單位用水量

4.2-1 雲林地區

依照台灣地區八十三年農業用水量，中部地區耕地總面積 318,001 公頃，灌溉總面積 182,672 公頃，灌溉農業用水總量 3,802 百萬立方公尺（經濟部水資會，1994）。以灌溉面積作計算，計算單位用水量為每公頃 20,813 立方公尺。

根據經濟部水資會台灣地區農業用水統計報告（1994），養殖總用水量為 3097 百萬立方公尺，總面積為 52289 公頃，假設雲林縣養殖單位用水量與台灣地區單位用水量相同，則可得年單位用水量 59229（立方公尺/公頃）。

台灣地區民國八十三年工業面積與用水量（經濟部水資會，1994），由其內容可大略了解台灣地區北中南東各地的工業面積及其用水量。根據經濟部水資會的資料，雲林縣民國八十三年工業總用水量為 51.90 百萬立方公尺，各類別工業總面積為 525.28 公頃，可以得知年單位面積用水量約為 98804（立方公尺/公頃）。

依據經濟部水資會民國八十三年台灣地區生活總用水量報告（1994），可以得知各鄉鎮之人口總數以及每人每日用水量，由此便可求得各鄉鎮每年總用水量，再由其總用水量以及各鄉鎮的面積便可求得其單位面積用水量。由每人每日用水量（立方公尺）乘上行政區人口即為各行政區的每日用水量（立方公尺），而每日用水量再乘上一年三百六十五天即為各行政區每年總用水量（立方公尺）。然本研究所需之住宅分區年單位面積用水量可由每人每日用水量乘以一年三百六十五天，再乘以人口密度，即可求得為 16616（立方公尺/公頃）。

在本研究之商業用水推算過程中，假設各鄉鎮之商業地區人口密度為住宅區之一半，且每人每日用水量與住宅區相同，由假設配合商業區之總面積，可先推算出商業區之人口總數，再由人口及每人每日用水量即可求出各鄉鎮每年總用水量，而各鄉鎮每年總用水量除以其商業面積即為其單位面積用水量，為 8308（立方公尺/公頃）。

研究區域內因休閒區仍未大量開發，且又未設立特定區及綜合管理，對於其用水量及單位用水量皆無法正確求得，因此假設與商業之單位用水量相同。而

保育用水之考量上，保育用水主要以沿海防風林為主，但因所屬防風林面積狹小，假設其用水量為零。至於歸為其他類之單位用水量則考慮成除了工業及商業外，其他 5 類土地使用方式單位用水量之平均值。

4.2-2 嘉義地區

依照台灣地區八十一年農業用水量，南部地區耕地總面積 318,481 公頃，灌溉總面積 155,115 公頃，灌溉農業用水總量 2,911 百萬立方公尺（經濟部水資會，1992）。以灌溉面積作計算，計單位用水量為每公頃約 18,766 立方公尺。

單位用水量以 78 年農委會推估鹹水與淡水養殖每公頃用水量為依據，並參考八十一年度嘉義縣規劃不適合發展養殖之魚塭地區作其他用途報告書中，研究地區養殖面積之分佈情形。若以鹹水與淡水養殖面積作為權重推估單位用水量，每公頃養殖單位用水量為 52,277 立方公尺。

依照民國八十三年工業用水量統計資料，嘉義縣工業用地總面積為 787.63 公頃，總用水量為 59.74 百萬立方公尺，計單位用水量每公頃為 75847 立方公尺。

布袋都市計畫內，現居住密度為每公頃 170.82 人，住宅區使用面積為 102.45 公頃；義竹都市計畫區內，現今以每公頃 174.65 人，住宅區使用面積為 44.66 公頃（都市及區域發展計畫，1994）。每人每年的用水量約為 132 立方公尺，平均年增加率為 6.45%（台灣地區之水資源，1995）。以都市計畫住宅面積作為加權，推求住宅區居住密度，因此都市區住宅區居住密度平均為 156 人/公頃。東石鄉因為具有都市計畫區，因此其住宅區面積假設為零。而商業區用水量取住宅區居住密度之一半以求之。

休閒單位用水量假設與商業區單位用水量相同。而保育用水主要以沿海防風林為主，但因所屬防風林面積狹小，且未能獲得較接近之估算，原則上保育區用水將考慮為 0。歸為其他類之單位用水量則考慮成除了工業及商業外，其他 5 類土地使用方式單位用水量之平均值。

4.3 地表水及地下水供應

4.3-1 雲林地區

在地表水供應量方面，雲林縣有集集攔河堰、瑞峰水庫的供給，在民國 100 年供應量將可達到每日

135.78 萬噸/天(台灣地區水資源)，即 495.6 百萬噸。而地下水資源，根據評估(經濟部水資源局，1997)，沿海四鄉鎮在西元 2000 年應控制之安全出水量為 13.62 萬噸/天，假設民國 100 安全出水量亦控制在此水準，則每年地下水可提供 49.7 百萬噸。

4.3-2 嘉義地區

嘉義地區在民國 100 年供水量將增加至每日 87.29 萬噸(台灣地區之水資源，1994)，即 318.6 萬噸/年。根據其他研究評估(經濟部水資源局，1997)，沿海三鄉鎮在西元 2000 年應控制之安全出水量為 9.3 萬噸/天，假設民國 100 安全出水量亦控制在此水準，則每年地下水可提供 33.9 百萬噸/年。

4.4 變數上下限

工業區、住宅區及商業區因考慮未來的發展，其面積應較現有狀況增加，故以現有之使用狀況為面積之下限；而農業面積目前產值低，因此必定有轉變使用之壓力，但沿海地區農業面積佔很大比例，要將其完全轉變，在實際上似乎並不可能，因此本研究中除了考慮其下限為 0 外，另考慮其下限必須維持 50% 農業面積，以反映可能之改變。養殖面積之考量如農業，

可為 0 或 40% 養殖面積，設定維持 40% 是反應農委會計畫減少 60% 養殖面積之政策目標。

4.5 參數彙整

根據前面各節之討論，雲林及嘉義沿海地區規劃模式所需之參數分別整理於表 5 與表 6。

五、評估方案設計

評估方案除了以第二節分析之土地利用方式為控制組外，試驗設計上將分析分成 A 與 B 兩組，方案 A：不考慮工業及養殖循環用水，考量農業下限：0% 或 50% 原面積，養殖：0% 或 40% 原面積，工業：原面積或上位計畫，而組成八個方案；方案 B：考量農業下限為 50% 原面積，養殖下限為 40% 原面積，工業為上位計畫，另考慮不同之工業及養殖循環用水效率，以組成另八個方案。工業及養殖循環用水效率考慮可為 0%、20% 與 30%。工業之上位計畫是指已經規劃之工業區，如嘉義鰲鼓工業區。十六個方案說明如下：

表 6(a) 模式限制式相關係數－雲林地區

	單位用水量 (立方公尺)	目前面積 (公頃)	面積上限 (公頃)	面積下限 (公頃)
農 業	20813	14911.5	14911.5	0.0或7456
養 殖	59229	6526.4	6526.4	0.0或2611
工 業	98804	51.5	28990.5	51.5
商 業	8308	14.6	146.0	14.6
休 閒	8308	123.1	29062.1	123.1
住 宅	16616	164.8	441.3	164.8
保 育	0	578.3	29517.3	578.3
其 他	20993	7501.1	7501.1	0.0

表 6(b) 模式限制式相關係數－嘉義地區

	單位用水量 (立方公尺)	目前面積 (公頃)	面積上限 (公頃)	面積下限 (公頃)
農 業	18766	10010.1	10010.1	0.0或5005
養 殖	52277	5515.3	5515.3	0.0或2206
工 業	75848	62.2	21872.2	62.2
商 業	11868	22.5	225.0	22.5
休 閒	11868	6.7	21816.7	6.7
住 宅	23030	147.1	441.3	147.1
保 育	0	15.5	21825.5	15.5
其 他	21188	6284.6	6284.6	0.0

方案 A：不考慮工業及養殖循環用水

1. 農業： 0% 原面積； 養殖： 0% 原面積； 工業： 原面積
2. 農業： 50%原面積； 養殖： 0% 原面積； 工業： 原面積
3. 農業： 0% 原面積； 養殖： 40%原面積； 工業： 原面積
4. 農業： 0% 原面積； 養殖： 0% 原面積； 工業： 上位計畫
5. 農業： 50%原面積； 養殖： 40%原面積； 工業： 原面積
6. 農業： 50%原面積； 養殖： 0% 原面積； 工業： 上位計畫
7. 農業： 0% 原面積； 養殖： 40%原面積； 工業： 上位計畫
8. 農業： 50%原面積； 養殖： 40%原面積； 工業： 上位計畫

方案 B：農業：50%原面積；養殖：40%原面積；工業：上位計畫

1. 工業循環用水： 0% ； 養殖循環用水： 20%
2. 工業循環用水： 0% ； 養殖循環用水： 30%
3. 工業循環用水： 20%； 養殖循環用水： 0%
4. 工業循環用水： 20%； 養殖循環用水： 20%
5. 工業循環用水： 20%； 養殖循環用水： 30%
6. 工業循環用水： 30%； 養殖循環用水： 0%
7. 工業循環用水： 30%； 養殖循環用水： 20%
8. 工業循環用水： 30%； 養殖循環用水： 30%

表 7. 水資源需求分析

	雲林地區			嘉義地區		
	單位用水量 (立方公尺)	目前面積 (公頃)	用水量 (10 ⁶ 立方公尺)	單位用水量 (立方公尺)	目前面積 (公頃)	用水量 (10 ⁶ 立方公尺)
農 業	20813	14911.5	310.4 (35.9%)	18766	10010.1	187.8 (30.5%)
養 殖	59229	6526.4	386.6 (44.8%)	52277	5515.3	288.3 (46.8%)
工 業	98804	51.5	5.1 (0.6%)	75848	62.2	3.5 (0.6%)
商 業	8308	14.6	0.1 (0.0%)	11868	22.5	0.3 (0.0%)
休 閒	8308	123.1	1.0 (0.1%)	11868	6.7	0.1 (0.0%)
住 宅	16616	164.8	2.7 (0.3%)	23030	147.1	3.4 (0.5%)
保 育	0	578.3	0 (0.0%)	0	15.5	0.0 (0.0%)
其 他	20993	7501.1	157.5 (18.2%)	21188	6284.6	133.2 (21.6%)
總 計		29871	863.3 (100%)		22046	616.6 (100%)

六、水土資源規劃分析

6.1 現況分析

雲嘉地區之土地利用現況分析已於第二節討論，根據前面單位用水量之考量，則此兩個研究區域個別土地利用之用水需求及總需求量可計算求得，結果如表 7。雲林及嘉義沿海地區，農業及養殖分別約佔總用水量之 81%與 77%。

6.2 未來規劃分析

方案 A 之部分結果摘錄於表 8，表中標為「可行」

之列表示為使該方案可行所必須提供以民國 100 年雲林地區規劃供水量(水資源政策白皮書，1997)為基準之百分比。例如雲林地區方案 A-8，農業維持為 50% 原面積，養殖為 40%原面積，工業為上位計畫時(2500 公頃)，至少必須提供民國 100 年雲林地區規劃供水量之 110%才能滿足。此結果顯示如無其他配合措施或增加水源開發，該方案在水資源限制下將極難推動，若仍照此土地規劃方案推動，非法抽取地下水而持續造成地層下陷將不可避免。

本研究評估中，對每一方案均考量地表水供應量為 10%至 150%民國 100 年雲林地區規劃供水量，結果

顯示，初始水資源有限情況下，優先滿足住宅及商業使用，因此在可行之供水情況下，住宅及商業均規劃在其上限，多餘之水資源將用於滿足休閒用地，因此為休閒用途，休閒與保育用地呈消長現象。惟當水資源供應量增加到一定程度，則開始增加工業使用面積，

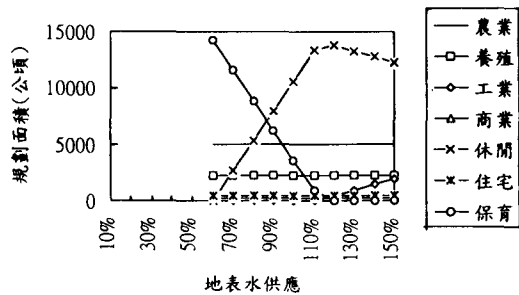


圖 2. 農業為 50%原面積，養殖為 40%原面積，工業為面積(方案 A-5)，不同土地利用方式隨水資源供應之面積變化—嘉義

隨著水資源供應增加，規劃為保育面積將逐漸改規劃此時保育規劃面積維持在下限，而隨水資源供應繼續增加，改由工業與休閒用地呈消長現象，如圖 2。表 8 中標為「改變」之列即記錄地表水供應基準，在此基準以上，土地利用隨水資源增加，由休閒與保育規劃面積之消長改為工業與休閒規劃面積之消長。

方案 A-8 為本研究假設未來該地區最可能之規劃方式，但根據前面說明，若無其他配合措施或增加水源開發，此方案將極難推動，或將不可避免地非法抽取地下水而持續造成地層下陷。因此以方案 A-8 為基礎，另設計方案 B，考量不同之工業及養殖循環用水效率，以評估地表水之需求。結果整理於表 9，雲林地區在工業及養殖循環用水效率均達 30%，則使方案可行之地表水供應基準可由 110%降至 80%，而嘉義地區在工業及養殖循環用水效率均至少分別達 20%與 20%，方可使方案可行之地表水供應基準可由 90%降至 70%。歸納結果說明，使方案可行之地表水供應基準約略與工業及養殖循環用水效率成正比。

表 8. 沿海地層下陷區水土資源方案 A 分析結果 (%)

方案 A		1	2	3	4	5	6	7	8
雲林	可行	10	30	30	50	60	80	80	110
	改變	50	60	70	90	90	110	120	140
嘉義	可行	10	30	30	20	70	50	60	90
	改變	80	90	110	100	120	110	130	140

表 9. 對應不同工業及養殖循環用水效率使方案 B 可行之水資源需求 - 雲林、嘉義

雲林				嘉義			
工業 \ 養殖	0%	20%	30%	工業 \ 養殖	0%	20%	30%
0%	110%	100%	90%	0%	90%	90%	80%
20%	100%	90%	90%	20%	80%	70%	70%
30%	100%	90%	80%	30%	80%	70%	70%

農委會規劃將養殖面積由五萬五千公頃減少至二萬二千公頃，約減少 60%，因此本計畫中考量未來政策配合下，養殖面積維持在目前之 40%。農業雖產值

低，惟將來完全將農地完全變更，孰為不可能，因此本計畫假設未來將減少 50%。由表 8 知欲維持養殖面積 40%及農業面積 50%(方案 A-5)，必須至少提供 60%

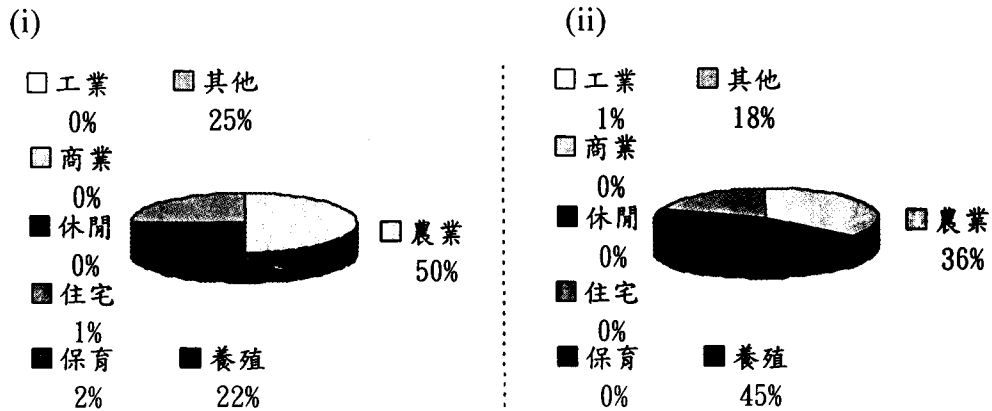


圖 3(a) 雲林沿海地區(i)土地使用及(ii)水資源需求現況統計圖

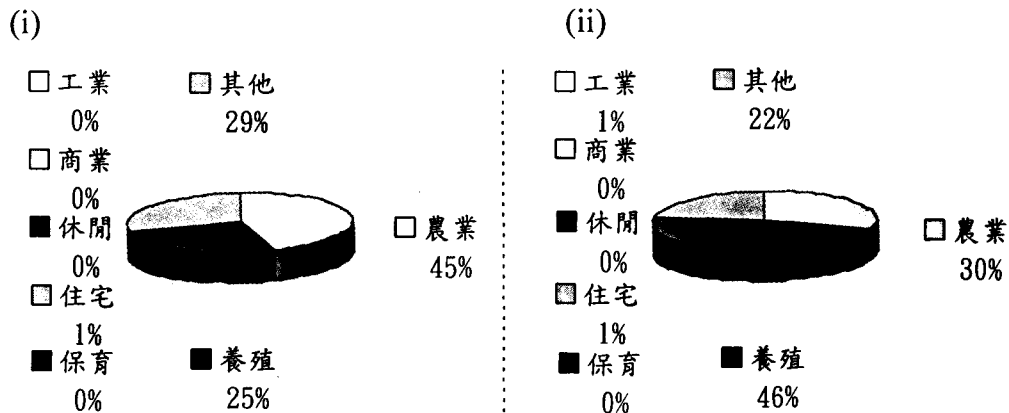


圖 3(b) 嘉義沿海地區(i)土地使用及(ii)水資源需求現況統計圖

基準之地表水。此外圖 4(a)顯示必須有 55%之保育面積，農業與養殖面積雖只佔 34%，但用水卻高達 90%。是否有需要維持養殖面積 40%及農業面積 50%，值得進一步檢討。

雲林地區除六輕工業區外，麥寮新市鎮亦是一主要上位計畫，此外雲林縣政府積極發展工業，因此本研究假設未來有 2500 公頃之工業土地需求，根據表 8 中方案 A-8 顯示，必須有 110%基準之地表水方為可行，且有 44%必須為保育面積，工業面積之增加將大量提高水資源需求，如圖 4(b)，8%工業面積卻使用 42%供水。圖 4(c)說明配合 30%之工業及養殖循環效率，供水基準可降至 80%，產業之節約用水或改變循環用水效率將是當務之急。雖然工業產值比其他產業高，但必須增加之水源開發成本亦是不可忽視，尤其台灣地

區新水源開發越來越困難，開發成本亦越來越高，繼續推動沿海工業區是否可行，值得商榷。

由表 8 與圖 5(a)至(c)，嘉義沿海之規劃特性與雲林相近，惟其工業面積較小，因此同方案嘉義比雲林需要較少之供水基準即可使方案可行。目前嘉義地層下陷區之重要推動方向為白水湖遊憩區，圖 5(a)顯示，在不考慮新工業發展計畫，70%之地表水供應水準，將可提供 2592 公頃(12%)之休閒使用，可滿足白水湖規劃之 1221 公頃。若考慮工業區規劃，則圖 5(b)顯示需要 90%之地表水供應水準方可提供大於白水湖規劃面積需求。配合循環用水將使地表水供應需求降低，使上述方案之推動更為可行。圖 5(c)顯示當工業及養殖用水循環率均為 20%，地表水供應水準可降至 70%。

鰲鼓工業區(約 1031 公頃)為政府於嘉義推動之土

地規劃方案，為滿足此工業區用水需求，即使配合循環用水，供水基準亦將大幅提升。此外，鰲鼓工業區附近有野鳥保護區，對生態衝擊又是另一不利條件，此方案推動宜謹慎評估。

表 10 為目前與未來可能土地利用方案之用水需求之比較，方案 A-5 為農業面積減少 50%，養殖減少 60%，工業面積不成長，則雲林地區需水量將減少 104%，而嘉義地區需水量將減少 113%。若考慮工業區規劃(方案 A-8)，雖然需水較方案 A-5 提高許多，但雲林與嘉義地區仍然較目前分別減少 54%與 93%。若再配合循環用水，可使雲林與嘉義地區需求分別減少 84%與 103%。因此減少農業與養殖面積並配合循環用水是必須推行方向。

表 10. 目前與未來可能土地利用方案之用水需求比較

地區 \ 方案	目前	A-5	A-8	B-8
雲林	164%	60%	110%	80%
嘉義	183%	70%	90%	80%

七、結論與建議

土地利用整體規劃是改善地層下陷之治本方案，惟不當之土地利用改變，仍然可能因為地表水資源供應不足，超抽地下水而持續造成地層下陷。本研究利用系統分析方法，以經濟考量為目標函數，並以地表

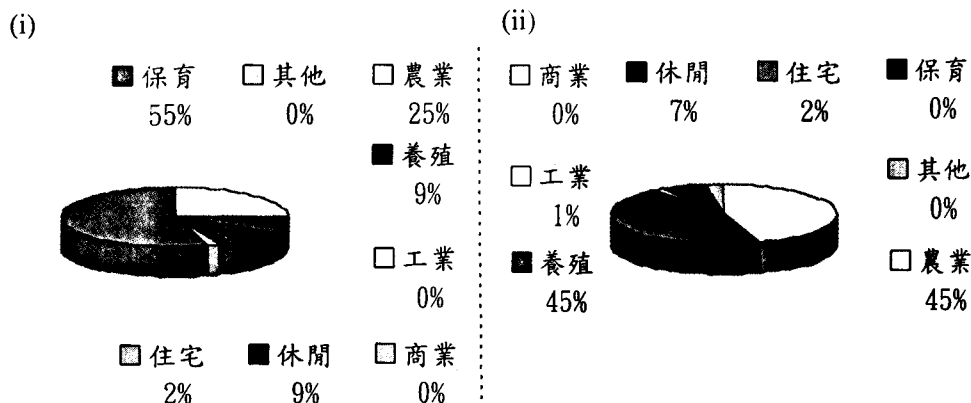


圖 4(a) A-5 方案在地表水供應 60% (可行)下(i)土地使用及(ii)水資源需求統計圖－雲林地區

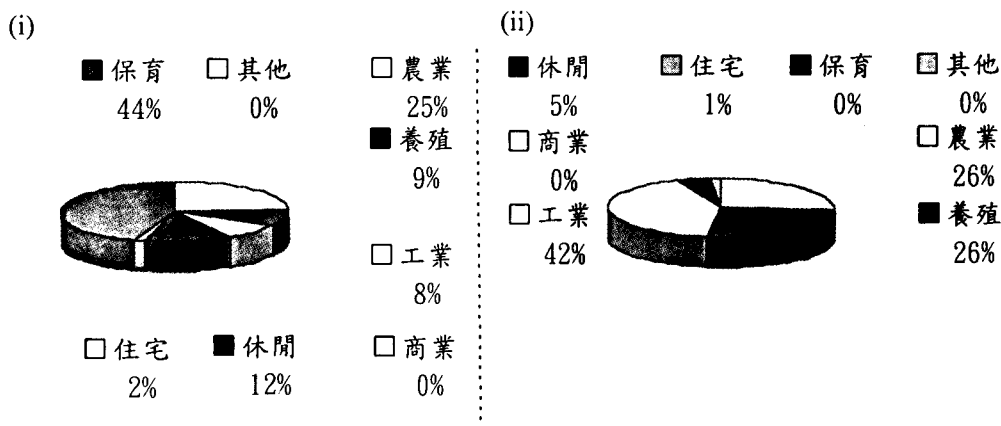


圖 4(b) A-8 方案在地表水供應 110% (可行)下(i)土地使用及(ii)水資源需求統計圖－雲林地區

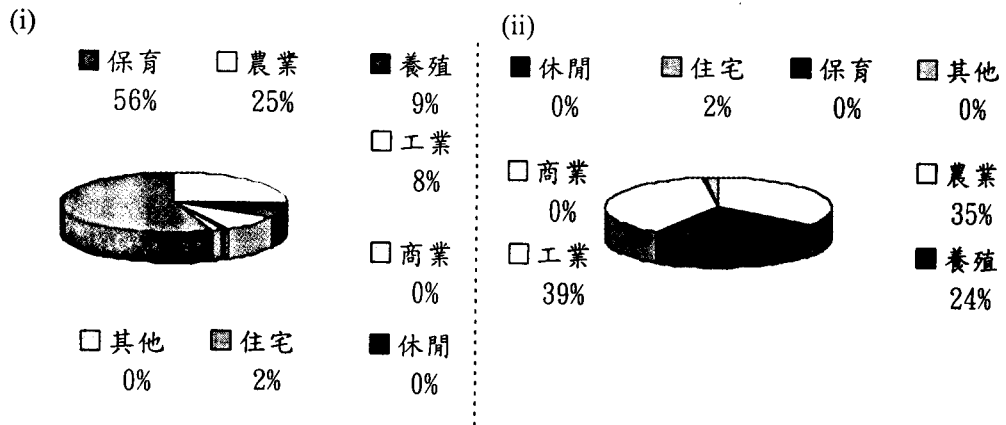


圖 4(c) B-8 方案在地表水供應 80% (可行)下(i)土地使用及(ii)水資源需求統計圖—雲林地區

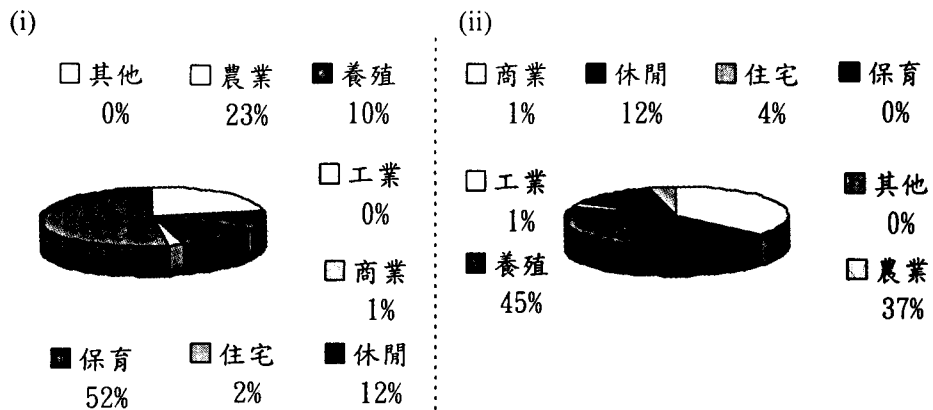


圖 5(a) A-5 方案在地表水供應 70% (休閒可行)下(i)土地使用及(ii)水資源需求統計圖—嘉義地區

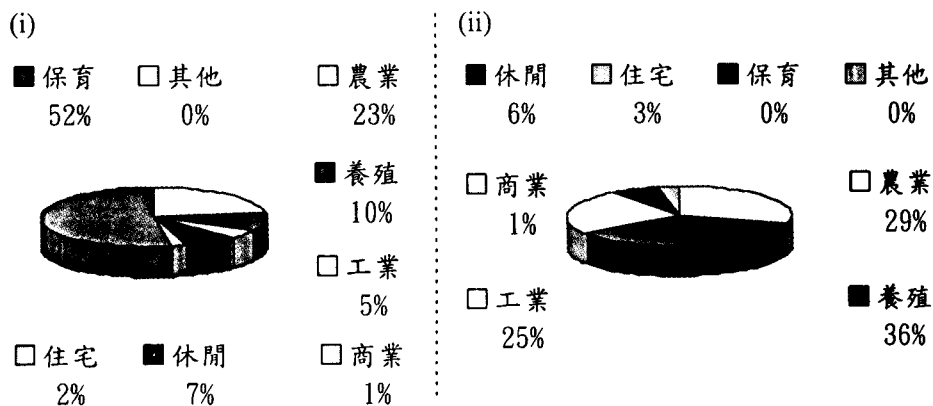


圖 5(b) A-8 方案在地表水供應 90% (休閒可行)下(i)土地使用及(ii)水資源需求統計圖—嘉義地區

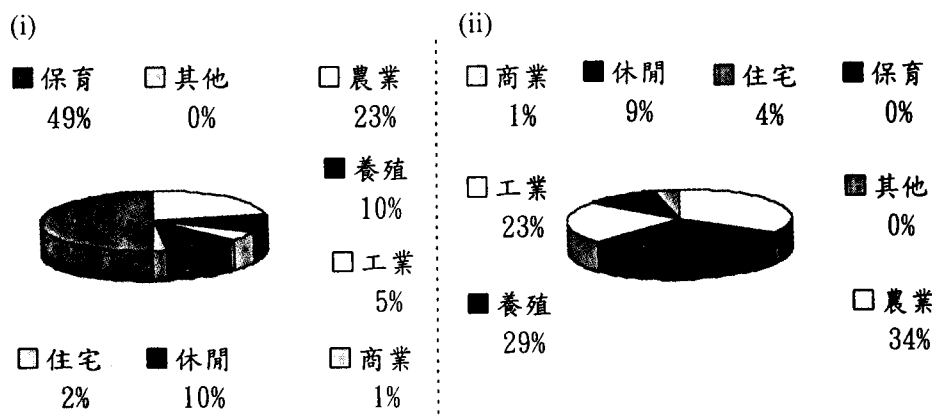


圖 5(c) B-4 方案在地表水供應 80% (休閒可行)下(i)土地使用及(ii)水資源需求統計圖－嘉義地區

水及地下水供應量為限制，藉以評估合理之水土資源規劃方向。根據評估結果，本研究根據研究成果建議擬定政策方向如下：

政策建議：

1. 在以 100 年雲嘉地區之地表水供應為基準，沿海產業發展將受到很大限制，除非開發新水源或替代水源，大量保育面積將是不可避免之規劃方向。
2. 農業與養殖在地層下陷區為不經濟之使用方式，應儘可能減少。農業用地具有生產、生活與生態之功能，在地層下陷區之生產效益不高，因此應加強其生態之功能。
3. 住宅及商業使用方式因其土地效益高且用水量較少，因此在分析中規劃面積均在其上限，將來可朝大型購物中心發展。
4. 休閒為繼住宅及商業使用，較為適合之使用型態，當水資源提供量增加則保育規劃面積逐漸改為休閒，惟當水資源供應量增加到一定程度，則開始增加工業使用面積。休閒應為地層下陷區較佳之土地規劃，除了遊樂區外，亦可加強推動休閒農業及休閒漁業。
5. 工業雖然有較高之產值，在水資源十分有限之沿海地層下陷區發展將受到很大限制，必須積極開發水源及配合循環用水措施。
6. 沿海地層下陷區設置工業區應嚴格審查其水資源配合之規劃，否則以其高耗水特性，在地表水源不足下，仍將超抽地下水而持續造成地層下陷。

本研究方法可評估合理水土資源規劃方向，然在將來之研究中仍有繼續推廣與改善之空間。例如考量不同用水類別之季節性變化，將可使模式評估結果更趨合理。此外，本研究程序亦可結合資料庫，進一步發展成決策支援系統，對政府決策單位將有顯著之助益。

地層下陷導致之社會成本損失是十分龐大，而其形成背景及問題複雜，非一朝一夕即可使地層下陷停止，惟有就社會、經濟、技術各方面積極探討，據以訂定並落實正確政策方向，如此方能早日解決地層下陷問題。

八、參考文獻

1. 內政部，「中部區域環境敏感地劃設與土地使用適宜性分析期末報告」，八十四年十月，1995。
2. 內政部，「臺灣地區敏感地劃設與土地使用適宜性分析(北部區域、南部區域)技術報告」，八十一年十二月，1992。
3. 台灣省漁業局，「養殖漁業區規劃報告」。農業工程研究中心。73 農建-2、1-產-150，1984。
4. 林永德、陳守強，「台灣沿海地區地盤下陷之研究」，行政院農委會 75 年鑛度研究發展專題報告，第 1-79 頁，1987。
5. 林國慶，「台灣地區土地價格之分析」，國家科學委員會專題研究成果報告，1995
6. 徐享崑、鄭昌奇、童慶斌，「地層下陷區土地整體規劃及整復利用」，環境影響評估技術研討-海

- 岸地區影響:濕地保育與開發之互動研討會,台北,January 15、16, 1996
7. 徐享崑、鄭昌奇、童慶斌,「地層下陷防治執行量化目標之研擬」,第八屆水利工程研討會,台北,July, 1996
 8. 雲林縣政府, 雲林縣綜合發展計畫。雲林:雲林縣政府, 1993。
 9. 賈儀平、王原賢、洪榮聰,「雲林縣台西地區地盤下陷之橫式分析」,營建之訊,第 132 期,第 22-34 頁, 1993。
 10. 單信瑜、曾嘉文,「滲透壓密對地盤下陷之影響」,第二屆地下水資源及水質保護研討會,台南, 1997。
 11. 經濟部、農委會,「台灣地區地層下陷之現況、成因與對策」,八十四年三月, 1995。
 12. 經濟部、農委會,「地層下陷防治執行方案」,八十四年十一月, 1995。
 13. 經濟部,「水資源政策白皮書」,八十五年十二月, 1996。
 14. 經濟部水資源統一規劃委員會, 台灣地區民國八十三年工業用水量統計報告。台北:經濟部水資源統一規劃委員會, 1994。
 15. 經濟部水資源統一規劃委員會, 台灣地區民國八十三年農業用水量統計報告。台北:經濟部水資源統一規劃委員會, 1994。
 16. 經濟部水資源統一規劃委員會, 台灣地區民國八十三年各標的用水量統計報告。台北:經濟部水資源統一規劃委員會, 1994。
 17. 經濟部水資源統一規劃委員會, 台灣地區民國八十三年生活用水量統計報告。台北:經濟部水資源統一規劃委員會, 1994。
 18. 經濟部水資源統一規劃委員會, 台灣地區之水資源, 1995。
 19. 嘉義縣政府,「嘉義縣違法水井查處執行計畫」,民國八十五年。
 20. 嘉義縣政府,「嘉義縣綜合發展計畫」,民國 85 年, 1996。
 21. 鄭昌奇、徐年盛、譚義績、童慶斌、蔡存孝、彭宗仁,「地下水觀測網及地層下陷防治工作整體推動與實施」,濁水溪沖積扇地下水及水文地質研討會論文集,台北,February, 1996
 22. 蘇苗彬,「台灣西部之沿海地盤下陷機制探討」,地質防災技術研討會, 43-80, 1991。
 23. Gottardi, G., Previatello, P., Simonini, P., 1995. An extensive investigation of land subsidence in the Euganean geothermal basin, Italy. Proceeding of the fifth international Symposium on Land subsidence, The Hague, October 1995, P21-30.
 24. Heywood, C. 1995. Investigation of aquifer-system compaction in the Hueco basin, El Paso, Texas, USA. Proceeding of the fifth international Symposium on Land subsidence, The Hague, October 1995, P35-45.
 25. John, A.I. *Land Subsidence*. IAHS Publication No. 200, IAHS Press, Institute of Hydrology, Wallingford, Oxfordshire OX108BB, UK

收稿日期:民國 86 年 08 月 04 日

修正日期:民國 86 年 10 月 06 日

接受日期:民國 86 年 10 月 07 日