

國立交通大學
交通運輸研究所

碩士論文

應用多目標規劃法於低碳運輸計畫之預算分配

A Multi-Objective Programming Approach for Budget

Allocation of Low Carbon Transportation Projects

研 究 生：劉庭豪

指 導 教 授：馮正民 博士

陳正杰 博士

中 華 民 國 一 〇 一 年 六 月

應用多目標規劃法於低碳運輸計畫之預算分配

A Multi-Objective Programming Approach for Budget

Allocation of Low Carbon Transportation Projects

研究生：劉庭豪

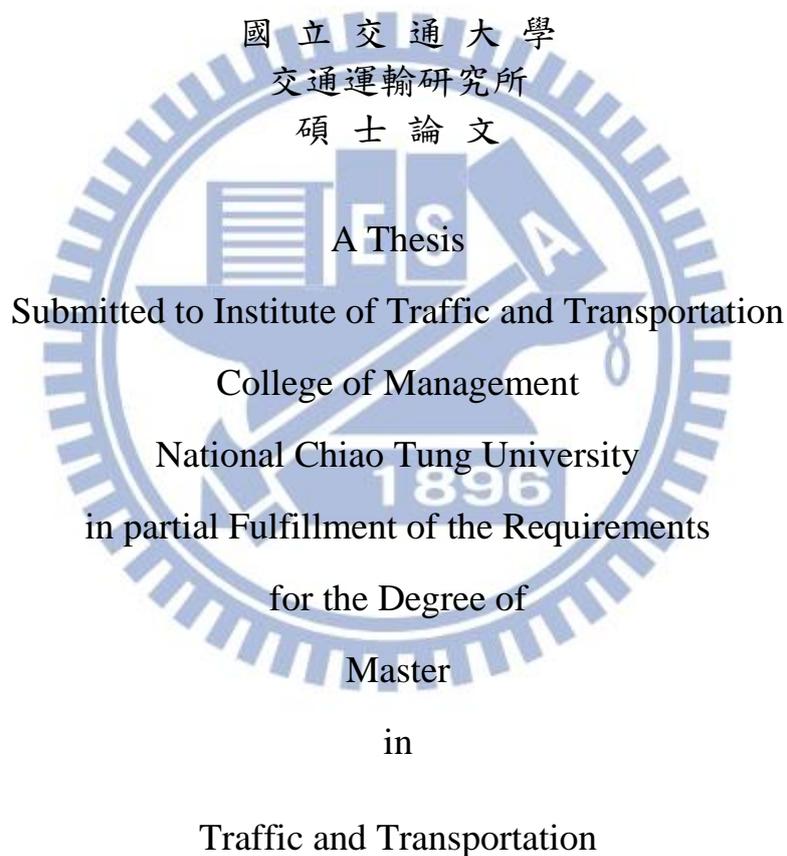
Student：：Ting-Hau Liou

指導教授：馮正民

Advisor：Dr. Cheng-Min Feng

陳正杰

Dr. Cheng-Chieh Chen



June 2012

Taipei, Taiwan, Republic of China

中華民國一〇一年六月

應用多目標規劃法於低碳運輸計畫之預算分配

研究生：劉庭豪

指導教授：馮正民 博士

陳正杰 博士

國立交通大學交通運輸研究所碩士班

摘要

運輸部門的溫室氣體排放量為全球產業最大宗排放源之一。為因應國際碳排放減量趨勢，我國環保署要求各縣市提出低碳運輸計畫並加以評選，作為年度預算規劃之參考依據。以往決策者在公共建設規劃時多採用質性評選方式來決定預算分配比例，較缺乏客觀的量化因素。本研究建構一多目標數學規劃模式，以追求低碳運輸策略效益最大與減少區域間預算分配差距，同時導入「計畫可調整性」及「最低可執行預算規模比例」等因素，進行低碳運輸計畫預算分配。

模式建構階段則藉由典型背包問題 (0-1 Knapsack Problem) 發展整數規劃 (IP)、加入預算可調整性因素之混合整數規劃 (MIP) 以及本研究構建之多目標混合整數非線性規劃 (MOMINLP) 來說明三種模式之分配情形。利用敏感度分析探討對模式有影響之相關參數，以及透過多目標間權衡分析探討不同權重目標對於分配結果之影響。並依據實例分析驗證模式之可行性。

歸納分配結果可以得知，總預算額度偏低時，模式傾向將預算優先分配予減碳能力較佳之區域；當預算額度較為充足時，本研究發展之公平性目標式會有助於減少區域間預算配給之差異。由於分配結果會隨著權重目標調整而改變，本研究針對不同權重組合進行最佳化分析，可作為決策者未來執行模式之參考依據。

關鍵字：低碳運輸計畫、預算分配、分配公平性、多目標規劃

A Multi-Objective Programming Approach for Budget Allocation of Low Carbon Transportation Projects

Student : Ting-Hau Liou

Advisor : Dr. Cheng-Min Feng

Dr. Cheng-Chieh Chen

Institute of Traffic and Transportation

National Chiao Tung University

Abstract

Reducing greenhouse gas emissions is one major issue and challenge in transportation sections. To achieve this mission, various administrative divisions under the central government were asked to propose some low-carbon transport projects for annual budget planning and allocation.

Instead of arbitrarily evaluating the performance of those projects, this paper contributes a method for quantifying and jointly optimizing the results of project selections and budget allocations, while also considering the proportion and minimum required amount of each proposed budget. A basic model (Model 1) adapted from the typical 0-1 knapsack problem, an extended mixed integer programming model (Model 2), and a multi-objective mixed integer nonlinear programming model (Model 3) are developed in this study.

Models 1 and 2 are maximizing the total reduction of emissions based on selected projects and approved budget. Model 3 is further pursuing the equality issue by minimizing the variance of allocation results among administrative divisions. Through a series of numerical examples and sensitivity analysis, the models demonstrate their ability to maximize emissions reduction through budget allocating decisions. Different weight combinations between two objective functions are also examined.

Keywords : Low-Carbon Transportation, Budget Allocation, Equity,
Multi-Objective Mixed Integer Nonlinear Programming Problem.

誌 謝

時光飛逝，即將揮別短暫的兩年，以及這充滿種種回憶的北交校區。回首碩士求學生涯，歷歷在目。雖書萬篇字，也難以對曾經幫助我的人表達心中無限的感激。

感謝我的指導教授馮正民老師，承蒙您兩年來的諄諄教誨，雖然您有許多要事要忙，但仍無微不至的關心我們的論文進度以及生活近況。在研究的過程中一路扶持著我們，不僅僅在學問上的收穫，更為我的處事價值觀念上了寶貴的一課，再來，也非常感謝另一位指導教授陳正杰老師，在與您討論的過程中非常的快樂，您總是不厭其煩的解答我的疑問、更循循善誘地引導我找出問題的答案，不只教導我學問上的知識，更重要的是對處理事物的態度以及生活上的經驗分享。正所謂賢師良友在其側，於此種種都是我未來非常珍貴的寶藏。

感謝在研討過程中，邱裕鈞老師、汪進財老師給予許多重要建議以及導正我研究的方向，使得我的內容更臻完善。在口試期間，承蒙張宗勝教授與林楨家教授細心的審查，不僅提供許多寶貴的問題與建議，更指點我強化論文的內容，使之更加的完整與詳細。

感謝不時與我討論、提供我意見的志偉學長。還有跟我一起奮鬥的同學們，馮家班的鈞暉、家欣、禮卉、維薇、亞璇以及韋丞，我以身為馮家班為榮。室友佳億以及德坤，為我生活添加許多歡笑。總是準時出現在一樓研究室的昶律、韋穎、怡潔、重光、世曦、彥廷等等共患難的好夥伴，要感謝的人太多，還請原諒我無法一一備載，你們都是我堅持下去的動力。

最後要感謝的，是我的家人們。謝謝媽媽總是在我壓力緊繃時與我一同分擔，謝謝爸爸與我分享許多待人處事的經驗，謝謝弟弟在我情緒低潮的時候陪我歡笑，陪伴我度過許多難關。有你們的陪伴，在未來的日子我也能勇敢向前。

劉庭豪 謹誌於
國立交通大學交通運輸研究所
中華民國一〇一年六月

目 錄

中文摘要	i
英文摘要	ii
誌 謝	iii
目 錄	iv
圖 目 錄	v
表 目 錄	vi
一、緒論	1
1.1 研究動機與背景.....	1
1.2 研究目的.....	3
1.3 研究範圍與對象.....	4
1.4 研究流程.....	5
二、文獻回顧	7
2.1 運輸相關碳排放減量之計畫.....	7
2.2 公共建設計畫資源分配.....	20
2.3 多目標規劃.....	22
2.4 文獻評析.....	32
三、研究方法	33
3.1 研究架構.....	33
3.2 研究課題.....	35
3.3 模式建構.....	38
四、範例分析	51
4.1 範例情境設計.....	51
4.2 範例參數設定.....	53
4.3 範例結果.....	56
4.4 敏感度分析.....	67
4.5 目標權衡分析.....	75
4.6 範例結果彙整.....	77
五、實例分析	78
5.1 實例結果.....	78
5.2 政策意涵與討論.....	82
六、結論與建議	84
6.1 結論.....	84
6.2 建議.....	86
參考文獻	87

圖目錄

圖 1-1 1970 至 2005 年全球溫室氣體排放統計	1
圖 1-2 全球各部門溫室氣體二氧化碳排放量	1
圖 1-3 研究範圍	5
圖 1-4 研究流程圖	6
圖 2-1 非劣解集合與效用函數 U	24
圖 3-1 研究架構	34
圖 3-2 分配決策架構圖	37
圖 3-3 模式執行架構圖	38
圖 4-1 範例結構圖	51
圖 4-2 總預算 280 百萬元預算分配結果	63
圖 4-3 總預算 400 百萬元預算分配結果	64
圖 4-4 總預算 520 百萬元預算分配結果	65
圖 4-5 總預算水準對總減碳效益敏感度分析折線圖	67
圖 4-6 總預算水準對各區域減碳效益敏感度分析折線圖	68
圖 4-7 總預算水準對公平性敏感度分析折線圖	69
圖 4-8 最低可執行預算比例對總效益之敏感度分析折線圖	71
圖 4-9 最低可執行預算比例對公平性之敏感度分析折線圖	71
圖 4-10 最低可執行預算比例對區域 1 內計畫之敏感度分析折線圖	72
圖 4-11 最低可執行預算比例對區域 2 內計畫之敏感度分析折線圖	73
圖 4-12 最低可執行預算比例對區域 3 內計畫之敏感度分析折線圖	74
圖 4-13 雙目標權重比例對減碳效益影響之折線圖	75
圖 4-14 雙目標權重比例對區域配給比例影響之折線圖	76

表目錄

表 2-1 OECD 成員國各運具模式之能源消耗量(括號內為年成長率).....	7
表 2-2 運輸相關減碳計畫	10
表 2-3 國外主要城市運輸部門溫室氣體減量目標與節能減碳措施	13
表 2-4 國內運輸部門溫室氣體減量目標與節能減碳措施	15
表 2-5 國內各縣市運輸部門之低碳計畫	17
表 2-6 資源分配相關文獻彙整	21
表 2-7 多目標規劃求解法分類	28
表 2-8 多目標規劃法文獻彙整	30
表 3-1 模式集合符號說明	40
表 3-2 模式參數說明	41
表 3-3 模式決策變數說明	41
表 4-1 範例集合符號說明	52
表 4-2 範例模式環境參數說明	53
表 4-3 範例模式：非連續型計畫 j 執行所需成本 C_{ij}^k	53
表 4-4 範例模式：連續型計畫 j' 執行所需成本 $C_{ij'}^k$	53
表 4-5 範例模式：非連續型計畫 j 每單位投入增額之比例 d_{ij}^k	54
表 4-6 範例模式：非連續型計畫 j 所產生之減碳量/減碳效益 E_{ij}^k	54
表 4-7 範例模式：連續型計畫 j' 所產生之減碳量/減碳效益 $E_{ij'}^k$	54
表 4-8 範例模式：非連續型計畫 j 最低可執行預算比例 L_{ij}^k	54
表 4-9 範例模式：連續型計畫 j' 最低可執行預算比例 $L_{ij'}^k$	55
表 4-10 總預算 280 百萬元第一模式結果	56
表 4-11 總預算 280 百萬元第二模式結果	57
表 4-12 總預算 280 百萬元第三模式結果	57

表 4-13 總預算 400 百萬元第一模式結果	58
表 4-14 總預算 400 百萬元第二模式結果	59
表 4-15 總預算 400 百萬元第三模式結果	59
表 4-16 總預算 520 百萬元第一模式結果	60
表 4-17 總預算 520 百萬元第二模式結果	61
表 4-18 總預算 520 百萬元第三模式結果	61
表 4-19 四種預算情境範例結果彙整	62
表 4-20 最低可執行預算比例之敏感度分析結果	70
表 5-1 實例分配結果	80



一、緒論

1.1 研究動機與背景

運輸為衍生性需求，文明演進勢必帶動運輸需求量的增加。根據國際能源總署 (IEA) 研究報告指出，全球溫室氣體在 1970-2005 年間共增加 61%，如圖 1-1 所示。2005 年全球大約排放 45.4 十億噸的溫室氣體，而其中 59% 就來自於石化燃料 (Fossil Fuel) 的使用 (IEA, 2009)。

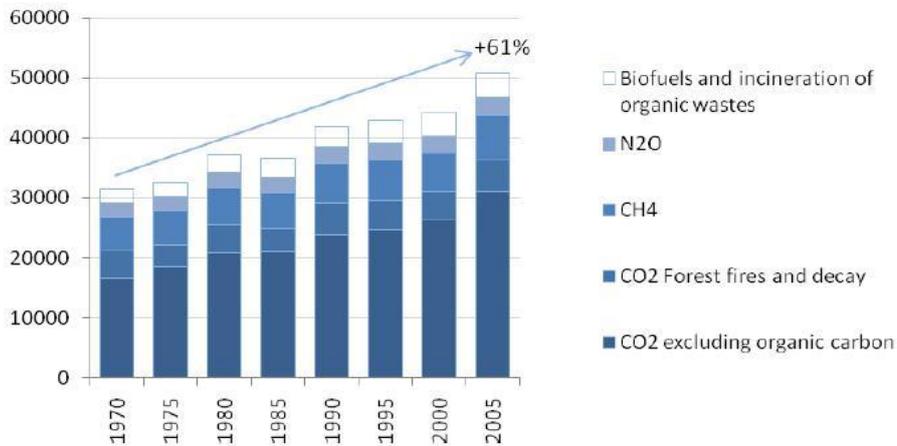


圖 1-1 1970 至 2005 年全球溫室氣體排放統計 (IEA, 2009)

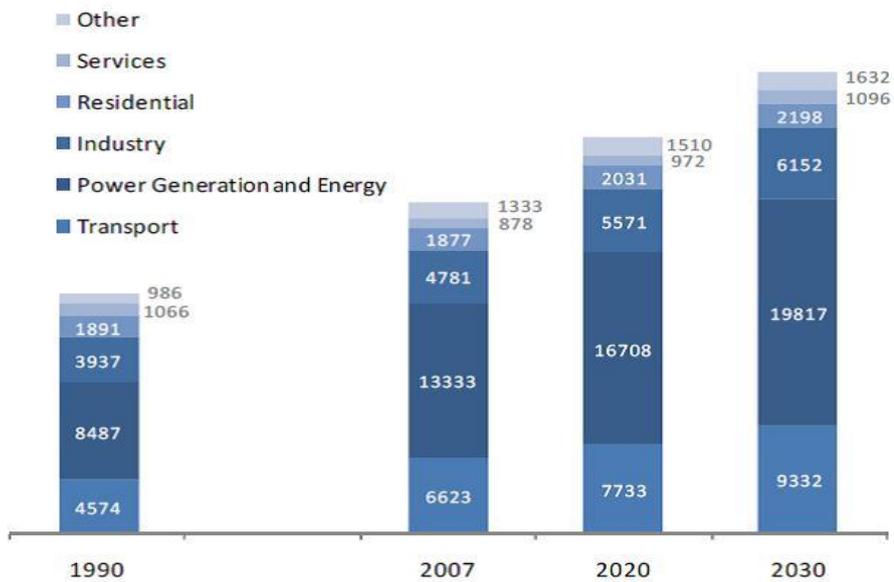


圖 1-2 全球各部門溫室氣體二氧化碳排放量 (IEA, 2009)

如圖 1-2 所示，全球運輸部門的 CO₂ 排放量占全球產業石化燃料總排放量 23%，而自 1990 到 2007 年間，運輸部門的 CO₂ 排放量約增加了 45%，其中最大的排放源為公路運輸部門，而成長率最高的則是航運與空運部門 (IEA, 2009)。Lee Chapman (2007) 指出運輸部門 95% 之活動必須依賴石化燃料，而石化燃料也是造成大量溫室氣體排放的元凶，同時，運輸部門在全球排碳量貢獻不小，顯示在交通運輸帶給人們便利的同時，運輸系統排放的大量溫室氣體對環境的衝擊不僅對人類健康造成威脅，更導致全球氣候的暖化與異變。

面對全球暖化之問題，我國環保署於「低碳示範城市建構對象」會議中要求各縣市針對低碳運輸提出計畫後加以評選，並編列年度預算投入其最終評選之計畫。但根據各縣市政府提出之低碳計畫中，並未明示計畫的目標、成本和效益，其低碳運輸計畫大多由行政機關決策者依經驗、感覺制定，甚少嚴謹考量計畫之成本及實行之成效、缺乏以科學的方法作一系統性的分析、比較與評估，再加上只為爭取財源而寬列預算，造成會議中委員審核預算、計畫之過程有所困擾，計畫執行效率也不明朗。

就目前我國決策環境，評選計畫項目方式以各縣市單位提出計畫，再交由委員在各項目中統一評選。亦即在有限的預算下，評選各低碳計畫，同時考慮城鄉差距，顧及資源分配之公平性。

而以往傳統的公共建設計畫之評選模式中，皆僅探討計畫之組合或是預算分配最佳化，並未同時考量具有雙方優勢之模式。因此本研究將以國內之低碳運輸計畫為基礎項目，發展多目標計畫評選及預算分配規劃模式，評選各區域之低碳計畫，以達到減碳效益的最大化，同時平均分配其資源予各單位。藉此達到減碳目的，實行永續運輸。

1.2 研究目的

我國環保署在其低碳示範城市建構對象會議中，要求各縣市單位提出其欲推動之低碳運輸計畫。儘管各縣市政府並未明確提出其計畫推動成本及減碳效益，但已邁出相當重要之一大步。面對全球大國紛紛以行動響應減碳計畫，以及對全球暖化及能源短缺議題之重視，有效地管制二氧化碳排放量以及利用有限資源達到最大效益的目標下，如何審慎分配其有限之預算來達成目標為其重要的議題。

因此針對上述問題，本研究首先將整理回顧各國低碳計畫與我國現行各縣市單位提出之低碳運輸計畫為研究基礎項目，輔以環保署「低碳城市建構計畫」之資料，評估各計畫之成本及效益，而後再將其參數利用多目標規劃，分析如何追求達到減碳效益最大化的同時，顧及分配之公平性之預算分配模式。

具體而言，本研究的主要目的在於藉由建構成本效率、環境保護、執行效益以及公平性之多目標規劃模型，來達到以下目的：

1. 在現行我國各單位提出之低碳運輸計畫項目與減量目標，以及不同決策目標下對模式之影響。
2. 建立多目標規劃模式來達到低碳運輸計畫效益最大、分配之公平性，以供未來決策者參考。並考慮計畫可調整性與最低可執行預算比例之要素，以增加模式之真實度。
3. 藉由範例分析、實例以及相關分析以驗證模式之可行性。

1.3 研究範圍與對象

本研究將所欲探討的範圍分為空間範圍、時間範圍以及研究對象，分別敘述如下：

1. 時間範圍：

為配合環保署「低碳示範城市建構對象」之預算編列計劃期程，主要以評選各縣市單位之計畫時程為主（預估至民國 104 年）。

2. 空間範圍：

本研究之空間範圍定義為縣市都會區為範圍劃分，僅探討各縣市代表所提出之「低碳運輸」計畫方面之預算分配。

3. 研究對象：

本研究嘗試以量化低碳計畫之成本效益概念，並將其參數導入於計畫評選之預算分配模式中，而此預算分配模式將依循目前我國環保署低碳示範城市建構對象計畫評選之決策環境，如圖 1-3 所示。以多目標規劃為基礎，由中央配給預算，因考量到地區的城鄉差距，需一方面達到減碳效益最大化，一方面顧及區域分配公平性。以期藉由此模式之建構來輔助往後公共計畫評選程序之效率與評估準則。

而本研究所探討之範疇僅限於低碳示範城市建構計畫中《低碳運輸計畫》之部分。中央機關於初次全國遴選向各縣市區域募集低碳運輸計畫，而各計畫性質因地域特性差異而不盡相同，最後再經由中央決策者做最後的預算分配執行權。

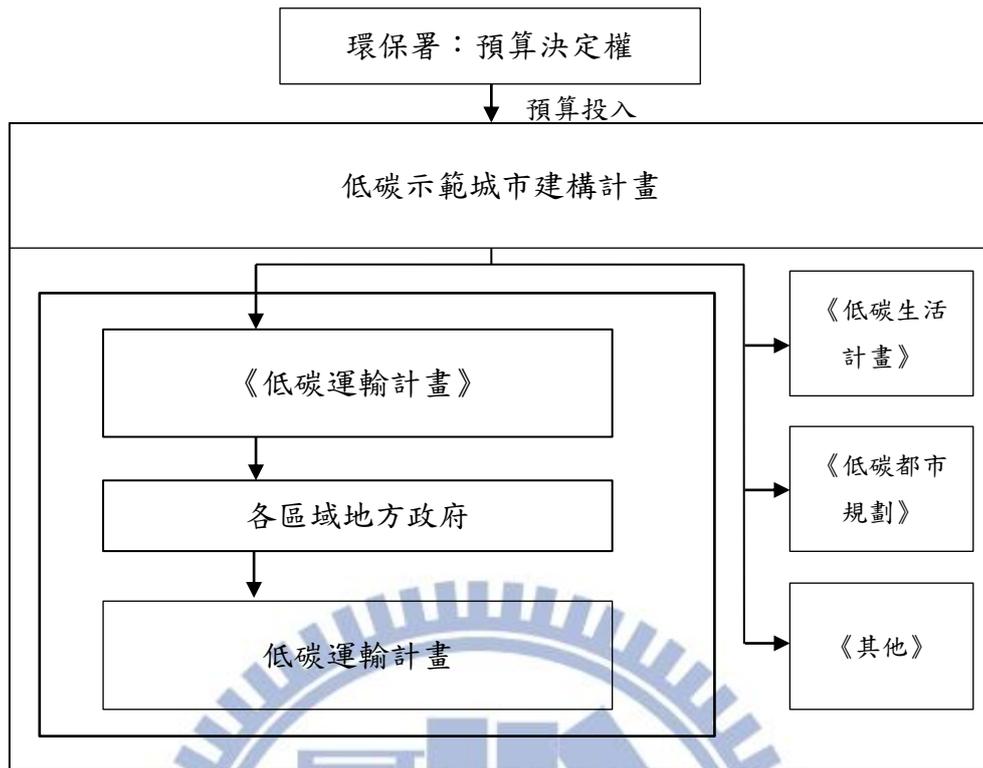


圖 1-3 研究範圍

1.4 研究流程

本研究流程步驟進行如下：

1. 依據世界低碳潮流之趨勢，提出研究的動機、目的。
2. 文獻回顧及其分析：針對研究相關背景、國內外因應溫室氣體減量壓力下所提出之低碳運輸計畫，以及各國永續運輸、二氧化碳排放減量計畫書，針對低碳運輸計畫成本效益評估，並結合預算分配與多目標規劃方法，進行整理與分類，藉此整合提出相關議題的背景與理論基礎作為本研究之依據。
3. 建構多目標規劃模型，並對於計畫之評估方式作定義與分析。
4. 進行模式操作與相關之影響分析。
5. 提出結論與建議並探討，與建議未來研究方向。

本研究流程如圖 1-4 所示：

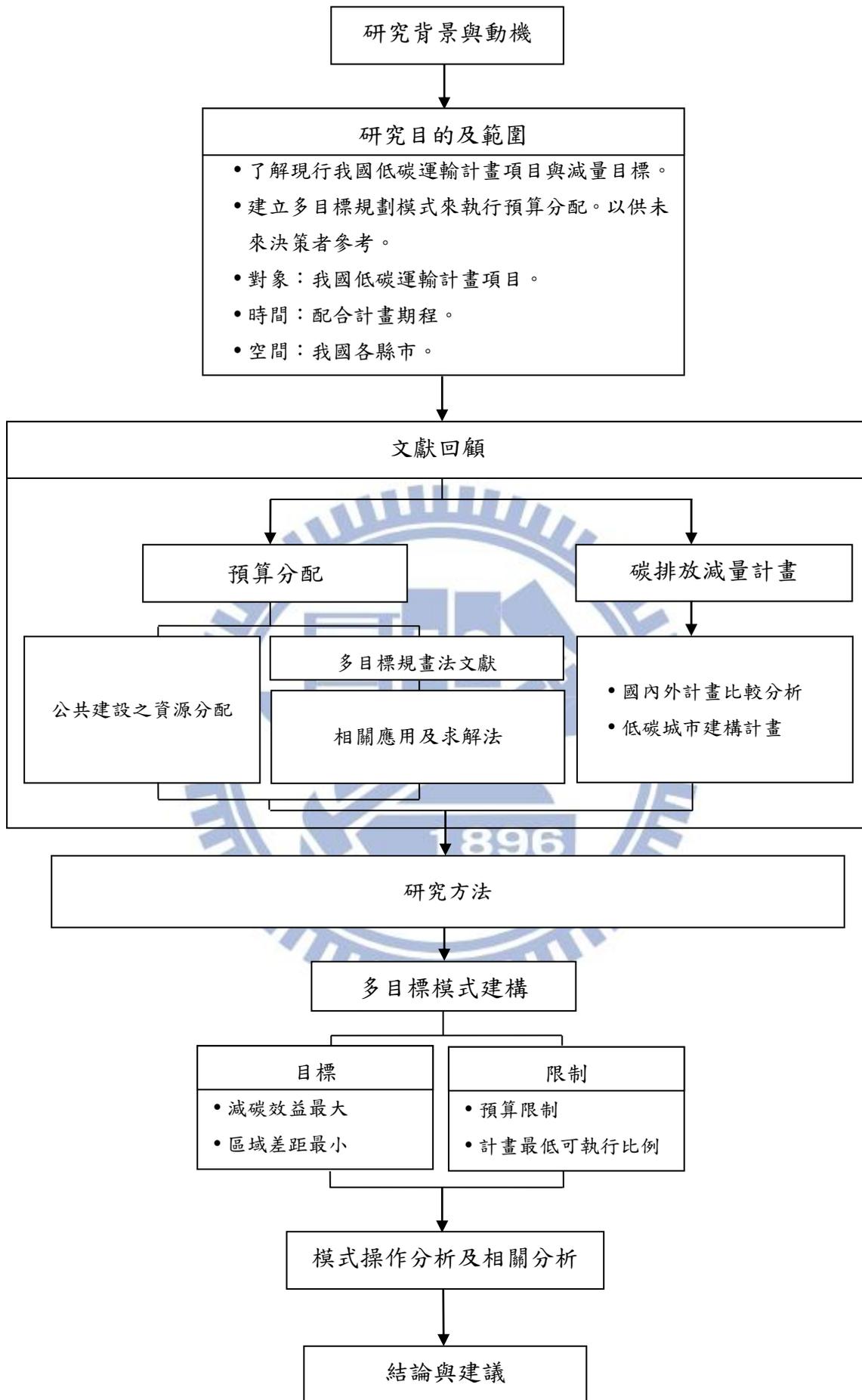


圖 1-4 研究流程圖

二、文獻回顧

在本章節中，首先針對本研究所欲探討之議題背景進行回顧與資料整理。本章的安排如下：第一節主要探討在溫室氣體排放量減量的壓力下，世界各國及我國政府提出之主要低碳運輸計畫構想，並分析運輸部門在政策上對於溫室氣體排放之影響等課題以及相關文獻之回顧，以作為本研究研擬所需評估之低碳運輸計畫之基礎架構；而後，第二節則是對公共建設計畫之資源分配做相關回顧；第三節則是對於多目標規劃模型相關文獻的回顧，以及藉由文獻整理方式，來瞭解及定義各政策之評估方式，以作為模式參數之基礎。

2.1 運輸相關碳排放減量之計畫

現今所有世界各國的運輸部門也正在積極擴張，因為運輸產業污染嚴重之故，所以也被列為京都議定書的碳減排重點之部分，如表 2-1 (Lenzen 等，2003) 我們可以看出在美國以及經濟合作暨發展組織國家 (OECD) 能源消耗量都有明顯的成長，這也代表著污染排放的增加。事實上，京都議定書中已經提出幾項概略性的計畫，然而各國並非只採用其概括性的大目標計畫，國際上主要國家為因應公約之減排規定，大多數對於碳排放減量措施多自行提出具體減量計畫。

表 2-1 OECD 成員國各運具模式之能源消耗量(括號內為年成長率)

		能源消耗量 (%)		
運具模式		北美區	歐洲區	太平洋區
旅客 運輸 業	Cars	57 (+1.4)	54 (+1.7)	57 (+1.2)
	Buses	1 (+1.5)	3 (+1.3)	1 (+0.8)
	Railways	1 (+0.4)	1 (+1.0)	3 (+0.9)
	Aviation	8 (+2.3)	8 (+4.5)	5 (+3.3)
貨運 業	Trucks	24 (+2.0)	30 (+2.2)	25 (+1.9)
	Railways	7 (+1.6)	3 (+0.1)	3 (+1.8)
	Shipping	2 (-0.7)	1 (+0.1)	5 (+0.2)

資料來源：Lenzen 等，2003

Lee Chapman (2007) 在其研究指出現今運輸部門全球二氧化碳排放量以私人、貨運汽車以及航空產業為貢獻溫室氣體最大宗，因此針對運輸部門，主要應從這三方面來執行實質的碳排放減量行動。另外，新興技術的發展如替代性運輸燃料，藉以紓緩運輸事業對於石油的依賴。石油是主要的燃料來源，交通運輸部門與公路運輸佔總能源使用量的 81% (WBCSD, 2001)。而溫室氣體主要來源即為化石燃料，上從製造車輛下至運輸排放，76%的化石燃料使用量有 9%是來自車輛的製造過程、15%來自車輛排放和引擎無效率的耗損量 (Potter, 2003)。

國際運輸論壇 (International Transport Forum, ITF) 於 2009 年有關運輸部門溫室氣體排放的報告中指出，運輸部門的溫室氣體排放量大，約佔總體排放量的 13%，而且仍持續顯著地成長，因此擬定減排政策為時勢所趨。其次，Lee Chapman (2007)也提到運輸工具所使用的能源有 95%倚賴的石化燃料，所以必須提高能源使用效率並發展替代能源；第三，運輸部門應積極發展低碳運輸的相關措施，包括提升運具效率標準、制訂低碳燃油標準、以及其他創新的措施。(Lee Chapman, 2007; ITF, 2009)。為了使運輸造成之汙染降低，許多研究也提出解決方案，例如藉由提出替代的運輸模式、改善運輸相關技術、利用相關政策感變使用者的習慣或是其他低碳計畫等。都是目前解決問題的手段之一。

在替代運輸方面等議題，公共運輸提供了良好的替代選擇，其單位運量所消耗之能源以及碳排放量較低，更好的能源使用效率和環保 (Li and Li, 2010)，如鐵路以及軌道運輸系統。不過由於軌道運輸系統可及性較低，必須提供完整之轉乘接駁系統配套措施來加強其及門服務水準。其單位運量消耗雖然較低，較符合環保政策，但也因為可及性等因素造成不易吸引旅次轉移，營運維持較需要依賴政府補助 (Potter, 2003)。而近年來新興之輕軌運輸等電動列車系統也是另一種選擇。例如世界各國都市積極發展的輕軌計畫。雖然基礎建設的成本不容小覷，但相對地其使用的是如核能或可再生能源等非化石燃料，也能達到減量效果。

除了軌道運輸外，公車也是一種替代的運輸模式。與軌道運輸系統不同的是，其可及性較高，可以依照都市內各地區逐年改變的需求而調整，簡而言之營運彈性較高，同時基礎設施（如公車站牌）成本也較低。例如歐美地區盛行的雙層巴士 (IEA, 2002)。雖然依照目前的燃料技術公車仍然不算完全「零碳」的運輸方式。但其乘載率一旦超過三人，則每延人公里二氧化碳排放量都遠低於私人運具 (Stanley and Watkiss, 2003)。公車是目前最為可行的減碳運輸模式，也是許多城市公共運輸的基礎，因此決策者可以透過公車專用道之設置、公車優先號誌等以及更密集的路網等拉力以鼓勵私人旅次轉移至公共運輸，一方面配合推力如新加坡和倫敦徵收擁擠稅以增加搭乘公共運輸以達到減碳效果 (Bevers and Carslaw, 2005)。

人口規模較大的城市，公共運輸的效率較高。Li and Li (2010) 指出日本大大都市區人口雖佔整個日本的 50%，其碳排放量只展總額的 42%。同樣的，公共運輸系統的推行對於人口稠密的歐洲較容易受到民眾的支持，進而達到減少交通擁擠及低碳的目的。反觀美國由於幅員廣闊以及燃油成本的低廉，私人運具使用率仍居高不下 (Greene and Wegener, 1997)。因地緣特性的不同，各國公共運輸發展情形也不相同。以此觀點來看，尋求替代燃料及相關技術方面之減碳計畫也逐漸受到國際的重視，但新技術的開發如替代燃料等計畫往往伴隨著高額的成本，若無政府補助，民眾通常不容易接受。而且最近的研究也強調，許多替代燃料也只能提供輕微的二氧化碳減排效果，技術進步如果無伴隨著相關配套政策來改變大眾運具選擇行為，減碳效果其實並不大 (Schipper and Fulton, 2003)。因此在燃油新技術尚未完全成熟而目前較為可行的方案為推廣使用低排放的車輛如電動機車，或是目前的低碳燃料如天然氣(Sperling, 2003)。

轉移私人旅次至公共運輸模式例如鐵路運輸和公車系統，是相當有效的解決方案，(Waterson 等人, 2003)。目前各國也積極地從改變運具選擇行為方面著手。轉移旅次的政策手段，目的是冀望能藉由鼓勵來將私人旅次轉移到其他公眾交通工具，但現實中除非大量投資具吸引力的替代運輸模式，鼓勵手段通常較無顯著效率。相反的，藉由抑制私人運具政策較具有顯著的效果，如提高停車收費標準、燃油稅的徵收等間接稅收。抑或是藉由結合私人運具上使用的 GPS 系統來實行里程計費。(Mitchell, 2005; Anable and Boardman, 2005)。在新加坡和倫敦，則是實施在交通擁擠的鬧區或是中心收取擁擠稅，使交通擁堵減少 40% 和 30%。但是，市民對時稅收政策的接受程度低，同時也牽涉到社會公平的議題，因此間接稅收政策之執行需要謹慎考慮。另一方面，決策者也可以藉由車道數的降低、限制高乘載車輛、鼓勵共乘行為等較為溫和的運輸政策，藉此增強替代運輸模式的吸引力 (Cairns 等人, 2004; Beevers and Carslaw, 2005)。

如日本的無車宣導、改善步行品質以及縮短生活圈距離等推廣步行及自行車的使用 (Li and Li, 2010)。引進並提倡環保車輛以及自行車等低污染交通工具，也能有效地節省能源、減少環境的污染 (Liu and Chen, 2011)。另外，決策者可藉由減少道路的空間、增設行人專用道來改善步行以及自行車旅次的品質，配合密集的公共運輸路網來達到轉移私人車輛的旅次以及環保減排的目的 (DFT, 2006)。

另外，近年來的研究除了在實質面上的研究外，許多學者們也朝著「管理」領域方面著手。如 Li 和 Gao (2010) 在面對中國貨運業如何減少二氧化碳排放量的議題，藉由成立低碳貨運網絡配合發展半掛式拖車運輸 (semi-trailer swap transportation)，以減少二氧化碳的排放量同時增加貨物運輸量，促進運輸網絡的運輸效率。而 Hector (2010) 在其研究中發展 TILT 模式來評估總體運輸需求和所提出之低碳的運輸計畫對經濟的影響，同時考慮到選擇不同的計畫的敏感度分析，以及最後這些計畫對使用者運輸行為的影響。最後，若以決策者方的角度來看，Lai and Ren (2011)在其研究中也建議可採取政府、公共運輸及社會大眾三方互動的管理模式，政府考慮公眾意見，並積極促使低碳計畫的發展與大眾積極的配合參與。

表 2-2 運輸相關減碳計畫

減碳手段	研究文獻	內容
替代運輸模式	Li and Li (2010)	人口規模較大的城市，公共運輸的效率較高。鐵路以及軌道運輸系統公共運輸提供了良好的替代選擇，其單位運量所消耗之能源以及碳排放量較低。
	Potter (2003)	軌道運輸系統可及性較低，必須提供完整之轉乘接駁系統配套措施來加強其及門服務水準。但也因為可及性等元素造成不易吸引旅次轉移，營運維持較需要依賴政府補助。
	IEA (2002)	公車可及性較高，可以依照都市內各地區逐年改變的需求而調整，例如歐美地區盛行的雙層巴士，抑或是撥召公車。
	Stanley and Watkiss (2003)	依照目前的燃料技術，一般公車其乘載率一但超過三人，則每延人公里二氧化碳排放量都遠低於私人運具。
	Beevers and Carslaw (2005)	透過公車專用道之設置、公車優先號誌等以及更密集的路網等拉力以鼓勵私人旅次轉移至公共運輸。
應用運輸科技	Greene and Wegener (1997)	美國由於幅員廣闊以及燃油成本的低廉，私人運具使用率仍居高不下，尋求替代燃料及相關技術方面為主要減碳關鍵。
	Schipper and Fulton (2003)	許多替代燃料只能提供輕微的二氧化碳減排效果，若無伴隨著相關配套政策來改變大眾運具選擇行為，減碳效果不大。
	Sperling (2003)	推廣使用低排放的車輛如電動機車，或是目前的低碳燃料如天然氣都是較為低碳環保的運輸模式。

續表 2-2 運輸相關減碳計畫

改變選擇行為	Mitchell (2005)	實行里程計費來落實使用者付費。
	Anable and Boardman (2005)	短期內，改變選擇行為和運輸習慣比科技手段更為有效。
	Cairns 等人 (2004)	藉由鼓勵共乘行為等較為溫和的運輸政策，藉此增強替代運輸模式的吸引力。
	Liu and Chen (2011)	引進並提倡環保車輛以及自行車等低汙染交通工具，有效地節省能源及環境的污染。
	DFT (2006)	藉由減少道路的空間、增設行人專用道來改善步行以及自行車旅次的品質，以及配合密集的公共運輸路網來達到轉移私人車輛的旅次目的。
管理領域面	Li and Gao (2010)	藉由成立低碳貨運網絡配合發展半掛式拖車運輸，以解決中國貨運業二氧化碳的排放量之議題，促進運輸網絡的運輸效率。
	Hector (2010)	發展 TILT 模式來評估總體運輸需求和所提出之低碳的運輸計畫對經濟的影響，同時考慮到選擇不同的計畫的敏感度分析，以及對使用者運輸行為的影響。
	Lai and Ren (2011)	可採取政府、公共運輸及社會大眾三方互動的管理模式，政府考慮公眾意見，並積極促使低碳計畫的發展與大眾積極的配合參與。

資料來源：本研究彙整

藉由整理與歸納文獻後，我們可以發覺除了科技的支援、相關的實質減碳計畫外，藉由宣導方式從使用者的運輸選擇行為著手，逐漸地改變其需求是相當重要的關鍵因素。綜合以上所述，依賴單一種運輸計畫來達到減碳的目的有其困難之處，而藉由計畫間的相互整合，如稅收、法規，配合技術和需求的轉移，才能有效的減少二氧化碳排放量。

但並非所有的計畫都適合套用在各個國家、各個城市。例如呈上所述，人口密度較大的城市如日本、歐洲，公共運輸效率相對較高。為了使計畫能更有效的解決二氧化碳的問題，因地制宜的計畫是不可或缺的。上述運輸相關之減量計畫文獻回顧我們可以了解目前學者們正積極提出應對措施供決策者參考，藉以減低運輸產業的碳排放量。但是隨著各地特性不同，合適的低碳計畫組合也不一樣。接下來即針對國內以及國外各都市之相關減碳計畫作回顧。

2.1.1 國外運輸部門減量計畫

美國運輸部 (Department of Transportation, DOT) 針對溫室氣體減量提出四種計畫導向。分別為：採用低碳燃油、增加車輛燃油經濟性、改善運輸系統效率以及減少碳密集旅次活動 (DOT, 2010)。這些計畫實際行動方案包含：發展與採用替代燃料，如氫能源與電能；改善引擎效率、車體設計與輕量化材質減少油耗；鼓勵私人運具使用者移轉至大眾運輸，以及發展大眾運輸提升整體運輸系統的運作效率；改變旅運活動型態，提倡更具能源效率的運具、增加運具乘載率、以及減少非必要旅次。

歐盟部分，在提高運具耗能標準方面，限制 2012 年後汽車排放量應小於 100 公克/公里。並推廣推廣省能運具及智慧型汽車，運用 ICT 技術於交通運輸系統基礎設施及汽車上，達成更順暢之交通運輸系統。(運研所，2010)

亞洲部分，日本因大眾運輸系統較其他亞洲國家發達，因此主要計畫著重在節約能源部分，藉由節約能源法的提倡，在提高運具耗能標準、運具系統管理、推廣省能運具以及獎勵省能運具研發內都有實際的行動規畫，如引進汽車燃料效率標竿 (top-runner) 制度，以提高汽車燃料效率；修改小型自用車定義；積極改善交通，鼓勵使用大眾運輸；在重要交通區域採用交通需求管理系統，並配合智慧型運輸系統以改善交通阻塞，提升交通運輸能源使用效率；抑或是氫能車示範計畫、車輛怠速期間引擎自動等運輸科技的發展。(運研所，2010)

另外，聯合國政府間氣候變遷問題小組 (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 也在其年度報告中針對各國政府運輸部門低碳計畫提出之四項建議：更節約燃料的機動車，如油電混合車；鼓勵自行車與步行等非燃油或耗能之交通工具；鼓勵私人旅次轉移至軌道與公共運輸模式；土地妥善利用和改善交通運輸規劃。(IPCC, 2007)

而國際運輸論壇 (ITF, 2009) 則認為除了發展低碳計畫，同時也必須考量大眾對減排計畫的接受度，以及執行時可能遭遇的障礙與效益評估的問題，同時也須考量排放量的成本。因此提出四種運輸部門的低碳相關計畫：第一，在運輸需求部分，應盡量減少需求量，並利用重新規劃土地使用、提升乘載率、改變運輸需求型態與規模等手段來減少私人運居之需求；其次，在運具使用方面，提倡使用高效能低污染的運輸工具，如大眾運輸工具或非燃油動力交通工具。第三與第四點則是著重在燃油部分政府應該給予發展新型替代燃油科技適當補助，以及發展與鼓勵新的車輛節能科技。最後，利用交通控制與管理手段，使車流更順暢以減少怠速所造成的污染。

對各國運輸部門節能減碳的政策整理，可以看出，首先著重於運具的節能減碳，包括制定車輛燃料效率標準、制定車輛 CO2 排放標準、發展替代燃料、節能運具獎勵、推動車商節能運具製造自願性協議等等，其次為運輸管理系統的導入，例如智慧型運輸系統、車輛數量管制與時速管制等等。

而上述之政策的執行需要具有實質執行效力的政府機關來推行才能達到實質效果。根據聯合國環境規劃署 (UNEP) 估計，目前國際主要城市所產生之溫室氣體主要成分—二氧化碳，占全球總排放 80%，故都市之政策制定者在推動減少碳排放量的工作上扮演著重要的角色，為減碳計畫之主要核心層級 (顏君聿，2008)。因此在後京都議定書時期，國際各大都市皆竭力推行各項減碳計畫。在此，本研究特別針對國際各大城市減碳計畫之「運輸部門」部分做整理，以了解國際各城市之減碳計畫、目標以及在運輸部門所推動之計畫趨勢。

表 2-3 國外主要城市運輸部門溫室氣體減量目標與節能減碳措施

國家	主要城市	溫室氣體排放量減量目標		運輸部門節能減碳政策措施
		城市級	國家級 (自訂/議定書目標)	
美國	舊金山	2012 年：排放量比 1990 年水準再降 20%	2002~2012 年：每單位經濟活動排放強度降低 18% (2008~2012 年：排放量比 1990 年水準降 7%)	1. 增加公眾運輸使用率 2. 推廣共乘制 3. 推廣腳踏車與步行代替開車
	西雅圖	2012 年：排放量比 1990 年水準降 7%		1. 打造完善的自行車環境 2. 採用生質燃油並推廣油電混合公車 3. 大量使用電車 4. 興建輕軌大眾運輸系統
	洛杉磯	2030 年：排放量比 2007 年水準降 35%，達到 1990 年的水準		1. 提倡潔淨替代燃料與電力車 2. 巴士運輸方案 3. 建置自動交通監控系統 4. 推廣通勤者行程削減計畫
	紐約	2030 年：排放量比 2005 年水準降 30%		1. 擴建鐵路系統和改善巴士服務 2. 試行道路收費計畫
英國	倫敦	1. 2010 年：排放量比 1990 年水準降 20% 2. 2050 年：排放量比 1990 年水準降 60%	2008~2012：排放量比 1990 年水準降 12.5%	1. 「塞車稅」制度，根據 CO2 排放水平，向進入市中心的車輛徵收費用 2. 巴士汰舊換新
日本	東京	2020 年：排放量比 2000 年水準降 25%	2008~2012 年：排放量比 1990 年水準降 6%	制定有利於推廣使用省油汽車的規例。

資料來源：顏君聿 (2008)，臺灣經濟研究月刊。

上表列出國際主要代表城市節能減碳措施，可以看出各地區的運輸部門計畫著重的方向各不相同。如人口稠密的都會區：英國的倫敦、日本的東京以及美國的紐約，拜其人口密度高所賜，其都市公共運輸相較於其他地區較為發達、有效率，因此主要行動計畫多藉由稅收來抑制私有車輛使用等聚焦在私有車輛的計畫為主。而相較於其他幅員廣闊的地區，如表中美國的其他地區，則大多集中在提高大眾運輸使用率、改善能源使用效率等計畫為主。因此隨著各地區旅運特性不同，合適的低碳計畫也不一樣。因此我們可以歸類目前國外運輸部門主要減碳的計畫，大致上朝以下四種方向發展：

- (1) 提高大眾運輸使用率，推廣低碳運具；
- (2) 收取空汙、擁擠等稅收，抑制私有車輛成長；
- (3) 建構智慧型運輸系統，強化交通管理功能；
- (4) 改善私人運具效率，減少碳排放量。

2.1.2 我國運輸部門減量計畫

京都議定書於 2005 年 2 月 16 日正式生效，同時也代表低碳世代的開端，世界各國主要城市紛紛響應低碳行動。面對國際趨勢，對於海島型國家、陸地自然資源較為匱乏的台灣，在永續發展的議題上比其他國家更需要完整的規劃。有鑑於此，我國政府也正式於 2005 年根據經建會之永續發展計畫規劃報告逐步開始推動地方永續評鑑機制的工作（顏君聿，2008），重視並全力協助各地方政府各項減碳行動方案。

我國早於 1997 年即成立「行政院國家永續發展委員會」，並制訂「國家環境保護計畫」。接著於 2000 年研擬「二十一世紀議程：中華民國永續發展計畫綱領」，落實永續發展。為以實際行動其計畫綱領，經濟部於 1998 年、2005 年與 2009 年分別召開三次「全國能源會議」討論各項節能減碳計畫以及溫室氣體減量措施。而後就會議之結論，執行「低碳示範城市建構對象」計畫。

1998 年第一次全國能源會議，即針對氣候變化綱要公約發展趨勢及因應對策以及能源使用等議題進行研討並提出六大方針：確保能源穩定供應、促進合理能源價格、提高能源使用效益、防治能源污染環境、加強能源研究發展、推動能源教育宣導；而針對運輸部門方面，當時也僅提出至 2010、2020 年之節能目標、以及具體行動方案 (如表 2-4)。2005 年京都議定書生效後，我國於 94 年 6 月召開「第二次全國能源會議」，重新檢討我國之節能減碳計畫架構。第二次會議為確實掌握氣候變化綱要公約及京都議定書主要核心目標，會中特別針對京都議定書生效後整體能源政策、能源結構發展、綠色能源發展、產業部門、運輸部門因應計畫等六大議題進行討論。運輸部門方面，此次為因應京都議定書之減碳計畫，除了修正節省能源目標外，還特別在計畫期程目標內加入二氧化碳排放減量目標，也在行動計畫內推動低汙染及綠色運具的概念，全力配合國際減排趨勢 (如表 2-4)。(蔣本基等，2006；行政院環保署，2009)

除了召開「全國能源會議」外，行政院亦於 2008 年核定「永續能源政策綱領」，並研提相關行動方案，最終於同年 9 月通過「永續能源政策綱領－節能減碳行動方案」。其中運輸部門共計列入 27 項行動計畫，分由交通部、經濟部、環保署及內政部依相關權責辦理，同時訂定各部門節能減碳績效之額度，以達成全國二氧化碳排放減量目標 (如表 2-4)。而 2009 年行政院舉辦「第三次全國能源會議」，除針對永續發展與能源安全、管理與效率提升、市場開放、科技與產業發展等四大核心議題外，針對運輸部門減碳目標則具體地訂定逐年減碳目標，並提出最低成本的規劃方案 (如表 2-4)。強力落實減碳行動，達成永續能源政策綱領政策之目標。(行政院環保署，2009；顏君聿，2009)

表 2-4 國內運輸部門溫室氣體減量目標與節能減碳措施

	運輸部門 節能減碳目標	相關法規修訂	技術計畫	經濟誘因與社會宣導
1998 年 第一次全國 能源會議	2010 年累計節約率為 15.5 %、2020 年達 23.7 %，累計節約量為 688 萬公秉油當量	修訂「車輛容許 耗用能源標準 及檢查管理辦 法」，增訂汽機 車輛耗能標準	<ul style="list-style-type: none"> • 提升汽機車輛耗能標準 • 推動採用省能運具 • 開發電動機車燃料電池 • 健全軌道大眾運輸系統 • 實施運輸系統管理計畫 • 發展智慧型運輸系統 • 降低運輸活動所衍生之環境衝擊 	<ul style="list-style-type: none"> • 推動汽燃費改隨油徵收 • 加強省油車輛宣導

續表 2-4 國內運輸部門溫室氣體減量目標與節能減碳措施

<p>2005 年 第二次全國 能源會議</p>	<p>2020 年累計節約 369 萬公秉油當量，降低 CO2 排放量 1,046 萬噸，到 2025 年累計年節約 622 萬公秉油當量，降低 CO2 排放量 1,430 萬噸</p>	<p>逐步檢討提高汽機車能源效率標準（2009 年 6 月完成「車輛容許耗用能源標準及檢查管理辦法」修正草案）</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 健全完善的軌道運輸服務 • 提升公路及市區公車服務功能 • 提供民眾便利的交通轉乘服務 • 落實以綠色運輸系統為導向之土地使用規劃 • 合理化汽（機）車成長管理 • 強化私人運具使用管理 • 運用先進科技 • 強化運輸需求管理 • 提升貨物運輸之運作效率 • 辦理能源領域科技計畫 	<ul style="list-style-type: none"> • 推廣低污染省能源運具或交通設施 • 推廣與宣導綠色大眾運輸系統 • 推廣節能活動
<p>2008 年 永續能源政 策綱領</p>	<p>各部門行動計畫，應訂定部門節能減碳績效額度，以達成全國 CO2 排放減量目標（規劃於 2016 至 2020 年間回到 2008 年排放量，於 2025 年回到 2000 年排放量）</p>	<p>檢討修正道路照明標準降至合理範圍，並符合照明效率</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 建構便捷大眾運輸網，紓緩汽機車使用與成長 • 建構「智慧型運輸系統」，提供即時交通資訊，強化交通管理功能 • 建立人本導向，綠色運具（腳踏車與人行步道）為主之交通環境 • 推廣電動機車應用 • 推動「整車自主工業技術建立計畫」，輔導業界發展自主車型之可充電式油電車（PHEV） • 加強車輛節能創新技術研發計畫 • 計程車全面瓦斯化 	<ul style="list-style-type: none"> • 推動油電混合動力汽車獎勵推廣措施 • 鼓勵使用替代燃料運具 • 加強低污染、低油耗車輛宣導
<p>2009 年 第三次全國 能源會議</p>	<p>訂定部門節能減碳目標，並逐年檢討及調整，以最低成本規劃可行方案（全國 CO2 排放減量目標同永續能源政策綱領，並視後京都時期協議後續發展進行調整）</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 落實道路管理法規 • 通盤檢討及修訂交通法令 	<ul style="list-style-type: none"> • 發展公共運輸系統 • 建立友善自行車交通環境 • 推動共乘制度及資訊化派車系統 • 提升汽機車新車耗能標準 • 推動生質燃料 • 推動零件、系統及整車之輕量化 • 規劃「後鋰電池」之儲能技術 	<ul style="list-style-type: none"> • 推動汽燃費隨油徵收 • 提供適當措施與誘因，創造電動及燃料電池汽、機車市場 • 獎勵研發與推廣省能低碳運具 • 獎勵「後鋰電池」之儲能技術 • 各種車輛應標示油耗率、年度購油費用 • 推廣省能交通運具

資料來源：顏君聿（2009），臺灣經濟研究月刊

為依據並落實全國能源會議的結論，經濟部於 2009 年共提出了 16 項具體方案。方案中，在「推動低碳城市」計畫中，規劃未來 5 年推動 6 個低碳城市，2020 年時完成北中南東 4 個低碳生活圈，因此環保署於 2010 年成立「低碳城市遴選評決小組」，藉由專家學者之意見，透過二階段的評選：首先提出計畫構想，而後再提出完整而具體的減碳目標與計畫，並導入財務計畫及成本效益分析、未來減碳計畫及願景，包括溫室氣體管理、溫室氣體減量計畫與執行方式，以利瞭解低碳措施之環境適宜性及優先順序等。

評選階段內，國內各縣市所研提的「低碳城市規劃報告」，多分為各部門來執行，並就相關產業研擬相對應之減碳計畫。本研究另以縣市為單位，並歸納「低碳示範城市建構對象」計畫中國內各縣市運輸相關永續發展計畫之作法，如表 2-5：

表 2-5 國內各縣市運輸部門之低碳計畫

城市		運輸部門策低碳計畫
北區	基隆市	<ul style="list-style-type: none"> • 發展智慧型運輸系統 • 更新 LED 號誌 • 健全大眾運輸網絡(公車、台鐵) • 設置海博館轉運站
	台北市	<ul style="list-style-type: none"> • 推廣大眾運輸 • 促進運具低碳化：替代燃料
	新北市	<ul style="list-style-type: none"> • 自行車租借系統 • 鼓勵共乘制 • 低碳運具：電動機車千輛化
	桃園縣	<ul style="list-style-type: none"> • 建構大眾運輸路網 • 建構自行車道系統 • 推廣低碳綠色運具 • 建置即時路況資訊
	新竹縣	<ul style="list-style-type: none"> • 推廣低汙染車輛 • 推廣自行車及步行 • 鼓勵共乘制 • 推廣低碳駕駛行為
	新竹市	<ul style="list-style-type: none"> • 健全大眾運輸網 • 規劃自行車道系統 • 規劃行人徒步區 • 推動綠色交通運具 • 推廣低碳駕駛行為

續表 2-5 國內各縣市運輸部門之低碳計畫

中區	台中市	<ul style="list-style-type: none"> • 興建公車捷運系統(BRT) • 發展 TTJ 捷運公車 • 興建大眾捷運系統 • 客運業者車輛汰舊換新 • LNG 清潔車隊計畫 • 規劃自行車道系統 • 更新 LED 交通號誌
	彰化縣	<ul style="list-style-type: none"> • 建置 LED 交通號誌 • 提倡綠色交通運具
	南投縣	<ul style="list-style-type: none"> • 更新 LED 號誌 • 發展雙鐵併行 • 發展自行車道 • 發展觀光綠能遊艇、纜車系統
	雲林縣	<ul style="list-style-type: none"> • 發展 BRT 電動公車計畫、 • 轉運節點建置計畫 • 建置電動自行車路網 • 觀光農業低碳路網建置、 • 再生能源發電場示範計畫
南區	嘉義縣	<ul style="list-style-type: none"> • 發展低碳運輸觀光 • 提倡低汙染載具
	嘉義市	<ul style="list-style-type: none"> • 綠色交通(含自行車道建置、電動車城市) • 改善人行環境
	台南市	<ul style="list-style-type: none"> • 規畫停車收費差別費率 • 規劃低碳排放區
	高雄市	<ul style="list-style-type: none"> • 汰換 LED 交通號誌 • 推動綠色運具
東區	宜蘭縣	<ul style="list-style-type: none"> • 發展無縫隙接駁系統 • 發展自行車道、鼓勵共乘系統 • 發展智慧型交通控制系統 • 推廣低碳運具
	花蓮縣	<ul style="list-style-type: none"> • 建構交通串連網絡 • 自行車步道
	台東縣	<ul style="list-style-type: none"> • 更新 LED 交通號誌 • 發展綠色運具，如節能油電巴士、電動機車 • 推廣共乘制度 • 發展市區 P+R 系統

資料來源：本研究整理自「低碳示範城市建構對象」計畫資料，環保署 (2011)

藉由以上綜合整理，檢視我國各縣市運輸部門具體行動計畫。可看出我國大多數城市在追求低碳運輸目標主要採取之計畫大致可歸納為四大類：(1) 建置或加強大眾運輸系統；(2) 提升交通運具之燃料效率，抑或是替代燃料來達到減排效果；(3) 建置智慧型運輸系統，加強運輸科技；(4) 轉移私人旅次之計畫，如推廣共乘、鼓勵步行及提升自行車路權等。而從各個縣市所提出之計畫也可以看出各縣市政府在規劃低碳計畫的同時，也有加入因地制宜的地緣特性，建構適合其都市特性之低碳計畫。

2.1.3 國內外運輸計畫比較

前述章節分別歸納了世界各國以及我國的溫室氣體減量計畫。但如同前述所述，減量計畫因各國特性、國情的不同，其它國家計畫，也可能因為我國環境發展上的差異，而不適用於我國，如此一來單純相互比較實質上並無意義。因此以下本研究彙整各國減量計畫，同時描述該國目前交通特性，並探討是否適用於我國。透過具體的分析評比，將其應用於本研究，並提出適合我國以及可行的減量計畫。

人口稠密的歐洲城市因人口密度高，其都市公共運輸相較於其他地區較為發達。而我國目前大眾運輸使用率僅都會區較高，加上可及性不及先進國家之發展完整路網，因此相對來說，發展公共運輸系統有其必要性。另外，國外在其擁擠的都會區也藉由稅收來抑制私有車輛造成的擁擠。而我國近年來欲推動的汽燃費隨油徵收等抑制私有車輛計畫，符合我國運輸還環境的情況（私有車輛、機車多），應是較具有效率的作法。同時也可以配合轉移私人旅次至公共運輸旅次的計畫，如國外的推廣共乘、提倡自行車與步行代替開車等，而我國之建立友善自行車交通環境、推動共乘制度及資訊化派車系統等都是目前較為可行的計畫，決策者甚至可施以補助，提供適當的誘因令使用者的選擇行為逐漸改變。

在美國，部分地區幅員廣闊，大眾運輸使用率較不及私有車輛，與我國目前面臨的情況有所類似。國外所採取的計畫為在都會區興建公共運輸系統的同時，藉由改善能源效率、使用替代燃料、推廣低碳運具等計畫類型。而我國所提出之提升新車耗能標準、推動生質燃料、零件輕量化等計畫也同樣適用於我國非人口稠密的地區。

反觀我國，因台灣之島國特性：地狹人稠以及靠山臨海，同樣地也有較為合適我國地緣特性之低碳計畫。如我國因地狹人稠而使可及性較高的機車為國人主要運輸方式，再加上市區路網繁雜等特性，如推廣大眾運具之相關計畫就可參考歐洲相類似經驗；其次，由於都市路網密集，如路口汰換 LED 燈等科技相關計畫也屬較可行之方案；第三，配合大眾運輸之發展，提出相關抑制（推力）、鼓勵（拉力）之政策，如推廣共乘制；最後，配合台灣特有之景觀與觀光環境，發展自行車道及提升行人品質也是方案之一。

因此不論何種地理特性，決策者在計畫規劃的同時，應進行成本效益評估工作。評估低碳計畫對環境之影響，以及溫室氣體減排的效益、成本，以及其他相關影響。綜合上述分析，本研究假以國外之地緣特性及其計畫推動之經驗。提出較可能適用於我國之減碳計畫與措施方案，以提供做為未來計畫之參考。

2.2 公共建設計畫資源分配

2.2.1 公共建設計畫評選回顧

資源是有限的，如何在有限資源的情況下，分配到給需求者，並使整體的效用最佳化是一門重要的課題。例如民間企業的資金及人力分配問題：如何避免資源的閒置、生產效率最大以及成本最小化等目標。而本研究即著重在公營機關的層面。

與民間企業較不同，公營機關必須考慮到區域平衡以及城鄉差距的問題。如何在政策執行效率與縮短城鄉差距之間取得平衡是公營機關當前最優先考慮之事項。政府預算因牽涉國民全體利益，因此皆須謹慎評估，以有限的資源做最大效能的規劃，以及合理的分配方式。反之，若公共建設計畫無法有效率的分配、編列不實等等的問題缺失，則會造成國家資源浪費、國民生活水準降低以及財政負擔加重等嚴重的財政問題，可見資源分配對國家之重要性。因此，資源分配之議題不僅僅是討論「如何」去分配，更甚者，除了考量如何分配，更要去追求是否有更合理的分配方式，同時兼顧產生的計畫效益與分配的合理公平性 (Kaplan and Michael, 2002；楊駕人，2007)。

公共建設計畫就以往發展狀況，大多屬於量化模式，例如線性規劃、非線性規劃、整數規劃及動態規劃等數學規劃方法，例如 Kwak and Diminnie (1987) 利用目標規劃法來進行分配學院的預算分配問題；但這些以往的最佳化模式中，預算分配多屬於單一目標求解問題(鄧振源，2005)。事實上，多年來國內外公共建設預算分配問題缺乏一套有規則的依據，而公共建設計畫問題往往同時須兼顧多個目標等性質，如公平性與計畫效益，政府在其決策中有若干目標需要最大化，其餘則需要最小化。因此公營機關之決策問題多屬於多目標資源分配問題。

2.2.2 資源分配文獻彙整與評析

資源分配議題種類相當多，最經典的屬以背包問題 (Knapsack Problem)。Gabriel 等 (2006) 以背包問題為基礎提出預算分配模式，探討如何選擇工程的計畫組合，意即如何將計畫有效率地組合放入背包中，將總預算視為背包容量上限，並在有限預算(即背包容量)的條件下，求解最大化的總計畫價值，並得出預算分配問題為一「Project Selection」之 NP 問題。Tarek and Zayed (2004)則以公部門角度對橋樑維護工程計畫進行預算分配，並探討如何分配預算金額，是為「Budget Allocation」問題。

公共建設計畫這類問題往往具備衝突、多個目標等性質，政府在其決策中有若干目標需要最大化，其餘則需要最小化。因此公營機關之決策問題多屬於多目標資源分配問題。如 Huang 等 (2010) 提到政府最重要的問題之一是如何分配公共基礎設施項目的預算。研究結合模糊理論與包含 3 子模式之公共預算分配模式期望使預算分配更有效率。楊駕人(2009) 應用雙層規劃 (Bi-level Programming)，在國防預算有限情況下，對於人事、作業及投資三方面均衡目標發展出資源配置最適化之模式。楊有恆等 (2007) 在其研究中建構線性規劃預算分配模式，使各產業間貢獻度達到最大，並使不同產業間之滿意度落差由 40.8%降至 2.6%，使資源分配更加有效率與公平。

表 2-6 資源分配相關文獻彙整

作者與參考文獻	摘要
Kaplan and Merson (2002) ; 楊駕人(2007)	資源分配之議題不僅僅是討論「如何」去分配，更要去追求是否有更好、更合理的分配方式，兼顧產生的計畫效益與分配的合理公平性。
Kwak and Diminnie (1987)	利用目標規劃法來探討該學術機構的預算分配問題。
鄧振源 (2005) ;	以往的最佳化模式中，預算分配多屬於單一目標求解問題。
Gabriel 等 (2006)	以背包問題為基礎提出預算分配模式，探討如何選擇計畫組合。
Tarek and Zayed (2004)	公部門角度對橋樑維護工程計畫進行預算分配，並探討如何分配預算金額。
Huang 等(2010)	政府最重要的問題之一是如何分配公共基礎設施項目的預算。研究結合模糊理論期望使預算分配更有效率。
楊駕人 (2009)	應用雙層規劃 (Bi-level Programming)，在國防預算有限情況下，對於多目標做資源配置最適化。
楊有恆等 (2007)	研究中建構線性規劃預算分配模式，使各產業間貢獻度達到最大，分配更有效率。

資料來源：本研究彙整

政府機關在投入資源上為考量有限資源、達到效益標準等目標，對於資源之統籌分配議題必須加以審慎考慮。而分配資源需要有一套具客觀性、實質上之合理性的評估模式。如考量不周反而會形成資源錯置，造成無謂的浪費。

總觀資源分配問題，大多以數學規劃為主要評估模擬方式，如上述之雙層數學規劃、線性規劃等。本研究所欲探討之低碳運輸計畫之預算分配問題在本質上屬於多衝突目標之決策問題。依循實際之決策環境，預算分配由中央統籌執行，地方政府只需提出低碳計畫說明及其相關數據，最終仍由中央實行預算分配決定權，並無上下階層皆有決策權之情形。

因此本研究即利用多目標規劃法作為研究核心模式。中央決策者有最終分配權，決策大環境下分為若干個區域，各區域皆有提出若干子計畫，而多目標規劃模式即將所有子計畫及區域所分配到之預算同時考慮，並在顧及區域公平性的同時求解減碳效益最大。接下來本研究接下來即回顧多目標規劃法文獻，以作為模式建構之依據。

2.3 多目標規劃

2.3.1 多目標規劃法介紹

多目標規劃理論之研究源於 1944 年 Von Neumann 和 Morgenstern 為解決多個衝突的目標。而在 1951 年 T.C. Koopmans 提出有效向量的觀念，考量資源最有效分配之多目標問題。隨後，H.W. Kuhn 和 A.W. Tucker 在同一年推導出有效解存在的最適化條件，至此奠定了多目標規畫之研究基礎。1961 年 A. Charnes 和 W.W. Cooper 也提出了簡要討論含多個衝突目標問題的求解方式。直到 1972 年 10 月在美國南卡羅來那州 (South Carolina) 大學召開第一次多評準決策 (Multiple Criteria Decision Making; MCDM) 研討會之後，方逐漸獲得學術界重視及廣泛應用。(馮正民、邱裕鈞，2004；張乃斌，2002)

多目標規劃是一種可同時考量多個相互衝突的決策目標規劃方法。傳統單一目標最適化早已無法處理政府在投資決策單位過程中，存在多個目標相互衝突的問題 (馮正民、邱裕鈞，2004)。例如本研究探討的公平性、預算成本最小、碳排放量最少與策略減排效益最大化之多目標規劃問題，這些目標彼此間存在著互相衝突的特性。本研究將採用多目標規劃理論，以求在處理不同單位的目標之間相對的妥協解 (非劣解)。

本研究欲利用多目標規劃來解決預算分配的問題。以下即簡要介紹多目標規劃之理論與求解方法。多目標規劃屬於多評準決策法 (Multiple Criteria Decision Making, MCDM) 之一類。多評準決策主要目的是同時考量多個相衝突目標或準則的最佳化決策問題。其廣義的定義又包含四類：多目標規劃、多準則評估、多屬性效用理論以及公共選擇理論。而應用在運輸領域之議題多以多目標規劃與多準則評估最為廣泛。以下即對這兩類方法作簡介：

1. 多目標規劃 (Multi-Objective Programming, MOP)

多目標規劃的模式機制是以最佳化函數為基礎，較適用於可行方案多個且為量化資料的情形，其運算機制是以限制條件 (式) 界定可行方案範圍，而後以數學方法求得非劣解，再結合決策者的偏好資訊，最後求得妥協解 (compromise solution)。

2. 多準則評估 (Multi-Criteria Evaluation, MCE)

又稱多屬性決策 (Multi-Attribute Decision Making, MADM)，適用於有限個且已知的數個可行方案，並評選程序評估各屬性的相對重要性來進行方案的評選以決定其可行方案的優劣並排序。

如上述，廣義多評準決策 (Multiple Criteria Decision Making, MCDM) 分為多目標規劃 (MOP) 與多準則評估 (MCE) 兩大類。兩者主要的差異在於多目標規劃是以數學規劃將多個可行方案的資料量化，並建構目標式及限制式，求解後供決策者參考；而多準則評估則是在已知的有限個可行方案中，透過決策者之偏好求出權重，在其方案中評估期優劣及排序，供決策者挑選。

在現實社會中，決策者面臨之問題通常多較複雜，如交通運輸規劃問題中使用者效用最大、建設成本最小等。其應用之廣泛，只因現實生活中存在著許多目標衝突之問題。而傳統單一目標規劃之缺點為考慮不周全以及決策者對所求之解只有接受或拒絕，並無法處理在決策過程中，存在多個目標相互衝突的問題。這些目標彼此間存在著互相衝突的特性，以及目標衝突時之權衡 (trade off)。

因此，多目標規劃法為解決單一目標規畫無法解決之多目標問題，在多個目標可衡量之情況下，建構目標式和限制式，並利用數學規劃方法在許多個方案中尋求滿意解 (解集合)。換句話說，多目標規劃因在其決策過程中多個目標相互衝突之故，所以無法同時達到全目標之最佳化。由此可知，多目標規劃問題並無所謂的「最佳解」，取而代之即符合相關限制條件之非劣解 (non-inferior solution)、妥協解 (compromise solution)。

非劣解的定義為模式結果中不存在「任何其他可行解組在不犧牲某目標值的前提下使另一目標值提高」即為非劣解，或稱柏拉圖最適解、效率前緣解。如圖 2-1 之 AC 曲線。但非劣解又會因決策者偏好不同或價值觀之緣故，而有權重關係。因此，決策者的偏好以及提供時機的不同，也會影響模式的求解方式。所以更進一步再結合決策者偏好以及提供資訊之時機，求出接近於理想解之妥協解。如圖 2-1，決策者提供其偏好之效用函數 U ，與非劣解集合之切點 B 即為滿意之妥協解。

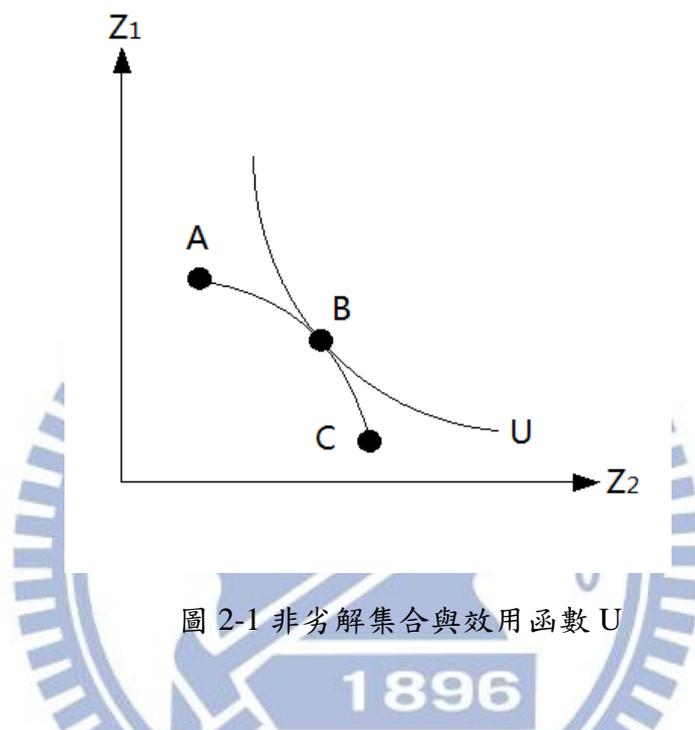


圖 2-1 非劣解集合與效用函數 U

目前多目標規劃依照延伸發展出的研究又有是否包含現實中不確定性因素之資訊而有其他整合類型之多目標規劃法的發展。傳統多目標規劃又有多目標線性規劃、多目標非線性規劃與多目標整數規劃等延伸；當加入不確定性因素後又發展出模糊多目標規劃、可能（機率）多目標規劃、灰色多目標規劃與灰色模糊性多目標規劃等。此外，近年來又有結合遺傳演算法、層級分析法等整合型多目標規劃法。

2.3.2 多目標規劃法一般式

多目標規劃模式基本上為單一目標線性規劃之擴充，其為同時處理考量二個或多個具有衝突關係之不同目標，而單一目標線性規劃只能處理一個目標。多目標規劃法亦即在有限資源之限制下，處理相互衝突之多個目標，並尋求相對較佳的解集合供決策者參考。

與單一目標規劃不同之處在於，單一目標所求之最佳解為一點（如 Max/Min 目標值）；而多目標規劃所求之解為一組解集合，或稱向量解。因此多目標規劃又稱向量最佳化(vector optimization)問題。

多目標規劃有三項組成要素：

- (1) 目標函數 $Z = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$
- (2) 決策變數 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_p\}$
- (3) 限制式 $\{g_i(x) \leq b_i, i = 1, 2, \dots, m\}$

因此，一 n 個目標、 m 個限制式以及 p 個變數之多目標規劃一般式可表為：

$$\text{Max/Min } [f_1(x), f_2(x), \dots, f_k(x)]$$

$$\text{Max/Min } [f_{k+1}(x), f_{k+2}(x), \dots, f_n(x)]$$

s.t

$$g_i(x) \leq b_i, i = 1, 2, \dots, m$$

$$X_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, p$$

其中， $f_l(x)$ 指的是第 l 個目標式， $l = 1, 2, \dots, k$ 為極大化目標， $l = k + 1, k + 2, \dots, n$ 為極小化目標式，共計 n 個目標。 X 為 p 維決策向量，即 p 個變數。而 $g_i(x)$ 指的是第 i 個限制式，共計 m 個限制條件。最終求得之解為一向量解表為：

$$Z^* = [f_1^*, f_2^*, \dots, f_n^*]$$

2.3.3 多目標規劃求解法分類

多目標規劃方法求解方法再依決策者提供偏好資訊之差異，又可分為四類：
(Hwang 等，1981；Goicoechea 等，1982；許志義，1994；馮正民等，1989；馮正民、邱裕鈞，2004)

1. 決策者無提供偏好資訊 (No Articulation)：

此種求解方法在建構模式後，決策者不須提供任何主觀之偏好資訊，純粹由規劃者根據目標函數及限制式求出滿意之妥協解。此種方法之優點為其求出之結果不受規劃者主觀偏好的影響；缺點則是由於缺乏完整偏好資訊，必須對決策者之偏好作假設，但也必須承擔假設錯誤之風險。

本求解方法如 ϵ -限制法 (ϵ -constraint Method)、整體準則法 (Global Criterion Method)、最小誤差法 (Minimum Deviation Method)、多目標單形法 (Multi-objective Simplex Method)。

2. 決策者先前提提供偏好資訊 (Prior Articulation)：

此種求解方法即決策者事前提供本身的偏好資訊，給予規劃者在求解多目標模式時之參考，因此模式所求出之解即為決策者之偏好解。此類方法的優點為求解容易、搜尋成本較低以及所得到的結果較容易被決策者接受。另外在現實決策環境下，此種求解模式，較符合實際執行情形；而缺點部分，則因偏好資訊多為主觀認知，較難求得決策者切確的價值函數 (Value Function)，抑或是當決策者本身資訊即不足，難以決定權重，受限於決策者所提供偏好資訊之完整程度。

本求解方法又可依據決策者所提供資訊型態分成兩大類型：基數資訊 (Cardinal Information) 與加入次序資訊的混合資訊 (Ordinal and Cardinal Information)。而基數資訊又可分為效用函數法 (Utility Function Method) 和限制目標法 (Bounded Objective Method)；混合資訊又可分為字典式排序法 (Lexicographic Method)、目標規劃法 (Goal Programming) 及目標達成法 (Goal Attainment Method) 等。

3. 決策者事後提供偏好資訊 (Posterior Articulation) :

此種求解方法不需要決策者提供任何偏好資訊或效用函數，完全由規劃者求出問題中之非劣解，然後事後再由決策者選擇一最符合之滿意解，因此又稱非劣解法。優點在於決策者有面對不同的非劣解有更多的選擇機會，而且不需要收集決策者的偏好資訊；缺點則為相較於其他解法計算較為複雜、現實中較為繁瑣、大規模問題難以使用本法求解，且若產生之非劣解數目太多，則可能會對決策者造成困擾導致無法選出最滿意解。

本求解方法可先利用變動方式 (假設各種偏好) 之權重法 (Weighting Method) 或變動其他目標下限值之 ε -限制法 (ε -constraint Method)、多目標簡捷法 (Multi-objective Simplex Method) 以及非劣解估計法 (Non-inferior Set Estimation Method) 等求解，然後再依決策者偏好挑出最佳解。

4. 決策者逐漸提供偏好資訊 (Progressive Articulation) :

此種求解方法為決策者對於規劃者提出目標之非劣解後，再提供其偏好資訊，而規劃者再根據其提供之資訊進行模式的修正以及再求解，直到得出決策者最滿意之妥協解為止，因此又稱互動法 (Inter-reactive Method) 或交談式多目標規劃法。此法之優點為決策者不需要提供事先的完整偏好資訊，同時也能參與實際決策並表達偏好，亦因決策者的參與，而有助於決策的執行；缺點部分，則為決策者無法保證在每個求解過程中提供正確的部分偏好資訊，同時也無法保證在一定次數的反覆過程後求得一最滿意解。

本求解方法又可依決策者在互動過程中所提供資訊型態是否為明確 (Explicit) 或隱含 (Implicit) 而分為明確式資訊權衡 (Explicit Trade-off) 及隱含式資訊權衡 (Implicit Trade-off) 兩種型態 (Hwang, 1979)。而明確式資訊權衡較具代表性的方法為季歐夫林法 (Method of Geoffrion)；隱含式資訊權衡則為逐步法 (STEM and Related Method) 為代表性。

多目標規劃求解方法，本研究即依決策者提供偏好資訊之差異，將其求解法分為四類，並整理各類之常見求解法：

表 2-7 多目標規劃求解法分類

類別	常見之求解法
決策者無提供偏好資訊 (No Articulation)	<ul style="list-style-type: none"> • ϵ-限制法 (ϵ-constraint Method) • 整體準則法 (Global Criterion Method) • 最小誤差法 (Minimum Deviation Method) • 多目標單形法 (Multi-objective Simplex Method)
決策者事先提供偏好資訊 (Prior Articulation)	基數資訊 (Cardinal Information) : <ul style="list-style-type: none"> • 效用函數法 (Utility Function Method) • 限制目標法 (Bounded Objective Method) 混合資訊 (Ordinal and Cardinal Information) : <ul style="list-style-type: none"> • 字典式排序法 (Lexicographic Method) • 目標規劃法 (Goal Programming) • 目標達成法 (Goal Attainment Method)
決策者事後提供偏好資訊 (Posterior Articulation)	<ul style="list-style-type: none"> • 權重法 (Weighting Method) • ϵ-限制法 (ϵ-constraint Method) • 多目標簡捷法 (Multi-objective Simplex Method) • 非劣解估計法 (Non-inferior Set Estimation Method)
決策者逐漸提供偏好資訊 (Progressive Articulation)	<ul style="list-style-type: none"> • 季歐夫林法 (Method of Geoffrion) • 逐步法 (STEM and Related Method)

資料來源：本研究彙整

2.3.4 多目標規劃文獻回顧

多目標線性規劃問題先前已有許多研究。其目標之間由於存在著衝突，因此某個解雖然在某目標為最佳，但也可能無法滿足其他目標，無法同時達到最佳化。因此 Pareto 在 1986 年提出多目標的非支配解 (Non-dominated solution) 的概念，亦即效率前緣解，又稱柏拉圖最適。例如馮正民等人 (1989) 在考慮交通運輸與資源利用兩互相衝突的目標之間下，導入季歐夫林求解法於其多目標整合模式 (Method of Geoffrion)，與決策者反覆交換偏好資訊，求得總交通旅行成本最小、土地總開發成本最小以及總能源消耗最小的妥協解。

隨著多目標規劃法的演進，為了克服現實問題中之不確定性，模糊理論 (fuzzy) 之應用也隨之盛行，以處理具模糊特性的多目標規劃問題。因而發展出模糊多目標線性規劃 (Fuzzy Multi-Objective Linear Programming, FMOLP)。如隸屬函數 (membership function) 的發展則提供決策者在過程中較為彈性的規劃。而因應不確定性的資訊來源，又有模糊的目標函數、模糊限制式等形式之模式。例如 Lai and Hwang (1992) 應用估計模糊係數的隸屬函數 (membership function) 以及 α 截集 (α -cut) 來處理目標函數及限制式的係數具模糊性質的多目標線性規劃，總利潤可能值之極大化、最低利潤風險的極小化以及最高利潤可能性的極大化之目標。Liang (2010) 於其研究中發展一套模糊多目標專案管理 (PM) 決策問題，所建構的模式主在追求專案總成本、總完工時間及總趕工成本三個模糊極小化目標，以求解有效率的方案。

另外，應用在環保議題方面，Anderson 等人 (2005) 利用多目標規劃配合遺傳演算法 (MOGA) 對一廢棄物焚燒廠進行三方目標的評估，分別為最大限度地提高焚燒量，同時優化經濟和環境之目標，它納入了遺傳演算法使得這三方衝突目標得以達到柏拉圖最佳解。鄭志強等人 (2004) 則提出一多目標核能廢料運送路線選擇模式，藉以處理放射性核能廢料之運送包含之潛在競爭目標的權衡 (Trade Off)，其應用模糊多目標的觀念，並利用遺傳演算法來達到風險極小化、運送成本極小化以及民眾抗拒程度極小化。

而在考慮應用在執行預算分配方面，葉康洋 (2009) 以多目標數學規劃模式，並結合投資組合理論，就各類別軍事投資建案進行審核，再進行國防預算配置規劃作業。目的為在國防預算獲得風險最小情況下，尋求作戰效益與後勤可擔負能力最大之投資建案組合方案；而 Wise and Perushek (2000) 在其圖書館收藏資源分配模式下，利用多目標規劃模式在有限總預算下維持館藏成長量、各學科出版量比例平均分配以及專款最小和最大的限制。林小萍 (1999) 則利用 AHP 與整合專家意見提出整體權重，以克服現行中小企業預算分配之缺失。Kuchta (2000) 則提出模糊等式評估，其模糊等式允許現金流量和專案期間可為模糊數，以解決

實際投資環境經營之不確定性，其後再將模糊目標函數及限制式轉換為目標函數的方法求解，求解資金預算決策的最佳化。同樣的，余如梅 (2002) 也藉由應用模糊理論，以較具彈性的方式考量專家意見，同時也因為現實中具有不確定性的現金流量與折現率，其利用模糊理論將企業經營目標與投資效益以模糊數表示使之量化後再轉換模糊目標函數及限制式為多目標規劃法求解，使在有限的資金預算內選擇最佳的投資方案。若導入本模糊理論，Teng 等人 (2010) 結合模糊理論與層級分析法 (fuzzy AHP)，將現有的建設項目劃分為高、中、低優先權重排序來區分建設項目之急迫性，並建立基礎設施項目的預算分配模式，供交通建設決策者參考。

2.3.5 多目標規劃文獻彙整評析

本節將上述之多目標規劃法文獻彙整如下表：

表 2-8 多目標規劃法文獻彙整

作者與參考文獻	方法	優缺點比較
馮正民等 (1989)	<ul style="list-style-type: none"> • 多目標規劃 	採用季歐夫林求解法，決策過程較為客觀；缺點是缺乏現實決策環境的不確定性。
Lai and Hwang (1992)	<ul style="list-style-type: none"> • 多目標規劃 • 模糊理論 	互動式模糊求解法加入決策者的價值觀，反映實際情形；缺點求解繁複限制分析。
Liang (2010)	<ul style="list-style-type: none"> • 多目標規劃 • 模糊理論 	以互動式修改模糊性及數據，所求之解較有效率；缺點為修改資訊多不完整且為假設，要適用於實際情形仍需要修改。
Anderson 等 (2005)	<ul style="list-style-type: none"> • 多目標遺傳演算法 	結合基因演算法與多目標規劃理論建立可提供決策者一組非劣勢方案；缺點是決策者需要熟悉參與過程才能有效率做選擇以及缺少質化等不確定性的考量。
鄭志強等 (2004)	<ul style="list-style-type: none"> • 模糊多目標規劃 • 遺傳演算法 	結合模糊理論與基因演算法一方面處理質化資料一方面可求得到在有限資源下之各非劣解；缺點是缺乏決策者偏好做權衡仍需做後續分析。
葉康洋 (2009)	<ul style="list-style-type: none"> • 多目標規劃法 • 投資組合理論 	結合工程經濟之投資組合理論可對於實際資源配置做有效之應用；缺點為缺乏對未來不確定性的考慮。
Wise and Perushek (2000)	<ul style="list-style-type: none"> • 目標規劃 	設定多項目標值和優先次序，以滿足可能彼此衝突的目標需求；未對其未來性之不確定性做考量，僅以定量之情況分析。

續表 2-8 多目標規劃法文獻彙整

林小萍 (1999)	<ul style="list-style-type: none"> • 層級分析法 • 多準則決策 • 模糊理論 	配合模糊層級分析可為方案做排序可應用於現實情況；缺點為權重大多為專家主觀判斷缺乏客觀衡量。
Kuchta (2000)	<ul style="list-style-type: none"> • 模糊理論 • 目標規劃 	加入模糊理論以因應現實經營之不確定性；缺點為只適用於單一專案評估。
余如梅 (2002)	<ul style="list-style-type: none"> • 模糊多目標規劃 • 預算分配 	考量了多個相衝突的目標；缺點為資金配置之模糊數僅憑專家意見，難以客觀。
Teng 等 (2010)	<ul style="list-style-type: none"> • 模糊多評準決策 • 預算分配 	利用多評準模式將計畫排序其優先次序並加入模糊表達不確定性；缺點為只適用於有限個或少數計畫方案評選，且不適用於有多個目標權衡問題。

資料來源：本研究整理

近年來，多目標規劃法逐漸成熟，其研究領域又可延伸配合多種方法論以補足在現實面，以及其他方法之缺點。傳統多目標規劃加入不確定性因素後又可發展出模糊理論、機率論、灰色理論等來應用在現實面。另外，又可以結合遺傳演算法、層級分析法等整合型多目標規劃法使所能處理之問題更為廣泛。

而多目標規劃求解方法甚多，而又因加入決策者主觀偏好資訊，無論提供偏好的時機為何，模式所求得之解皆因為無法得知真正客觀的偏好資訊或真正的價值函數，而使得無法獲得完善之非劣解，此為該方法之缺憾；另外，若配合遺傳演算法求解，雖能求得各非劣解，但非劣解各有權衡取捨，若決策者缺乏足夠資訊，往往可能陷入難以選擇之局面。

以上回顧整合型多目標規劃法，並彙整各方法之優劣，以供本研究接下來的參考與研究分析。

2.4 文獻評析

以往決策者在規劃運輸計畫的同時，成本投入及計畫所產生的價值效果之評估內容往往缺乏較客觀的量化因素，多以非量化等較為主觀評選方式來決定投入與否，在公共建設計畫領域尤甚，因此可能造成效率不彰、計畫執行與預算分配無法呼應之窘境。而也因國家資源有限，國家建設發展計畫勢在必行，因此預算分配更迫切需謹慎考慮。

再者，低碳運輸計畫為一新興發展概念，此類之公共建設計畫具有多年期、長時效等特性，預算投入時則需更加謹慎評估之，以避免不必要的浪費，造成國家財政負擔。因此，近年來國家公共建設計畫盛行先投入部分預算金額，例如電動車前導、電動大眾運具示範計畫等分期分部、逐步投入等方法，紓解資金周轉，以及降低投資風險。但以往預算分配大多僅探討選擇與否之整數規劃、背包問題等 Project Selection 組合問題或是僅探討預算分配之額度的 Budget Allocation 議題，前者只著重在計畫的選擇與否，投資風險過高；後者則僅探討分配的額度，卻也可能造成若干計畫預算配額過少無法正常運作等問題。公共建設計畫除了上述特性外，同時也具有多目標衝突等特性。例如低碳運輸計畫，中央政府在執行低碳運輸計畫的同時須兼顧到減碳計畫的執行效率及兼顧資源分配之公平性，以避免城鄉差距過大。

因此，綜合上述文獻彙整分析，本研究即導入「計畫可調整性」及「最低可執行預算規模比例」於目標規劃模式。前者「計畫可調整性」，即將傳統背包問題之離散變數改為連續變數，以提升預算投入之彈性及體現計畫分期投入的概念；後者「最低可執行預算規模比例」則因考量現實中計畫皆需最低執行成本，計畫投入不得小於該最低規模成本量，以避免計畫無法正常執行。

而模式即考量上述兩因素，建構多目標數學規劃模式以達到低碳運輸策略效益最大與縮短預算分配之差距兩目標。本研究與以往文獻中所探討之公平性衡量方法有所不同，以往研究多為縮小「分配到之資源差距（預算）」為依據。而本研究並非只考慮預算金額分配之公平性，而是同時將投入成本所帶來的效益一併列入公平性參考依據。中央決策者在分配預算時除了考慮平均地方所得到之預算，同時也依據其產出之減碳效益多寡做為投入預算前之依據參考，意即使「每區域投入之單位預算所帶來之效益」均衡，以避免真正有效率的計畫因為齊頭式的成本公平而被略過，使得預算分配更有效率。最後，考量預算限制及其他現實考量因素等其他限制式，建構一多目標計畫評選及預算分配模式。

三、研究方法

3.1 研究架構

我國環保署於「低碳示範城市建構計畫」中，寄望打造低碳城市之意象，即要求各縣市單位提出其配合該區域特色之低碳計畫。並交由中央機關進行初次篩選，而後進入最後決選之區域及其子計畫再由最後的評選模式評比選出欲投入預算之計畫種類、區域及若干子計畫。而為使中央決策單位能較為客觀，確保投入預算得以發揮最大效用、追求總減碳效益最大，避免於分配預算時資金錯置，造成不必要之浪費，因此在挑選計畫時必須審慎考慮其投入所需成本，以及該計畫所能帶來的減碳效益。因此，本研究之目的在於建構一數學規劃模式，用以在追求減碳效益最大的同時，兼地區發展公平性之預算分配方法，供現實層面上決策者參考之依據。

呈上述，本研究架構分三階段如下：

(1) 欲研究之課題：

本研究藉由回顧以往相關文獻，反思以往預算分配模式之架構及目標，而後進一步提出本研究欲探討之課題：減碳效益的衡量、公平性衡量的定義、本研究欲追求之模式目標與限制條件、欲求解之決策變數以及相關之模式假設條件。進一步發展本研究之多目標之計畫評選及分配規劃模式。

(2) 模式建構：

確立變數、投入參數及模式假設後，本階段即開始進行模式之建構。中央執行預算分配的同時，除了考慮各低碳運輸子計畫之總減碳效益最大外，也應避免預算集中在少數區域而造成區域發展失衡的現象，故在追求減碳效益最大的同時也應顧及到區域發展的「公平性」，即各區域所分配到之執行預算相對差距最小，以達到預算分配最適化及區域均衡發展之雙贏目標。

(3) 模式驗證與分析：

模式初步建構後，本研究藉由範例分析其結果及相關分析以驗證模式之可行性，而後藉由實例分析來探討這側意涵以供往後決策者之參考。

本研究之研究架構如圖 3-1 所示。

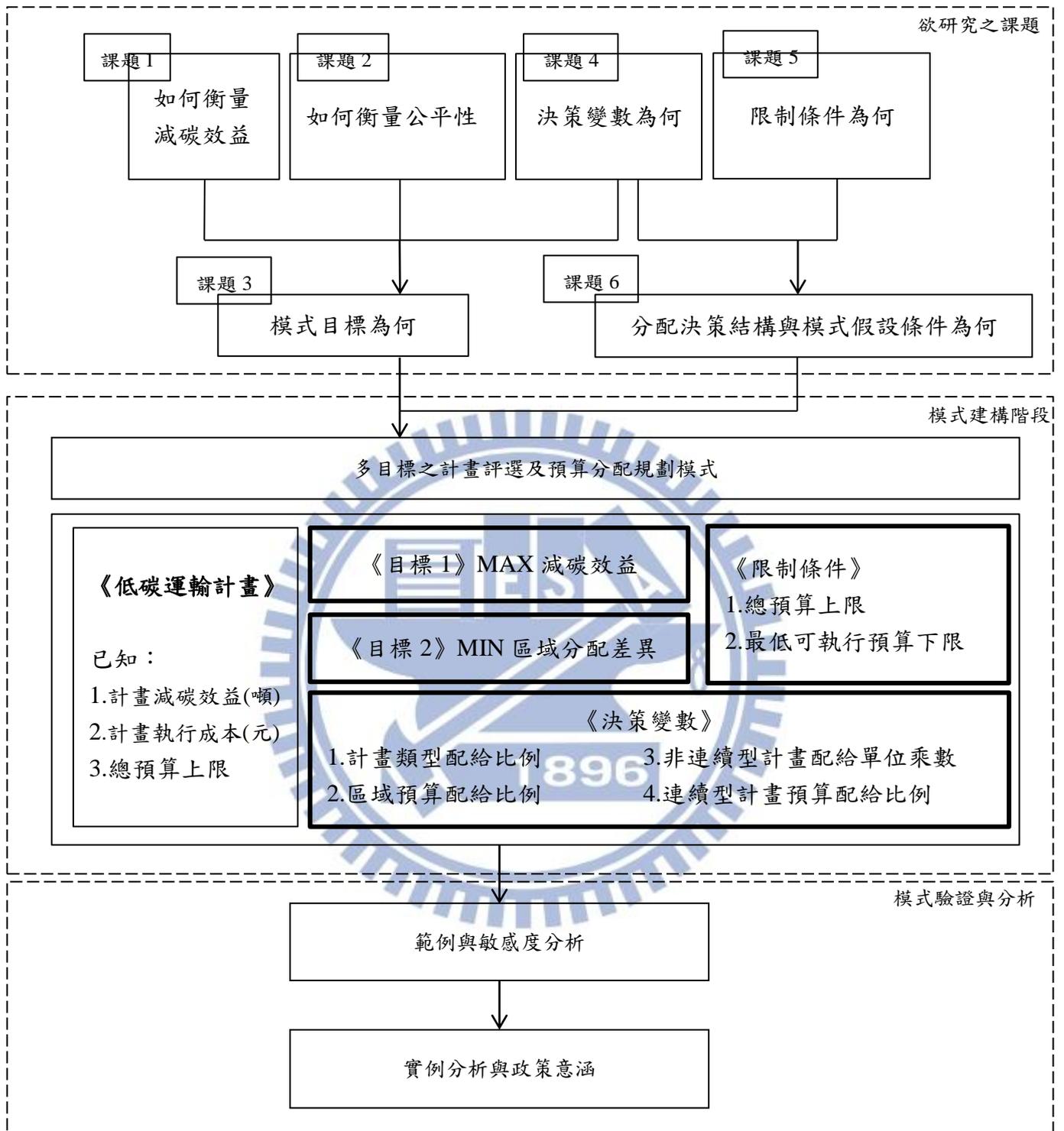


圖 3-1 研究架構

3.2 研究課題

在開始模式建構前，本研究先藉由文獻回顧歸納出之欲探討研究課題做一完整闡述。包含模式建構的決策變數、輸入參數、目標式、限制式及建構之假設條件。分別敘述如下：

(1) 課題一：如何衡量減碳效益

本研究欲探討之範疇界定於環保署提出之「低碳城市建構計畫」中低碳運輸之範疇部分。中央決策機關投入預算於各低碳運輸計畫中，雀屏中選的低碳運輸計畫則產生相對應的減碳效益，而本研究之模式運作即是將各分配到低碳運輸產生效益總和極大化，做為本模式「減碳效益目標式」。

(2) 課題二：如何衡量公平性

回顧以往文獻中，大多數資源分配所探討之公平性衡量方法多為分配到之資源間的差距，本研究即依循此概念，發展公平性目標式。但與以往追求分配到的預算公平不同，本研究並非只考慮預算金額分配之公平性，而是同時將投入成本所帶來的效益一併列入公平性參考依據，發揮能者多勞的概念，中央決策者在分配預算時除了考慮平均地方所得到之預算，同時也依據其投入後產出之減碳效益多寡做為投入預算前之依據參考，意即使「每區域投入之一單位預算所帶來之效益」平衡，以避免真正有效率的預算因為齊頭式的成本公平而被略過，使得預算分配更有效率。

(3) 課題三：模式目標為何

呈課題一與課題二，本研究即站在中央決策者的觀點，探討如何同時兼顧減碳效益最大化及分配公平性差距最小之預算分配方式，因此本研究即建構一同時追求「減碳效益極大化」及「區域分配差異極小化」之多目標多目標計畫評選及預算分配模式。

(4) 課題四：決策變數為何

本研究欲了解分析在追求目標式與限制條件下，模式執行預算分配後之配給情形，因此決策變數有以下：

1. 計畫類型配給比例：政府欲重視投資的計畫類型配額比例；
2. 區域預算配給比例：各區域分配到之預算配額比例；

3. 非連續型計畫配給單位乘數：「非連續型計畫」類型預算投入增加幅度須有一固定規模比例，適用於有「不可分割性資產」的計畫。例如購買低碳運具等計畫，一輛運具相當於一「定量」投入，此種類型計畫投入須為「倍數」。
4. 連續型計畫預算配給：連續型子計畫之投入不一定是固定量，具有可依比例調整性、可依比例變動性。即投入一定量可產出相對應的量，例如推動宣導等無固定規模資產計畫。

(5) 課題五：限制條件為何

本研究所欲探討之問題為在有限預算下如何極大化減碳效益的分配政府預算，同時兼顧公平性與考慮最低可執行預算比例等限制。因此限制式有以下：

1. 總預算限制：限制條件為各區域分配到之預算款項不得超越政府總預算上限；
2. 各計畫之最低可執行預算比例：現實環境下，計畫之執行成本需達到一定規模才得以正常執行，即所謂「最低執行成本」。設此限制條件以確保各低碳運輸計畫之投入達到最低執行成本以正常執行。

(6) 課題六：分配決策架構與模式假設條件

本研究即依據圖 3-2 環保署「低碳示範城市建構計畫」之現實決策環境，闡述本研究所提出之區域均衡發展預算分配模式之研究範疇及概念。

情境中由上而下（中央到地方）的分配「架構」是現實中實際的分配方式，但現實中之分配方法為整數規劃，類似背包問題之應用。而本研究為改善過去此種較無效率分配方法，因此更新發展一套預算分配模式以改善過往模式的問題。以本研究為例，是以現在的情境做未來的決策。

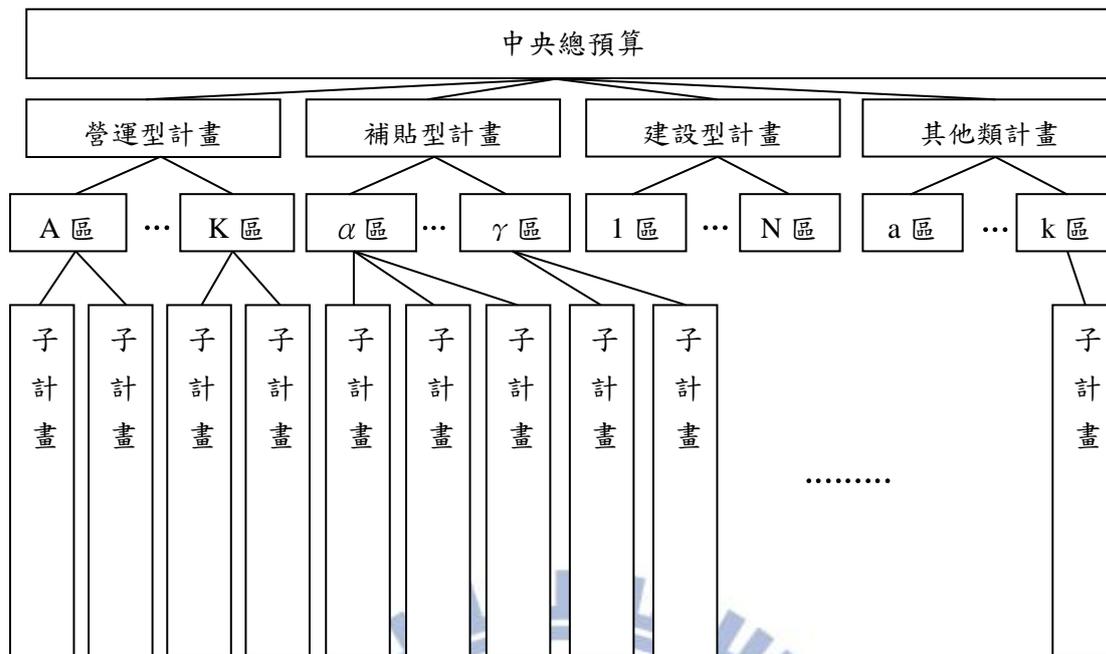


圖 3-2 分配決策架構圖

在建構預算分配模式，主要由中央決策機關（環保署）執行預算分配動作。而現實環境中又如經常門、資本門等資金運用方式的不同而又將不同種類之低碳計畫分門別類。因此，本研究假設：中央機關首先決定計畫種類 k 投入比例，為已知，再來依序決定各計畫種類下各區域之間、各子計畫分配到之預算。由於本研究建構之模式並無涉獵到政府計畫種類之間調配資金的議題，因此本研究不對此範圍作深入討論。只探討各計畫種類之下的預算分配問題。

總歸上述課題，為了同時達到減碳效益最大與分配之公平性目標，本研究擬採用多目標規劃法來作為分析方法之依據。而本研究也欲利用多目標規劃模式以探討以下議題：

1. 同時追求減碳效益極大化與預算分配差距極小化之模式。
2. 計畫投入預算方式不同時，反映在分配結果之差異性。如公平性目標與否對分配結果之差異性。
3. 考慮計畫可調整性與最低可執行預算比例之要素，以增加模式之真實度。。

3.3 模式建構

本研究接著即進行模式建構，並考慮上述歸納整理後之各研究課題，發展多目標之計畫評選及預算分配規劃模式。本研究所建構之模式執行架構如圖 3-3 所示。

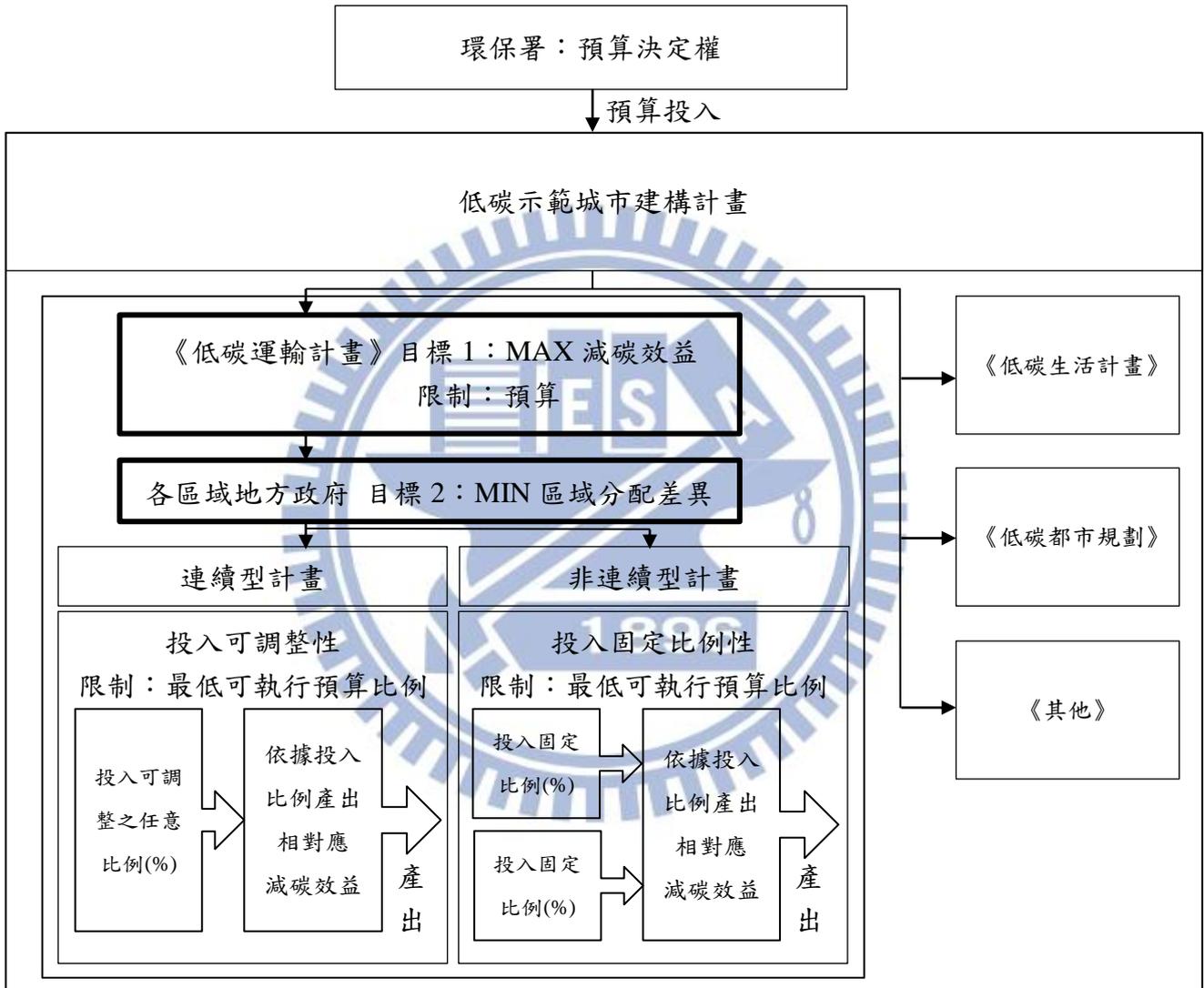


圖 3-3 模式執行架構圖

預算分配決定權由中央機關，即環保署執行。中央機關主持「低碳示範城市建構計畫」整個計畫與預算投入，而其中本研究之範疇為探討低碳運輸計畫的分配問題。

中央機關希望低碳運輸計畫所達到的減碳效益為最大，同時為了平衡城鄉發展，因此在追求減碳效益最大的同時也應盡量縮短其投入給各區域地方政府預算之差距，旨在追求分配之公平性。而各區域提出之低碳運輸計畫數量不盡相同，又可分為兩種：連續型與非連續型計畫。連續型計畫投入屬於「可變動性」，意即投入之預算可以任意調整，不一定是固定量，例如推動宣導、加強管理等無固定規模資產計畫；非連續型計畫投入則具「固定比例性」，預算投入增加幅度須有一固定規模比例，適用在購置低碳公車等實質資產計畫。而為能正常執行計畫，每種計畫皆需投入一定規模預算，因此有最低可執行預算比例，且其產出都依據最後所得到之資金投入，產出相對應之減碳效益。而中央機關即在上述各種條件下找出符合其目標的分配決策結果。

3.3.1 模式假設

在將現實層面問題化為數學模式前，需要明確的定義與假設。本研究即將上層決策者中央機關設定為預算分配總執行，各區域為爭取中央預算而提出配合該地區之低碳運輸計畫，中央決策者最終目的在於追求減碳效益最大化，以及分配之公平性，即各區域分配到之執行預算相對差距最小。因此，在建構模式前，本研逐提出幾項假設：

1. 中央決策機關將低碳運輸計畫分成 k 種類型，每種計畫分配比例 t^k 皆由中央機關事先決定。
2. 每種計畫類型下涵蓋有數個區域，每個區域內有若干符合該區域未來減碳發展目標之子計畫。
3. 各子計畫減碳效益及預算兩者為正相關，即投入預算越多，產出減碳效益亦隨之增加。
4. 各計畫之成本與減碳效益規模報酬固定。
5. 假設各計畫間相互獨立。

6. 子計畫類型分兩種，以下為其定義：
- i. 連續型子計畫：即該計畫之投入不一定是固定量，具有可依比例調整性、可依比例變動性。即投入一定量可產出相對應的量，例如推動宣導等無固定規模資產計畫。
 - ii. 非連續型子計畫：與連續型子計畫做區別，此種計畫類型預算投入增加幅度須有一固定規模比例，適用於有「不可分割性資產」的計畫。例如購買低碳運具等計畫，一輛運具相當於一「定量」投入，此種類型計畫投入須為「倍數」。而後本研究即將非連續型投入設定為乘數型變數。
7. 本研究之探討範疇僅限於決選階段，且進入決選之低碳計畫皆只針對減碳效益來論述，即低碳計畫不具有加碳之負效益。
8. 為使投入預算具一定規模，每個子計畫有「最低可執行預算比例」。意即該計畫投入必須達到一定標準，否則該計畫將不入選也不投入預算。
9. 呈第五點，為避免投入預算於子計畫未達到可執行規模，因此假設預算不須用盡。

3.3.2 模式符號說明

根據上述問題闡述，本研究先定義模式範疇內之集合符號與輸入參數，分別如下列表格所示。

表 3-1 模式集合符號說明

符號	定義
k	計畫類型 k 。 $k \in K$ ， $K = \{1, 2, \dots, k\}$
i	區域 i 。 $i \in I$ ， $I = \{1, 2, \dots, i\}$
j	區域 i 下之非連續型計畫 j 。 $i \in I$ ， $I = \{1, 2, \dots, i\}$ ； $j \in J$ ， $J = \{1, 2, \dots, j\}$
j'	區域 i 下之連續型計畫 j' 。 $i \in I$ ， $I = \{1, 2, \dots, i\}$ ； $j' \in J'$ ， $J' = \{1', 2', \dots, j'\}$

表 3-2 模式參數說明

符號	定義
C	中央總預算
n	區域數。
C_{ij}^k	計畫類型 k 中，區域 i 內非連續型計畫 j 執行所需成本。
$C_{ij'}^k$	計畫類型 k 中，區域 i 內連續型計畫 j' 執行所需成本。
d_{ij}^k	計畫類型 k 中，區域 i 內非連續型計畫 j 每多一單位投入增額之比例。
E_{ij}^k	計畫類型 k 中，區域 i 內非連續型計畫 j 所產生之減碳量/減碳效益。
$E_{ij'}^k$	計畫類型 k 中，區域 i 內連續型計畫 j' 所產生之減碳量/減碳效益。
L_{ij}^k	計畫類型 k 中，區域 i 內非連續型計畫 j 最低可執行預算比例。
$L_{ij'}^k$	計畫類型 k 中，區域 i 內連續型計畫 j' 最低可執行預算比例。

表 3-3 模式決策變數說明

符號	定義
t^k	計畫類型 k 之分配比例。計畫類型配給比例。
r_i^k	計畫類型 k 中，區域 i 最終所分配到之預算比例。 區域預算配給比例。
$r_{ij'}^k$	計畫類型 k 中，區域 i 內連續型計畫 j' 最終所分配到之比例。 連續型計畫預算配給比例
z_{ij}^k	計畫類型 k 中，區域 i 內非連續型計畫 j 最終所分配到之預算比例乘數 (非負整數)。非連續型計畫配給單位乘數。

3.3.3 預算分配規劃模式建構

本研究以下即以循序漸進說明所建構之模式：本研究首先從最基本的模式，整數規劃(Integer Programming, IP) 之應用背包問題談起，做為本研究模式之基礎。

第二模式加入考慮預算可調整性，將計畫分成連續型計畫及非連續型計畫，是為混合整數規劃 (Mixed Integer Programming, MIP)。

第三模式加入公平性目標式、區域預算配給比例等參數以及最低可執行預算比例。以表現除了考慮成本分配之公平性外，也顧及投入預算後計畫產出的效益，以追求區域分配實質上之公平性與效益極大化之雙目標規劃模式。是為一多目標混合整數非線性規劃問題 (Multi Objective Mixed Integer Nonlinear Programming, MOMINLP) 的求解問題。

(一)第一模式：基本背包問題

一般而言，大多數預算分配模式為求計畫之完整性，執行計畫必須為全部投入或者全盤放棄，屬於「非零即一」的規劃方式。每個計畫皆有執行所需預算成本以及所產出的效益，而中央決策者於挑選計畫並投入的過程中並無法決定該計畫投入多寡。

本研究之問題可以應用於典型整數背包規劃問題：每個物品皆有一定的重量及價值，並且在總重量限制條件下，探討何種組合能帶來最高價值，屬於組合最佳化的線性規劃問題。套用到本研究之情境中，即將問題轉化成：在不考慮區域平衡目標、以及忽略區域之條件下，每個子計畫皆有自己的執行成本、執行後產出的減碳效益，如何在中央機關投入之總預算有限的情況下，達到減碳效益最大，使資金能被妥善利用。

本研究之基礎背包問題並未考慮到區域分配公平性，因此基本模式架構為由中央機關直接選擇低碳運輸計畫並投入預算，而忽略區域相關變數。並且假設每個低碳運輸計畫之投入成本與產出減碳效益為正比線性關係。

首先，依據「低碳城市建構計畫」之終極目標，即中央機關欲追求減碳效益最大，同時受到預算有限的限制下，本研究即將減碳效益目標式定義如下：

$$\text{MAX} \sum_i \sum_j \sum_k x_{ij}^k \cdot E_{ij}^k + \sum_i \sum_{j'} \sum_k x_{ij'}^k \cdot E_{ij'}^k \quad (4-1)$$

式 (4-1) 表示計畫類型 k 區域 i 中，被選中之非連續型計畫及連續型計畫之減碳效益加總，而後追求其減碳效益最大化。

預算限制式部分：

$$\sum_i \sum_j \sum_k x_{ij}^k \cdot C_{ij}^k + \sum_i \sum_{j'} \sum_k x_{ij'}^k \cdot C_{ij'}^k \leq C \quad (4-2)$$

式 (4-2) 表示計畫類型 k 區域 i 中，被選中之非連續型計畫及連續型計畫之執行成本總和不得超過中央機關配給總預算。

$$x_{ij}^k, x_{ij'}^k \in \{0, 1\} \quad (4-3)$$

式 (4-3) 為決策變數限制：計畫投入預算限制為 0-1 變數。代表選擇計畫與否。

本模式是以背包問題為基礎而加以延伸。事實上，現實中 0-1 整數規劃往往無法有彈性的分配預算，可能會造成因剩餘的資金無法再投入任何一項未被選中之計畫、無法完全將預算用罄的情況，而造成產出之減碳效益較無效率。為解決此問題，因此本研究即對背包整數基本模式提出變數上的改良，提高預算之使用率。

(二)第二模式：考慮計畫可調整性之要素

不同於前一模式之 0-1 決策變數：選擇與否，代表計畫必須投入全部成本。此模式假設計畫不須全部投入。換言之，計畫比例不再是 0-1 整數變數，而是將計畫根據投入預算方式的不同分成連續型計畫與非連續型計畫，藉由將分配方式修正為可變動之比例，使預算可以任調整分配。

因此接下來即對基本背包模式進行第一步修正，即考慮連續型計畫與非連續型計畫投入預算的方式不同，而將變數稍作修正：此模式情境與前述之背包整數基本模式並無太多相異之處，模式結構大致相同。唯本研究將 0-1 決策變數

$x_{ij}^k, x_{ij'}^k$ 置換為比例變數 $z_{ij}^k, r_{ij'}^k$ ，前者為非連續型計畫配給單位乘數；後者則為連續型計畫預算配給比例。因此可再將目標式改寫如下式 (4-4)：

$$MAX \sum_i \sum_j \sum_k (z_{ij}^k \cdot d_{ij}^k) \cdot E_{ij}^k + \sum_i \sum_{j'} \sum_k r_{ij'}^k \cdot E_{ij'}^k \quad (4-4)$$

式 (4-4) 中，表示計畫類型 k 區域 i 中，被選中之計畫即由中央投入成本預算比例，而產出之減碳效益在前述假設中假設與預算成線性正比關係，因此該計畫獲得多少比例預算，及相對可產出多少減碳效益。 z_{ij}^k 為非連續型計畫配給單位乘數，為正整數之決策變數，而欲輸入之參數 d_{ij}^k 則為每一單位增額之比例， $z_{ij}^k \cdot d_{ij}^k$ 則代表該非連續型計畫投入多少單位的增額比例。因非連續型計畫投入具「固定比例性」，預算投入增加幅度須有一固定規模比例，適用在購置低碳公車等具有實質上「不可分割性資產」的計畫，例如每增購一部低碳公車必須將該計畫投入比例增加 0.2，購置兩部則增加 0.4 以此類推。

同樣呈上述，預算調整基本模式的預算限制式部分：

$$\sum_i \sum_j \sum_k (z_{ij}^k \cdot d_{ij}^k) \cdot C_{ij}^k + \sum_i \sum_{j'} \sum_k r_{ij'}^k \cdot C_{ij'}^k \leq C \quad (4-5)$$

式 (4-5) 依循前述情境置換為比例變數 z_{ij}^k 、 $r_{ij'}^k$ 。代表計畫類型 k 區域 i 中各計畫所分配到之預算總合不得超過中央配給總預算。

$$r_{ij'}^k \in [0, 1] \quad (4-6)$$

$$z_{ij}^k \cdot d_{ij}^k \leq 1 ; \text{ for } i, j, k \quad (4-7)$$

$$z_{ij}^k \in \{0, 1, 2, \dots\} \quad (4-8)$$

式 (4-6) 為計畫類型 k 中，區域 i 內連續型計畫 j' 之決策變數限制：計畫投入預算限制不再是 0-1 變數。而是改採介於 0 至 1 之間之比例變數。(4-8) 式則為將計畫類型 k 中，區域 i 內非連續型計畫 j 之投入之單位乘數限制為正整數。如 (4-7) 式所示，該非連續型計畫投入多少單位的增額比例： $z_{ij}^k \cdot d_{ij}^k$ 則不得超過 1，因為計畫之投入比例不得超過 1。

本研究在第二模式中，試圖藉由決策變數性質的改變，提高預算分配時預算投入之效率及合理性。一般而言，現實層面的決策者在有預算限制情況下，盡可能將預算用罄，以增加產出效率。

以上兩模式屬於單一目標決策模式，只考慮如何使減碳效益最大化，大多適用於盡可能提高產能的民間企業，但在政府機關，為謀求全民之福祉，除了提高其減碳效益外，對於區域均衡發展，也就是社會公平性，更是一個需要謹慎思量的問題。上述兩情境模式雖然盡可提高減碳效益產能，卻未考慮到區域之間的公平性。因此，本研究在接下來即依循第二模式建構之模式為基底並加以延伸，加入「區域公平性」目標式，建立多目標規劃模式，在追求減碳效益的同時，盡可能減少區域之間預算分配之差異性。

(三)第三模式：考慮公平性目標以及最低可執行預算比例

本研究主要欲探討之問題為如何在追求各低碳運輸子計畫之總減碳效益最大的同時，為避免預算過於集中而造成區域分配不均，顧及到區域發展的「公平性」。與前述兩模式比較，接下來的模式須考慮增加下列幾項假設：

1. 上述兩基本模式未考慮公平性目標，不須考慮區域相關變數；而接下來兩種延伸模式因欲探討區域分配之公平性，而將區域相關變數列入模式考慮。
2. 各區域無預算分配權，分配權由中央機關決定。
3. 在預算限制條件上，因將區域相關變數列入模式考慮，中央政府在選擇計畫的過程，得先將預算分配給各區域，而後再由各區域分配給其區域內入選之子計畫。
4. 為避免受公平性目標式之影響，結果使某些低碳運輸計畫只投入少量預算，造成無法正常運作等不符合現實之情況發生，因此，每個子計畫皆有最低可執行預算比例。即未達到一定可執行規模而放棄該低碳計畫。且預算不須用罄。

在前兩模式模式中，僅單一目標式為追求減碳效益最大化，本階段模式始加入第二個目標式，希望平衡投入各區域的分配差異。

各區域間之差異在於城鄉發展程度不同，社經背景條件也會影響該區域提出之計畫優劣關係。因此當減碳效益最大化目標會將資源集中在發展程度較高/較容易獲得充裕預算之區域，但中央決策者考慮城鄉均衡發展時，因能力相對落後之區域所提出之計畫減碳效果相對較差，當政策須考慮公平性時，分配成本會轉移至減碳能力相對較劣勢之區域，就會造成投入相同成本，減碳效益卻降低的衝突情形。

以數學觀點來說，當模式只追求減碳效益目標式時，預算會分配到減碳能力較優良之區域，造成分配失衡。若只注重第二目標式公平性作用之結果，則會造成預算分配較為均衡，卻也犧牲減碳效益。因此若注重減碳效益，則模式無法兼顧公平；反之亦然。

本研究與以往文獻之探討公平性不同，並非單純以分配到之資源做為一衡量依據。因考慮到成本公平未必產出效率也公平，例如區域發展較完整之地區因減碳體質較優良，發展較落後之地區則較為劣勢，使得分配到之預算雖然相同，但也犧牲了些許減碳效益卻無法追求最大化。為避免只考慮成本公平而忽略了其所一併帶來的減碳效益，因此本模式之修改重點在於：並非只考慮「成本」分配之公平性，而應將投入之成本所帶來的效益一併列入公平性參考依據。如此一來，中央決策者在分配預算時除了考慮平均地方所得到之預算，同時也依據其投入後產出之減碳效益多寡做為投入預算前之依據參考，使得預算分配更有效率。

而如何去修改並定義所謂的「同時考慮平衡地區得到之預算與其投入後產出之減碳效益多寡」之公平目標式，本研究於第一減碳效益最大目標式只談論將效益最大化，而在此模式加入第二目標式需同時考慮低碳計畫之成本與其帶來之減碳效益。因此，此情境之兩目標相互之間有所衝突，一方面需要在成本限制下使減碳效益最大，一方面又必須顧及效益與成本分配之間的公平性。而本研究之措施為將第二個目標式加入各區域最後通過決選之減碳計畫的總效益除以總成本，並求取其變異數最小的方式來呈現，如下所示：

區域間預算分配差距 =

$$\sum_{\text{區域}} \left[\frac{\text{各區域總產出之減碳效益}}{\text{各區域分配到之預算成本}} - \frac{\text{平均總產出之減碳效益}}{\text{平均各區之預算成本}} \right]^2 \quad (4-9)$$

(4-9) 式為此本模式第二目標式之概念，目的是為了使每個區域「投入成本所對應之產出效益與該區域獲得之預算成本」趨近一致。意即中央決策者在分配預算時，希望平衡各區域之間預算的使用效率。如此設計之用意，在於希望每一份資金的運用都能公平，避免發生因減碳體制優劣的差異而造成成本上分配的不均。因此，分配到預算較多的區域，所帶來的減碳效益相對也要比其他較少預算之區域多，如此一來，也能使減碳體質較優良之區域發揮其最大功效，而減碳體質較劣勢之區域也不會因為發展不及其他區域而無法取得預算。

由於公平性目標式是依據「區域之間」之分配差異做為衡量標準，因此在本模式中，變數新加入與區域相關之變數 t^k 及 r_i^k 。因此分配階層變為先決定類型投入比例 t^k ，接著是區域投入比例 r_i^k ，最後再決定計畫投入比例變數。多考慮決策變數 r_i^k ：代表在計畫類型k中，i區域之分配比例，即區域預算配給比例。再者，前述模式假設以及研究課題中提到，本研究範圍無涉獵到政府計畫種類之間調配資金的議題，因此本研究不對計畫種類範圍作深入討論，只探討各計畫種類之下的預算分配問題。因此在研究課題中，雖然計畫種類分配比例 t^k 為決策變數可求，但本研究即先假設由中央決策者事先決定，視該時期中央政府該時期欲強調發展之計畫類型而定。

藉由以上之假設，本研究之第三階段模式之減碳效益目標式如下：

$$MAX \sum_i \sum_j \sum_k \frac{C \cdot R_{ij}^k}{C_{ij}^k} \cdot E_{ij}^k + \sum_i \sum_{j'} \sum_k \frac{C \cdot R_{ij'}^k}{C_{ij'}^k} \cdot E_{ij'}^k \quad (4-10)$$

$$R_{ij}^k = t^k \cdot r_i^k \cdot (z_{ij}^k \cdot d_{ij}^k) \quad (4-11)$$

$$R_{ij'}^k = t^k \cdot r_i^k \cdot r_{ij'}^k \quad (4-12)$$

(4-10) 式代表計畫類型k區域i中，計畫投入多少成本預算比例，依照線性正比關係即可產出相對應量之減碳效益，而後將其非連續型及連續型減碳效益加總並使其最大化。而(4-10)式中 $C \cdot R_{ij}^k$ 與 $C \cdot R_{ij'}^k$ ，則代表計畫類型k區域i下，該低碳子計畫最終分配到之成本。而 $\frac{C \cdot R_{ij}^k}{C_{ij}^k}$ 代表計畫被執行比例。其中 R_{ij}^k 、 $R_{ij'}^k$ ，如(4-11)、(4-12)所示。 R_{ij}^k 之意義為計畫類型k區域i下，該低碳子計畫最終分配到之成本比例，為各階層之分配比例相乘。

所以本研究在目標式 (4-10) 中先將所有非連續型及連續型低碳子計畫所分配到之預算 $C \cdot R_{ij}^k$ 、 $C \cdot R_{ij'}^k$ ，除以該計畫之所需執行成本 C_{ij}^k 、 $C_{ij'}^k$ ，求得該計畫被執行比例，而後減碳效益則依線性正比關係產出相對減碳效益。

接著，為追求區域公平性目標，本研究即依據 (4-9) 式將公平性目標式定義為：

$$MIN \sum_i \left[\frac{\sum_j \frac{C \cdot R_{ij}^k}{C_{ij}^k} \cdot E_{ij}^k + \sum_{j'} \frac{C \cdot R_{ij'}^k}{C_{ij'}^k} \cdot E_{ij'}^k}{C \cdot r_i^k} - \frac{(\sum_i \sum_j \frac{C \cdot R_{ij}^k}{C_{ij}^k} \cdot E_{ij}^k + \sum_i \sum_{j'} \frac{C \cdot R_{ij'}^k}{C_{ij'}^k} \cdot E_{ij'}^k) / n}{\sum_i C \cdot r_i^k / n} \right]^2 \quad (4-13)$$

(4-13) 式表示各區域之每單位投入成本所對應之產出效益與各區域平均單位投入成本所對應之產出效益之差距取變異數，並使其變異最小，目的在於縮短各區域之間分配之差異。

限制式部分，首先為預算限制，又可分為兩式如下：

$$\sum_i \sum_k t^k \cdot r_i^k \leq 1 \quad (4-14)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_k (z_{ij}^k \cdot d_{ij}^k) \cdot C_{ij}^k + \sum_i \sum_{j'} \sum_k r_{ij'}^k \cdot C_{ij'}^k = 1 \quad (4-15)$$

在預算限制條件上，此情境模式因為考慮到區域相關變數，中央政府在選擇計畫的過程，得先將預算分配給各區域，而後再由各區域分配給其區域內入選之子計畫。而 (4-14) 式代表當中央機關分配給第 k 種計畫類型之下各區域 i 的預算總合不得超過中央分配統籌預算，因為根據前述假設每個低碳計畫最低執行比例，即未達到一定規模而放棄該低碳計畫，因此必須假設預算不須分完。(4-15) 式則代表當區域接收中央政府配給預算後，統一發放給該區域旗下各低碳子計畫，而又因為假設分配權由中央機關決定，各區域無預算分配權，因此每個低碳計畫所得到之成本不得多於或少於中央分配之款項。

呈上及先前假設，為避免受到公平性目標式加入之影響，結果使某些低碳運輸計畫只投入少量預算，造成雖有投入卻無法執行計畫等與現實情況不符之情況發生，因此，本研究即限制每個子計畫皆有最低可執行預算比例。即計畫被執行比例配 $\frac{C \cdot R_{ij}^k}{C_{ij}^k}$ 未達到一定可執行規模，為避免浪費而放棄該低碳計畫。而最低可執行預算比例限制如下：

$$\frac{C \cdot R_{ij}^k}{C_{ij}^k} = \begin{cases} \frac{C \cdot R_{ij}^k}{C_{ij}^k}, & \text{if } 1 \geq \frac{C \cdot R_{ij}^k}{C_{ij}^k} \geq L_{ij}^k; \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4-16)$$

$$\frac{C \cdot R_{ij'}^k}{C_{ij'}^k} = \begin{cases} \frac{C \cdot R_{ij'}^k}{C_{ij'}^k}, & \text{if } 1 \geq \frac{C \cdot R_{ij'}^k}{C_{ij'}^k} \geq L_{ij'}^k; \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4-17)$$

(4-16) 式代表計畫類型 k 區域 i 下，非連續型低碳計畫 j 之若未超過最低可執行預算比例 L_{ij}^k 時，即該計畫不投入任何預算；相同地，(4-17) 式則代表計畫類型 k 區域 i 下，連續型低碳計畫 j' 未超過 $L_{ij'}^k$ 時不投入任何預算，以避免造成無法執行計畫與現實情況不符之現象。

$$r_i^k \leq 1 \quad (4-18)$$

$$z_{ij}^k \cdot d_{ij}^k \leq 1; \text{ for } i, j, k \quad (4-19)$$

$$r_{ij'}^k \in [0, 1] \quad (4-20)$$

$$z_{ij}^k \in \{0, 1, 2, \dots\} \quad (4-21)$$

(4-18) 至 (4-21) 為此模式之決策變數即非負限制式。(4-18) 代表各區域所分配之比例不得超過 1；(4-19) 則表示非連續型計畫投入多少單位的增額比例不得超過 1；(4-20) 與 (4-21) 則分別為連續型計畫決策變數與非連續型計畫決策變數之限制。

第三階段模式建構藉由令每區域「投入成本所對應之產出效益與該區域獲得之預算成本」差距極小化，及求取其變異數，縮短各區域之間預算分配的差異。本研究之模式建構即逐以經典背包問題為基礎；第二模式稍作改良修正。並加入考慮預算可調整性，將計畫分成連續即非連續計畫，並分別設置不同投入方式；第三模式最後即加入公平性目標式、計畫類型配給比例以及區域預算配給比例。期望發展一多目標之計畫評選及預算分配規劃模式。

接下來，本研究即設計簡單輸入變數，利用簡例來驗證並測試其上述四種情境模式，以比較其模式結果並做更進一步分析與探討。



四、範例分析

為驗證及分析本研究建構之模式，接下來本研究即設計簡易參數範例，以驗證本研究提出模式之合理性。

本研究利用 LINGO12.0 軟體求解。並依據範例，本研究之模式為一多目標混合整數非線性規劃 MOMINLP 問題，藉由軟體內建 Global Solver 作全域搜尋引擎與運算求解。模式求解至收斂 (until no further improvement then stop)，由 LINGO 提供一參考解。而後藉由模式之產出結果做進一步的分析與探討不同模式情境及決策方式下分配結果的差異性。本研究將設計在不同預算情境下之範例，並分析比較各預算情境之結果與分析探討。因此，本研究為驗證模式，接下來即針對本研究之問題架構設計範例。

4.1 範例情境設計

本研究設計之簡例依據圖 4-1 決策流程圖，將範圍劃定於某一種計畫類型下。假設中央決策者有一筆預算要投入該低碳城市建構計畫專案，計畫分配比例 t^k 為已知，即中央事前決定於計畫類型 k 投入 280 百萬元、400 百萬元、520 百萬元單位，在其計畫類型 k 下，存在三個區域編號為 1st、2nd、3rd，且各自提出低碳計畫而最後進入決選，三個區域計畫數分別為三、四、二個，而其每個區域之低碳計畫又依照連續型及非連續型分類。簡例結構圖如下：



圖 4-1 範例結構圖

圖 4-1 中，本研究於模式假設部分為因應計畫類型的不同而預算運用方式可能也不同，因此將計畫分配比例 t^k 設為已知，即中央決策者在事前決定該類型 k 需投入多少比例，而在該類型下有三個區域，每個區域下連續型計畫 / 非連續型計畫為：2/1、2/2、1/1。

本簡例情境設計之集合符號如下表：

表 4-1 範例集合符號說明

符號	定義與數值
k	計畫類型 k 。 $k \in K$ ， $K = \{k\}$
i	區域 i 。 $i \in I$ ， $I = \{1, 2, 3\}$
j	區域 i 下之非連續型計畫 j 。 $i \in I$ ， $I = \{1, 2, 3\}$ ； $j \in J$ 。 $i = 1$ for $J = \{1\}$ ； $i = 2$ for $J = \{1, 2\}$ ； $i = 3$ for $J = \{1\}$
j'	區域 i 下之連續型計畫 j' 。 $i \in I$ ， $I = \{1, 2, 3\}$ ； $j' \in J'$ 。 $i = 1$ for $J' = \{1, 2\}$ ； $i = 2$ for $J' = \{1, 2\}$ ； $i = 3$ for $J' = \{1\}$

本研究設計之範例中計畫種類假設只有一種 k ；區域 i 有三種，分別為 1、2、3；區域 i 下之非連續型計畫 j 由於每區域之低碳計畫數量不一，因此在第 1 區之非連續型計畫 j 數量為 1，第 2 區之非連續型計畫 j 數量為 2，第 3 區之非連續型計畫 j 數量為 1；同理，在第 1 區之連續型計畫 j' 數量為 2，第 2 區之連續型計畫 j' 數量為 2，第 3 區之連續型計畫 j' 數量為 1。

接著，本研究即利用文獻回顧方法、專家訪談及配合現實中環保署之「低碳城市建構計畫」之現實資料，將其規模所小發展出小規模簡例情境，以下即說明簡例架構以及參數設定。

4.2 範例參數設定

本研究為了模擬現實情境，逐設定簡例情境所需之參數如下。

表 4-2 範例模式環境參數說明

符號	定義	數值
C	中央總預算；百萬元	400
n	區域數。	3
t^k	計畫類型 k 之分配比例。	1

表 4-3 範例模式：非連續型計畫 j 執行所需成本 C_{ij}^k

區域	非連續型計畫 j 執行成本(百萬元)	
	1	2
1	85	—
2	98	150
3	85	—

表 4-4 範例模式：連續型計畫 j' 執行所需成本 $C_{ij'}^k$

區域	連續型計畫 j' 執行成本(百萬元)	
	1'	2'
1	80	94
2	83	110
3	60	—

表 4-5 範例模式：非連續型計畫 j 每單位投入增額之比例 d_{ij}^k

區域	非連續型計畫 j	
	1	2
1	0.25	—
2	1/3	1/3
3	0.2	—

表 4-6 範例模式：非連續型計畫 j 所產生之減碳量/減碳效益 E_{ij}^k

區域	非連續型計畫 j 減碳量/減碳效益(萬噸)	
	1	2
1	92	—
2	97	149
3	89	—

表 4-7 範例模式：連續型計畫 j' 所產生之減碳量/減碳效益 $E_{ij'}^k$

區域	連續型計畫 j' 減碳量/減碳效益(萬噸)	
	1'	2'
1	85	95
2	83	99
3	72	—

表 4-8 範例模式：非連續型計畫 j 最低可執行預算比例 L_{ij}^k

區域	非連續型計畫 j	
	1	2
1	0.2	—
2	0.4	0.4
3	0.2	—

表 4-9 範例模式：連續型計畫 j' 最低可執行預算比例 L_{ij}^k

區域	連續型計畫 j'	
	1'	2'
1	0.2	0.4
2	0.2	0.4
3	0.2	—

本研究設定之參數即參考文獻、專家意見及將現實中環保署之「低碳城市建構計畫」資料縮小為小規模範例情境。各計畫預算與減碳效益現實情境中均為已知資料，為各區域顧問公司根據社經背景條件估算提供。

其中，於各低碳計畫最低可執行預算比例之參數設定部分，本研究為區分相對較大規模計畫與相對較小規模計畫，因此假設若該計畫之成本大於各區域成本平均數，即歸類於大規模型計畫；反之，小於各區域成本平均數，則歸類於大規模型計畫。

本研究將第二目標式之值定義為「投入成本所對應之產出效益與該區域獲得之預算成本」趨近一致，也就是令各區域之間每單位成本所產生之效益變異數最小。而為了能明確比較各模式之分配公平性之高低，本研究即設定一公平性指標，並將之定義為第二目標公平式之值之倒數。如下所示：

$$\text{公平性} = \frac{1}{\text{第二目標式之值}}$$

原第二目標式之值為各區域間分配差距之變異數，意即數值越小，代表本研究所定義之公平性分配越均衡。同理，上述所發展之公平性指標在第二目標式之值越小的同時，公平性指標之值就越大，也代表著分配越均衡。

接下來即將上述之參數導入本研究所規劃出之預算分配模式。本研究並假設兩目標之間重要程度相同，意即代表著中央決策者對於兩目標同樣重視，因此設定兩目標權重比 1：1。

4.3 範例結果

接著，本研究將上述設計之三種預算情境參數 280、400、520 百萬元套用至模式建構三種階段模式裡，並對其產出結果分析與比較說明如下。

1. 總預算 280 百萬元

此預算情境假設中央決策單位之總預算為 280 百萬元，依據上述輸入參數本研究可以得到以下三模式分配結果，如表 4-10 所示。

表 4-10 總預算 280 百萬元第一模式結果

區域	計畫	決策變數值			
		計畫被執行比例 (%)	區域預算配給比例 (%)	區域總獲得預算(百萬元)	
1	連續型	1'	0	30.4%	85
		2'	0		
	非連續型	1	100%		
2	連續型	1'	0	39.3%	110
		2'	100%		
	非連續型	1	0		
		2	0		
3	連續型	1'	0	28.6%	80
	非連續型	1	100%		

投入預算：275 百萬元；減碳量/減碳效益：334 萬噸

第一模式屬於背包問題之應用，中央決策者在評選計畫時只能決定選與不選，無法任意調整計畫投入比例。本研究由模式結果發現，在本研究第一模式之背包問題的應用模式因為必須顧慮到計畫的成本（即放入背包之物體容量），因此在決定要放入哪一個計畫盡量使預算用罄，但又要使減碳效益最高。在模式結果區域 1、2、3 分別獲得 85、110、80 百萬元。但模式卻因為計畫成本無法調整比例，使得投入成本無彈性，總預算 280 百萬元卻只使用 275 百萬元，則會呈現中央及地方政府面臨消化預算的壓力，而使得預算投資效率低下。

表 4-11 總預算 280 百萬元第二模式結果

區域	計畫	決策變數值			
		計畫被執行比例 (%)	區域預算配給 比例(%)	區域總獲得預算(百 萬元)	
1	連續型	1'	0	33.6%	94
		2'	100%		
	非連續型	1	0		
2	連續型	1'	0	55%	154
		2'	3.64%		
	非連續型	1	0		
		2	100%		
3	連續型	1'	0	11.4%	32
	非連續型	1	40%		

投入預算：280 百萬元；減碳量/減碳效益：359.2 萬噸

第二模式加入考慮計畫可調整性因素，將決策變數稍加修改後，本研究發現模式整體的總減碳量有上升的趨勢。模式決策變數經過放寬限制，模式會自動使預算用罄，並挑選其減碳效益較其他區域優良的計畫投入。但在放寬限制的同時，本研究也發現模式為了用盡預算，會將最後剩下的少量金額做投入，例如第 2 區域連續型計畫 2' 所示，模式為將預算用盡，卻使該計畫只被執行 4.64 個百分比，預算投入過少，無法達到計畫能正常執行之最小規模。

表 4-12 總預算 280 百萬元第三模式結果

區域	計畫	決策變數值			
		計畫被執行比例 (%)	區域預算配給 比例(%)	區域總獲得預算(百 萬元)	
1	連續型	1'	0	33.6%	94
		2'	100%		
	非連續型	1	0		
2	連續型	1'	44.2%	37.9%	106
		2'	0		
	非連續型	1	0		
		2	47.2%		
3	連續型	1'	0	28.5%	80
	非連續型	1	100%		

投入預算：280 百萬元；減碳量/減碳效益：355.3 萬噸

第三模式部分，加入公平性目標式本研究發現在由成本效益構成之公平性目標的作用下，即希望每區域一分錢所產生之效益趨近一致的情況下，模式會自動平衡被選中投入之計畫總效益與其成本，卻也不盡量不讓減碳效益降低過於劇烈。另外，最低可執行預算比例的影響也由模式結果可以看出，被選中之計畫皆有大於最低可執行預算比例，即每個計畫最低可執行之規模下限，以避免預算投入無法滿足該計畫最低執行成本。

2. 總預算 400 百萬元

表 4-13 總預算 400 百萬元第一模式結果

區 域	計畫	決策變數值		
		計畫被執行比例 (%)	區域預算配給 比例(%)	區域總獲得預算(百 萬元)
1	連續型	1'	0	0
		2'	0	
	非連續型	1	0	65%
		2	100%	
2	連續型	1'	0	260
		2'	100%	
	非連續型	1	0	35%
		2	100%	
3	連續型	1'	100%	140
		2'	100%	
	非連續型	1	100%	
		2	100%	

投入預算：400 百萬元；減碳量/減碳效益：498 萬噸

接著，本研究嘗試將預算提高至 400 百萬元。在模式結果可以看出，在中央政府財政稍微寬裕的情況下，背包問題應用模式會有更多的決策組合，並在其預算限制條件下，選出使總減碳效益達到最高之組合方案。而在預算 400 百萬元的情況之下，本研究發現第一模式所選出之計畫組合並未選中第 1 區之計畫，造成預算分配較為不公，無法兼顧。

表 4-14 總預算 400 百萬元第二模式結果

區域	計畫	決策變數值			
		計畫被執行比例 (%)	區域預算配給 比例(%)	區域總獲得預算(百 萬元)	
1	連續型	1'	0	23.5%	94
		2'	100%		
	非連續型	1	0		
2	連續型	1'	0	56.5%	226
		2'	69.1%		
	非連續型	1	0		
		2	100%		
3	連續型	1'	0	20%	80
	非連續型	1	100%		

投入預算：400 百萬元；減碳量/減碳效益：506.2 萬噸

預算提高至 400 百萬元後，第二模式稍加並於太過於嚴苛之預算限制，計畫成本可以自由依照欲投入之比例調配，這時總減碳效益會比第一模式之背包問題應用分配結果較高，顯示預算可調整性因素之作用。

表 4-15 總預算 400 百萬元第三模式結果

區域	計畫	決策變數值			
		計畫被執行比例 (%)	區域預算配給 比例(%)	區域總獲得預算(百 萬元)	
1	連續型	1'	34.5%	30.4%	122
		2'	100%		
	非連續型	1	0		
2	連續型	1'	0	49.6%	198
		2'	60.1%		
	非連續型	1	0		
		2	88.2%		
3	連續型	1'	0	20.0%	80
	非連續型	1	100%		

投入預算：400 百萬元；減碳量/減碳效益：504.7 萬噸

400 百萬元之第三模式，由結果可以發現，與第二模式相比，在投入之計畫高於最低可執行預算比例之前提條件下，模式會自動將預算由原本分配到較多之區域 2 分配給相對較為弱勢之區域 1，即第二目標式公平性之作用，使得區域之間每單位成本產生之效益趨於一致，發揮出：擁有較好減碳體質之區域預算分配多，卻也能照顧到較為弱勢之區域。

3. 總預算 520 百萬元

表 4-16 總預算 520 百萬元第一模式結果

區域	計畫	決策變數值			
		計畫被執行比例 (%)	區域預算配給比例 (%)	區域總獲得預算(百萬元)	
1	連續型	1'	0	34.4%	179
		2'	100%		
	非連續型	1	100%		
2	連續型	1'	0	50%	260
		2'	100%		
	非連續型	1	0		
		2	100%		
3	連續型	1'	0	15.4%	80
	非連續型	1	100%		

投入預算：519 百萬元；減碳量/減碳效益：648 萬噸

最後，本研究嘗試將預算提高至 520 百萬元。由模式結果本研究發現，在第一階段背包問題應用模式方面，有時可能會因為預算固定的嚴苛條件而使得中央決策者在決選時雖然在某種組合減碳效益最大，但預算不一定會用罄，造成預算面臨消耗壓力問題。

表 4-17 總預算 520 百萬元第二模式結果

區域	計畫	決策變數值			
		計畫被執行比例 (%)	區域預算配給 比例(%)	區域總獲得預算(百 萬元)	
1	連續型	1'	100%	33.5%	174
		2'	100%		
	非連續型	1	0		
2	連續型	1'	70%	39.6%	206
		2'	0		
	非連續型	1	0		
		2	100%		
3	連續型	1'	100%	26.9%	140
	非連續型	1	100%		

投入預算：520 百萬元；減碳量/減碳效益：650.2 萬噸

同樣地，在預算可調整之情況下，如同前述 280、400 兩種預算情境，模式限制放寬後會使得預算限制條件不再那麼嚴苛，讓預算分配之效益提高。

表 4-18 總預算 520 百萬元第三模式結果

區域	計畫	決策變數值			
		計畫被執行比例 (%)	區域預算配給 比例(%)	區域總獲得預算(百 萬元)	
1	連續型	1'	84.5%	31.1%	162
		2'	100%		
	非連續型	1	0		
2	連續型	1'	0	43.3%	225
		2'	68.2%		
	非連續型	1	0		
		2	100%		
3	連續型	1'	88.7%	25.6%	133
	非連續型	1	100%		

投入預算：280 百萬元；減碳量/減碳效益：650 萬噸

最後加入公平性目標式以及最低可執行預算比例之限制條件，雖然減碳效益差異不大，但在每單位成本所發揮之減碳效益相較於第二模式分配結果卻也較為來得平均，是為符合本研究定義之公平性評估標準。

4. 不同預算情境比較

本研究彙整上述三種預算情境如下表所示。

表 4-19 四種預算情境範例結果彙整

預算情境	模式發展階段					
	第一模式 背包問題應用		第二模式 加入預算可調整性		第三模式 加入公平性目標式 最低可執行預算比例	
	區域配給預 算(百萬元)	區域分配 比例(%)	區域配給預 算(百萬元)	區域分配 比例(%)	區域配給預 算(百萬元)	區域分配 比例(%)
280	85	30.4%	94	33.6%	94	33.6%
	110	39.3%	154	55%	106	37.9%
	80	28.6%	32	11.4%	80	28.5%
	減碳效益：334		減碳效益：359.2		減碳效益：355.3	
	公平性：203.15		公平性：2290.47		公平性：2320.79	
400	0	0%	94	23.5%	122	30.4%
	260	65%	226	56.5%	198	49.6%
	140	35%	80	20%	80	20%
	減碳效益：498		減碳效益：506.2		減碳效益：504.7	
	公平性：0.645		公平性：1839.84		公平性：20200.18	
520	179	34.4%	174	33.5%	162	31.1%
	260	50%	206	39.6%	225	43.3%
	80	15.4%	140	26.9%	133	25.6%
	減碳效益：648		減碳效益：650.22		減碳效益：650	
	公平性：3152.99		公平性：2579.39		公平性：5445.20	

※註：為方便比較，本研究表中之「公平性」指數為多目標之計畫評選及預算分配規劃模式中第二目標式之值，並以倒數表示，為一相對數值。若公平性指標越高，即表示第二目標式之值越小，公平性目標分配越均衡。

本研究將上述三預算情境之各區域配給比例、配給成本整理如上表 4-19。由模式之結果本研究推論，區域 2 具有較優良之減碳能力，因此在三種預算情境下配給之預算皆為最高，而後其次是區域 1，最後是區域 2。

另外，透過結果可以發現第一階段背包問題應用模式由於無法調整計畫投入比例，在計畫的選擇上可能因此受限制，例如模式必須盡可能將成本分配完，如預算情境 280 與 520 百萬元，但又必須顧及效益最大化，可能無法有彈性、有效率的分配預算；反觀第二模式當我們可以任替調整計畫分配比例時，則在預算選擇上便不受限制，反而可以優先篩選出效益最大之計畫優先投入，亦即先將計畫排序後，再將預算依序投入，如此一來整體減碳效益也會提高。

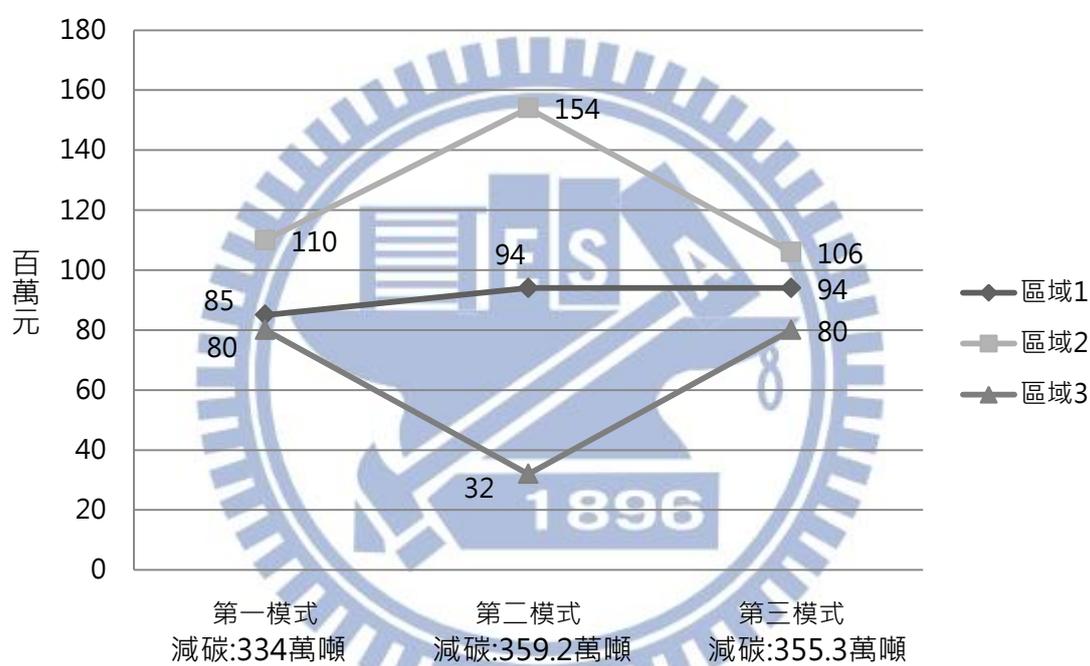


圖 4-2 總預算 280 百萬元預算分配結果

本研究再將總預算 280 百萬元之分配結果畫做如圖 4-2 所示，在總預算 280 百萬元的情境下，第二模式雖然解除 0-1 選擇限制使得減碳效益提升至 359.2 萬噸，但也略為犧牲公平性。並且，在追求效益最大的同時，卻也忽略每個計畫執行都有最低執行規模成本，最明顯在於預算情境 280 百萬元之第二模式（請參照表 4-11），計畫第 2 區域連續型計畫 2' 所示只被執行 4.64%。造成無法正常執行該計畫。而第三模式投入公平性目標式與最低可執行預算比例限制後，雖然減碳效益略遜於第二模式，但在公平性卻是勝過第二模式。

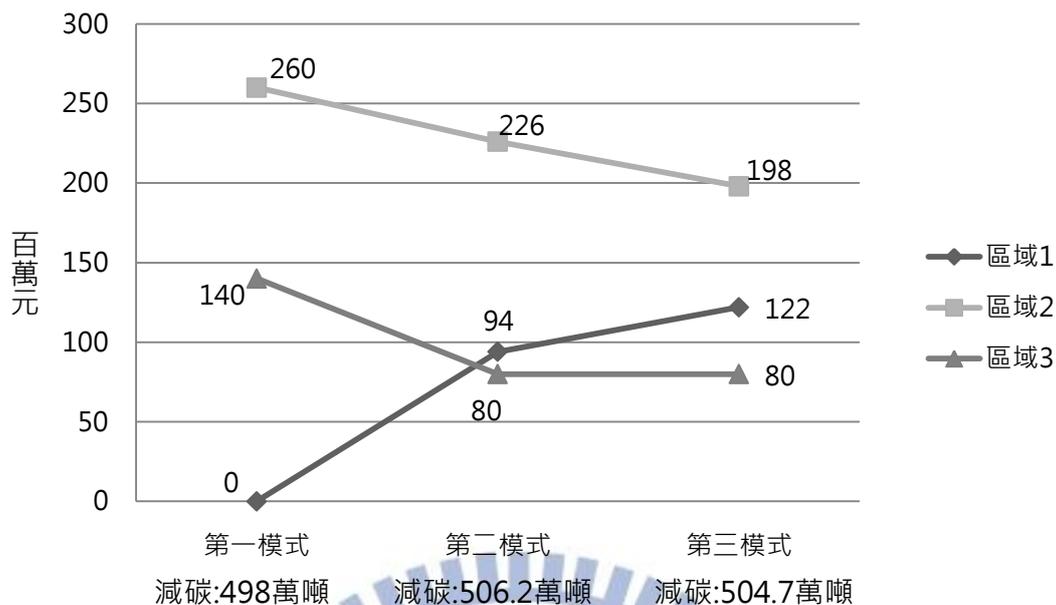


圖 4-3 總預算 400 百萬元預算分配結果

同樣地，總預算 400 分配結果如圖 4-3。在第一模式也發生區域 1 未有計畫被選入，本研究分析推論其原因為 0-1 整數規劃之計畫成本限制選擇彈性不佳，因此模式在衡量其他更佳組合後便決定放棄投入區域 1 之計畫。

但在第二模式解除 0-1 變數之限制後，區域 1 中相對效率較優良之低碳計畫成本便可以投入任意比例，與第一模式最大的差別在於甚至有模式選擇放棄區域 3 之部分計畫去換取區域 1 其他優良計畫的投資機會，以換取最大化減碳效益。而最後第三模式加入公平限制式之緣故，雖然犧牲少許減碳量，但卻非常接近全解除限制之第二模式，同時也在分配之公平性部分則遠勝於前兩模式。

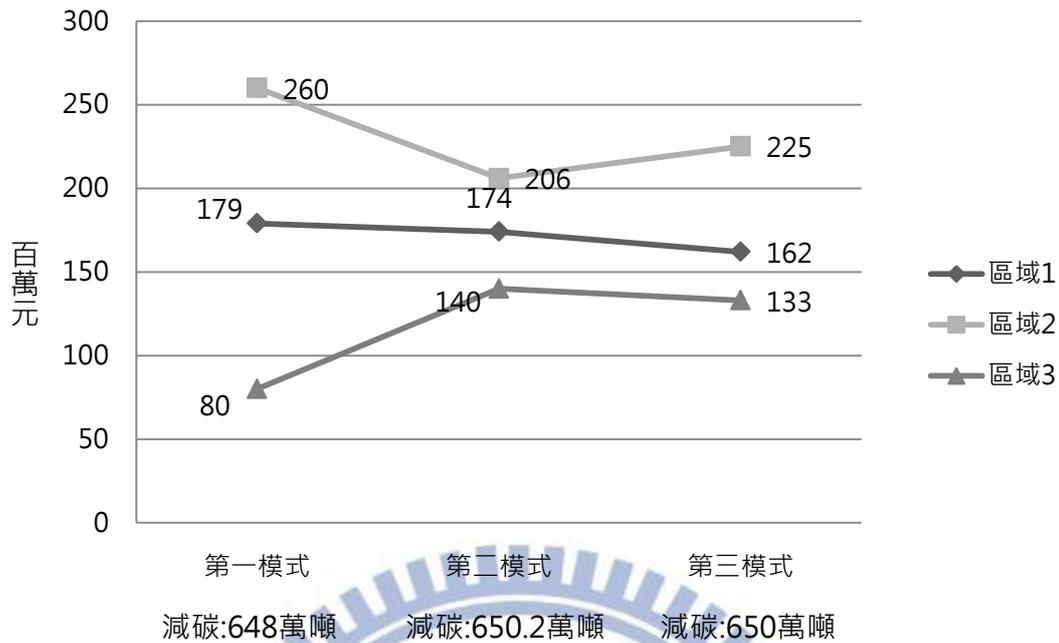


圖 4-4 總預算 520 百萬元預算分配結果

最後，在圖 4-4 總預算 520 分配結果中，同樣也發生與總預算 280 百萬元之情境相同狀況：預算未用罄，而造成分配不均、效益較為低下之問題。

而第二模式限制解除之後，模式自動將預算集中在各區域中相對減碳效率較佳之低碳計畫，例如區域 3 之配給預算的提高。解除限制的好處在於避免錯失投資其他在相對弱勢之區域卻也同樣相對優良之計畫。最後在第三模式，模式再將配給預算做一個重新調配的動作，以確保均衡各區域每單位成本所發揮出的減碳效益趨於均等，使其每一分投入資源都可以做最大效率的分配。

再者，藉由以上三種預算情境模式比較本研究發現，在中央決策機關預算較為貧乏時，如總預算 280 百萬元的情況下，解除預算限制的第二模式與加入公平性目標式以及考慮最低可執行規模比例之第三模式總減碳效益會有較大幅度的成長；反觀，當中央決策者資金較充足的時候，如總預算 520 百萬元，在第二模式與第三模式的成長幅度就趨於減緩。本研究推論，當政府預算貧乏時，因為能分配的資金越少，顯示分配成本得到的效益彈性就越高。因為在缺乏資源的情況下，放寬限制條件後的成長幅度就越能較為有彈性的優先選擇減碳效率較佳之計畫，而不受 0-1 變數之限制；而當中央決策者的預算越充足（即背包容量越大），因此可容納之計畫就越多，效率較佳之計畫也越容易優先被選入，選擇組合變少，因此剩餘相對較弱勢之低碳計畫在減碳效益方面差異不大，造成總效益變動幅度較緩。

5. 小結

本研究藉由歸納總整上述之結果分析整理如下：

- (1) 模式結果顯示在第一模式之分配結果可能會發生預算未用罄，政府單位面臨消耗壓力；抑或為了滿足預算限制，模式在選擇計畫組合時會得出無法發揮減碳效益最大化之結果。
- (2) 第二模式因解除限制之緣故，於三種情境模式下皆有最高之減碳效益，但模式結果也可能發生第二模式為了用盡預算，使某區域內計畫被分配到少量預算，使得執行無效率抑或是無法正常執行該計畫。
- (3) 第三模式考慮最低可執行預算比例，進而避免計畫分配到少量預算無法正常執行該計畫，但卻也犧牲少許減碳效益；加入公平性目標式則使模式在分配時可以均衡各區域之間每單位成本所產生之減碳效益趨於均衡，亦即使每一分預算都能得到最有效之發揮。
- (4) 在第三模式公平性目標式之作用下的結果也可以幫助中央決策者了解在某些計畫類型下，各區域的減碳能力之高低，並幫助決策者制定思考未來的預算投資規劃。
- (5) 當政府預算貧乏時，因為能分配的資金少，因此分配成本得到的效益彈性就越高，不受 0-1 變數之限制；而當中央決策者的預算越充足，可容納之計畫就越多，效率較佳之計畫也越容易優先被選入，剩餘相對較弱勢之低碳計畫在減碳效益方面差異不大，因此總效益變動幅度較緩。
- (6) 本研究提出三種模式以比較不同決策環境、不同目標下的分配方式之狀況。三個模式之優劣比較實質上並無太大意義，研究提出三種模式來比較之用意在於面對不同決策大環境下，提供計量之數據結果，方便決策者最後做決定時一個參考依據。

4.4 敏感度分析

本研究接著即針對中樣決策者之總預算水準以及最低可執行預算比例進行敏感度分析。敏感度分析之作用在於探討當個別變數有增減變化時，對於模式結果之影響，試圖了解並找出對於模式有影響之相關變數。

1. 預算水準

本研究為了解各種不同預算水準對於分配結果之影響，即針對預算水準作敏感度分析。在其餘變數相同之條件下，將預算水準調整範圍以總預算 400 百萬元為基礎，並以每區間 5% 之幅度增減至前後 30%，探討總效益與探討各區域分配之變化情形情況之變化。結果如圖 4-5、4-6 所示。

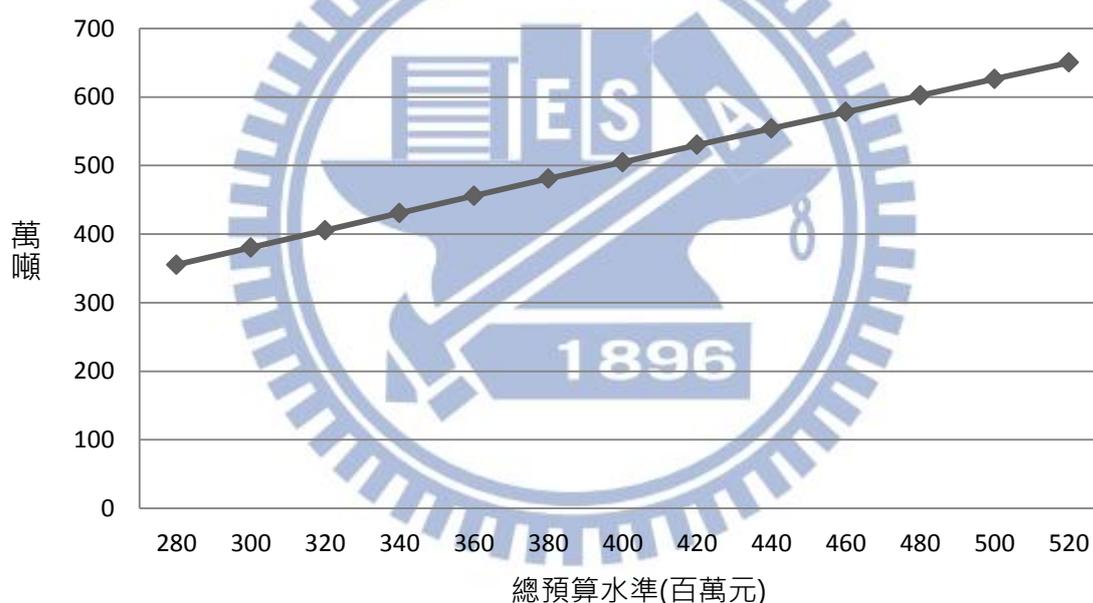


圖 4-5 總預算水準對總減碳效益敏感度分析折線圖

依據圖 4-5 所示，總預算水準增減幅度由 280 百萬元至 520 百萬元，在此範圍下，預算增加約與最大效益同等比率。亦符合本模式之預期：當總預算水準增高的同時，因為考慮預算比例可調整性以及公平性目標式—均衡每單位成本所產生之效益。因此每單位預算會因為第二目標式的作用使其發揮同等減碳效益，即每分錢都有同等減碳效果。如此可避免因為分配無彈性而造成造成減碳效益變動幅度過大。

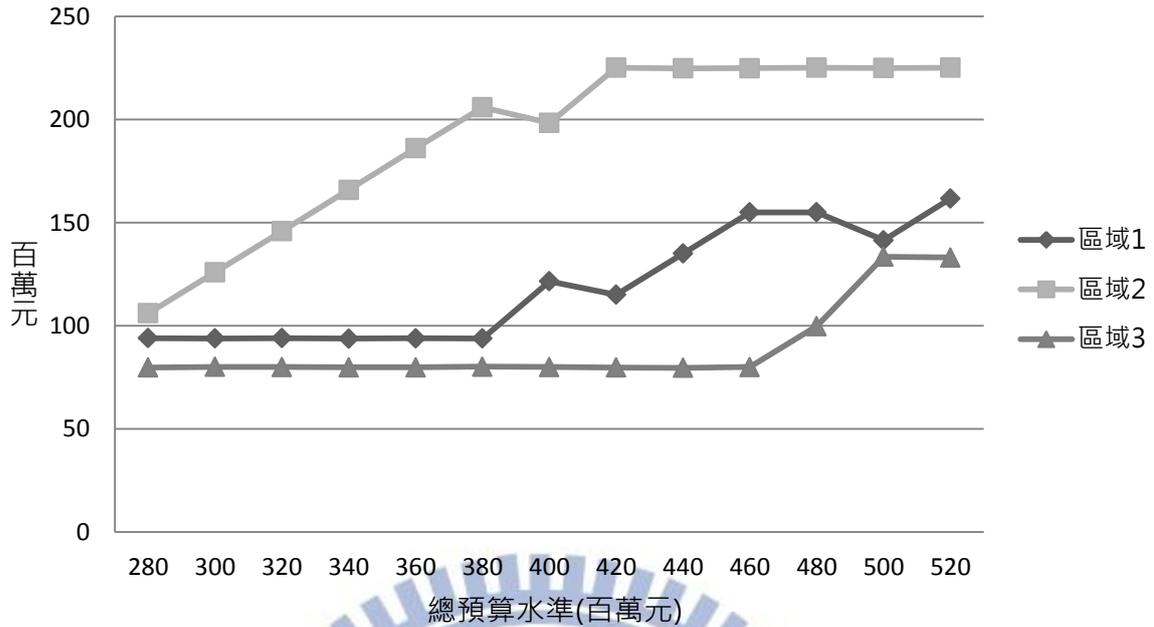


圖 4-6 總預算水準對各區域減碳效益敏感度分析折線圖

而由圖 4-6 可以看出其區域之間減碳能力之高下：區域 2 之減碳能力較高，其次是區域 1，最後是區域 3。當總預算水準不足時，模式會將預算優先分配予減碳能力較佳之區域 2，而其餘之區域 1、區域 3 則因為公平性目標式之作用仍然保有一定的預算配給；但當總預算逐漸增加，跨越過某一預算水準門檻時（如 380 百萬元至 400 百萬元），模式會因為同時追求減碳效益與公平性雙目標之故，而將預算配置做一調動：平衡每單位成本所產生之減碳效益，減少優勢區域之預算轉而開始投入其他區域。因此減碳能力第二之區域 1 則開始增加預算，而公平性（以第二目標式之值倒數表示）也相對比只增加區域 1 之預算水準區間要來得高，如圖 4-6。最後，當預算到達第二個預算水準門檻（即 460 百萬元至 480 百萬元）時，減碳能力相對較弱勢之區域 3 也開始增加預算，這時，因為預算充裕，足以讓中央決策者做更有效率之資金周轉。因此本研究推論公平性在預算較為充足時，能做最有效率之分配。

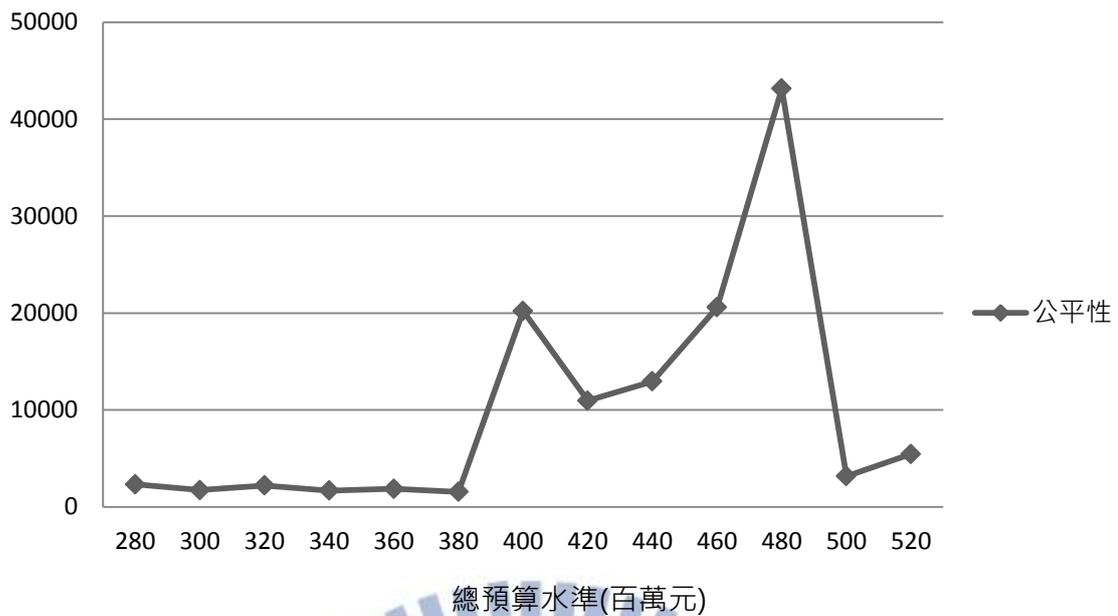


圖 4-7 總預算水準對公平性敏感度分析折線圖

※註：為方便比較，本研究表中之「公平性」指數為多目標之計畫評選及預算分配規劃模式中第二目標式之值，並以倒數表示，為一相對數值。若公平性指標越高，即表示第二目標式之值越小，公平。

經由圖 4-6、圖 4-7 之比對分析，本研究可以推論：當預算過於貧乏或過於充足時，分配之公平性相對較低。其原因是因為當算過於貧乏時，如預算水準區間 280 至 380 百萬元，模式為追求效益極大化，而在較為貧乏之預算水準區間會優先增加投入能力較優良之區域；反之，當預算過於充足時，如 480 至 520 百萬元預算水準區間，減碳能力交為優良之區域預算配給已趨近飽和，但為維持公平性，中央決策者即開始權衡如何投入其餘之區域，因而周而復始又從其餘之區域中開始優先投入最佳減碳能力之區域，直到另一個公平性的相對高峰。是為不斷之循環。

2. 最低可執行預算比例

本研究接著將對最低可執行預算比例做敏感度分析，試圖去了解預算最低下限的增減幅度對分配結果以及總效益之影響。本研究於範例數值分析部分所採用之下限分別為「相對小型規模計畫 20% / 相對大型規模計畫 40%」之限制條件，而大小型規模之劃分則以所有低碳運輸計畫成本之平均數為標準：大於平均數則歸類為相對大型；反之，則為相對小型規模。

因此，本研究之作法為：固定其餘變數條件，將最低可執行預算比例由原本下限之「20% / 40%」並以其為基準向上及向下延展區間為 -50% 至 +150%，即「10% / 20%」、「30% / 60%」、「40% / 80%」、「50% / 100%」。分析結果如下。

表 4-20 最低可執行預算比例之敏感度分析結果

		10/20	20/40	30/60	40/80	50/100
總效益(萬噸)		504.67	504.67	504.67	501.97	500.57
公平性*		20200	20200	20200	14325	5212
區域 1 配給結果(%)	1-1(小)	34.5%	34.5%	34.5%	40%	50%
	1-2(大)	100%	100%	100%	100%	100%
	1-3(小)	0	0	0	0	0
區域 2 配給結果(%)	2-1(小)	0	0	0	80%	93%
	2-2(大)	60.1%	60.1%	60.1%	0	0
	2-3(大)	0	0	0	0	0
	2-4(大)	88.2%	88.2%	88.2%	86%	100%
區域 3 配給結果(%)	3-1(小)	0	0	0	0	0
	3-2(小)	100%	100%	100%	100%	50%

※註：為方便比較，本研究表中之「公平性」指數為多目標之計畫評選及預算分配規劃模式中第二目標式之值，並以倒數表示，為一相對數值。若公平性指標越高，即表示第二目標式之值越小，公平性目標分配越均衡。

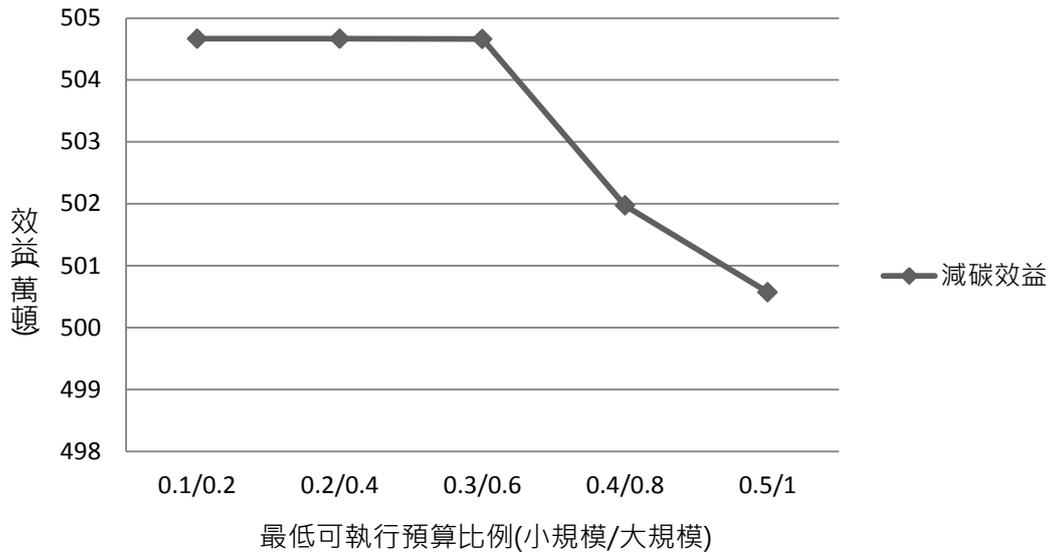


圖 4-8 最低可執行預算比例對總效益之敏感度分析折線圖

上圖說明當最低可執行預算比例變動時，對總減碳效益之影響。由圖 4-8 本研究發現當最低可執行預算比例越高時，同時也代表計畫投入預算限制越嚴苛，總減碳效益會有逐漸降低之趨勢，分配之公平性同樣會因最低可執行預算比例限制之故而無法有彈性的分配，造成分配不均，如圖 4-9 所示。當限制越高模式則越接近背包問題之整數規劃模式，因背包問題屬於模式之特例解（當最低可執行預算比例限制為 1）。

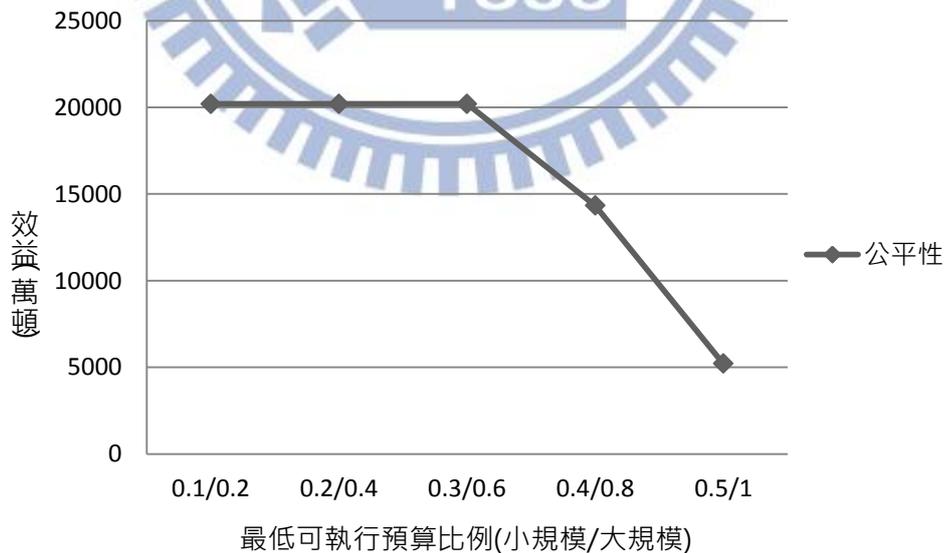


圖 4-9 最低可執行預算比例對公平性之敏感度分析折線圖

另一方面，可以由圖中發現當最低可執行預算比例越低，模式之總效益與分配公平性則會相對高於下限限制比例較高之境。配合表 4-20 可以發現，在最

低可執行預算比例為 30% / 60% 時，各區域內中選之計畫執行比例已超過最低可執行預算比例下限，因此當比例下限降至 20% / 40%、10% / 20%，分配結果仍相同，表示模式已求得該情況下最佳分配結果，即便有最低執行比例，仍不影響已符合雙目標式與限制條件之結果；而當最低可執行預算比例逐漸提升並超越臨界值時（如 40% / 80%、50% / 100% 之結果），模式即自動重新調整分配結果，使得各預算滿足最低可執行預算比例之限制條件。

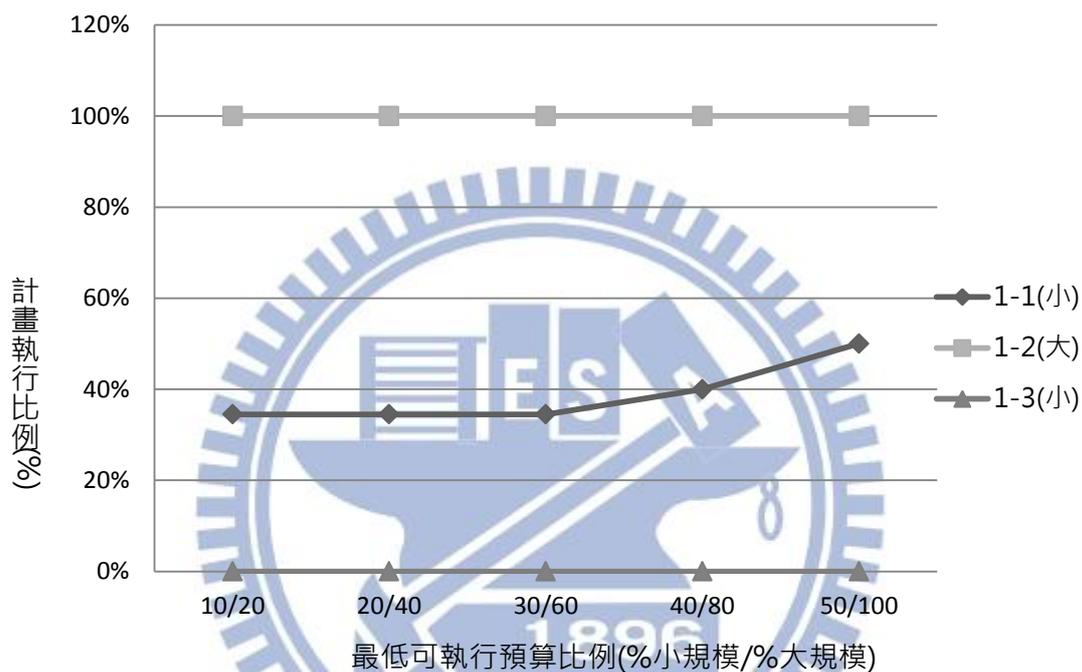


圖 4-10 最低可執行預算比例對區域 1 內計畫之敏感度分析折線圖

圖 4-10 表示，當最低可執行預算比例變動時，對區域 1 內之計畫分配結果影響。由圖中可以發現，計畫 1-1 原本在下限 10% / 20% 至 30% / 60% 時計畫執行比例為 34.5%，但當最低可執行預算比例提升至 40% / 80% 時，因下限高於以前面所求出之解臨界值 34.5%，因此模式會自動使計畫 1-1 之預算增加以滿足其下限值。而原本就是投入全額的計畫 1-2 與完全未入選之 1-3 則不受影響。

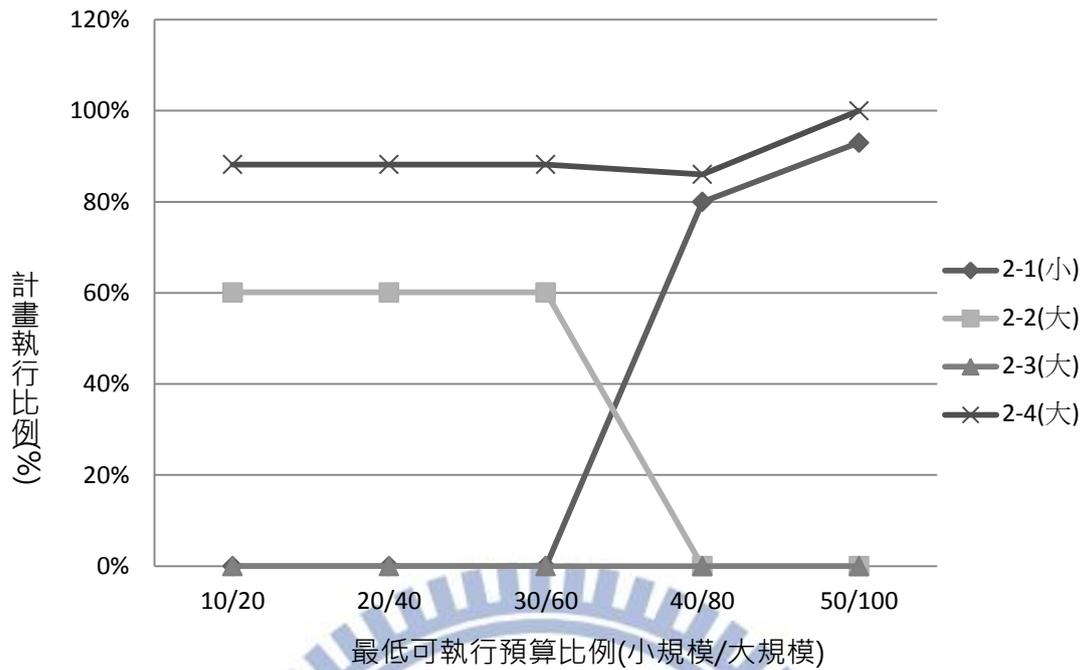


圖 4-11 最低可執行預算比例對區域 2 內計畫之敏感度分析折線圖

而圖 4-11 在區域 2 之分配結果同樣在前三種下限條件有相同之分配結果，但在 40% / 80% 之條件下，模式考量比較之後轉而減低區域 2 之分配比例（區域 2 配給由 49.6% 下降至 48.5%）轉而投入區域 1（區域 1 配給由 30.4% 提高至 31.5%），區域 2 則利用剩餘之預算重新分配，而計畫 2-1 因為計畫規模與成本皆較 2-2 小，因此模式在考量最大減碳效益之目標下轉而投資計畫 2-1。

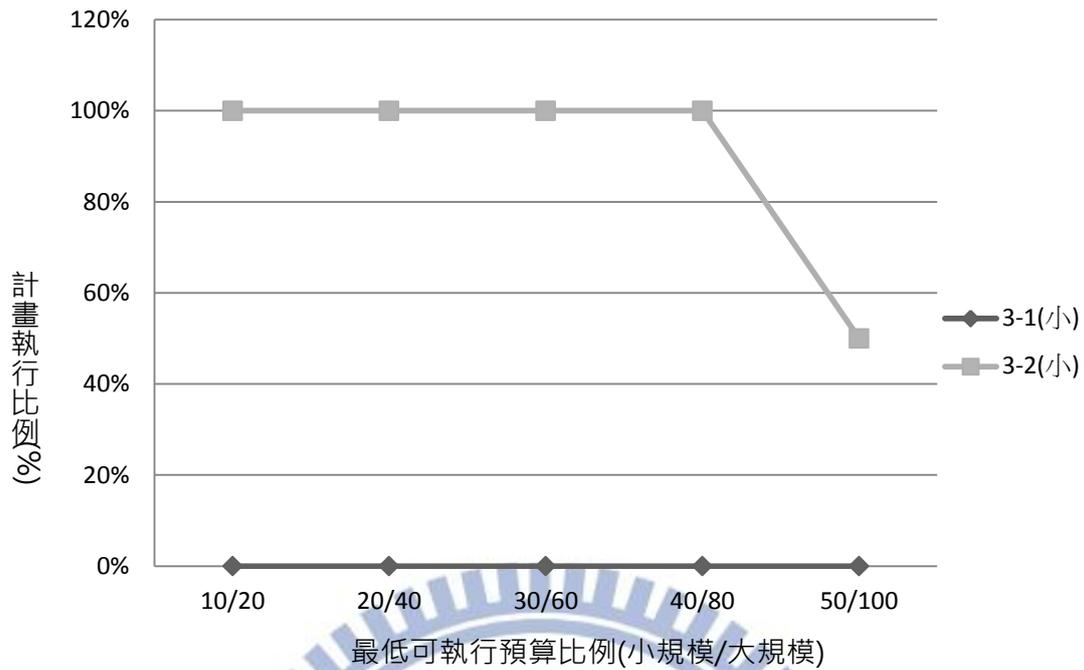


圖 4-12 最低可執行預算比例對區域 3 內計畫之敏感度分析折線圖

區域 3 之分配結果變動情況如圖 4-12。由前面的圖表發現，在前四種下限條件，因為公平性目標式的制衡，使得區域 3 並無變動，仍可分得基本預算，但在最後 50% / 100% 之條件下，模式因為考量到最低可執行預算比例之下限條件，同時顧慮到減碳效益最大，因此降低區域 3 之計畫 3-2 至底限 50%。

4.5 目標權衡分析

本研究於範例分析假設雙目標之權重為 1：1。即將雙目標之重要程度視為同等水準。但在現實決策環境下，政府機關單位決策者往往會因發展目的、目標以及考量因素的不同，而對目標之間有所權衡。當決策者越重視之目標，則該目標權重即相對高於其他目標。接著本研究為了瞭解所建構之多目標之計畫評選及預算分配規劃模式在不同權重條件下對於分配結果之影響，因此假設多組雙目標之權重比，並將其結果做一歸納整理與分析。

接者本研究為了避免兩目標式之單位不同而造成權重比例嚴重失衡之窘境，因此在設定權重之前先將模式之值標準化，即化為 0 到 1 之區間數值，再調配兩目標之權重比。

本研究假設權重比組合共有 9 種，總減碳效益極大化目標式與公平性差異極小化目標式之比，本研究即嘗試將權重設定由 5：1 至 1：5，結果整理如下。

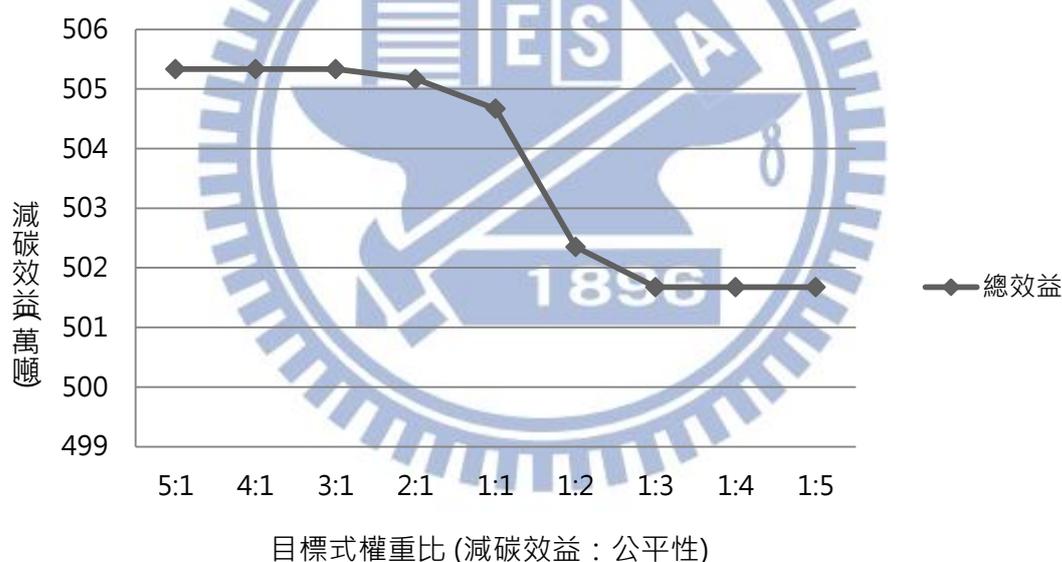


圖 4-13 雙目標權重比例對減碳效益影響之折線圖

圖 4-13 表示在不同權重組合之下總減碳效益變動情形。由此圖可以發現，當總減碳效益目標對公平性目標之權重比越大，即政府越重視減碳效益；反之，當權重比越小，即代表政府越重視分配公平。因此模式分配結果也顯示，減碳效益提高並非無窮盡，在本研究建構之模式下，因有設定變數之範圍與成本限制等其餘條件，因此當權重趨於某臨界值後，會收斂至一定值，如圖 4-12。對本研究之範例數據而言，總減碳效益在權重比 3：1 與 1：3 時會趨近一定值。

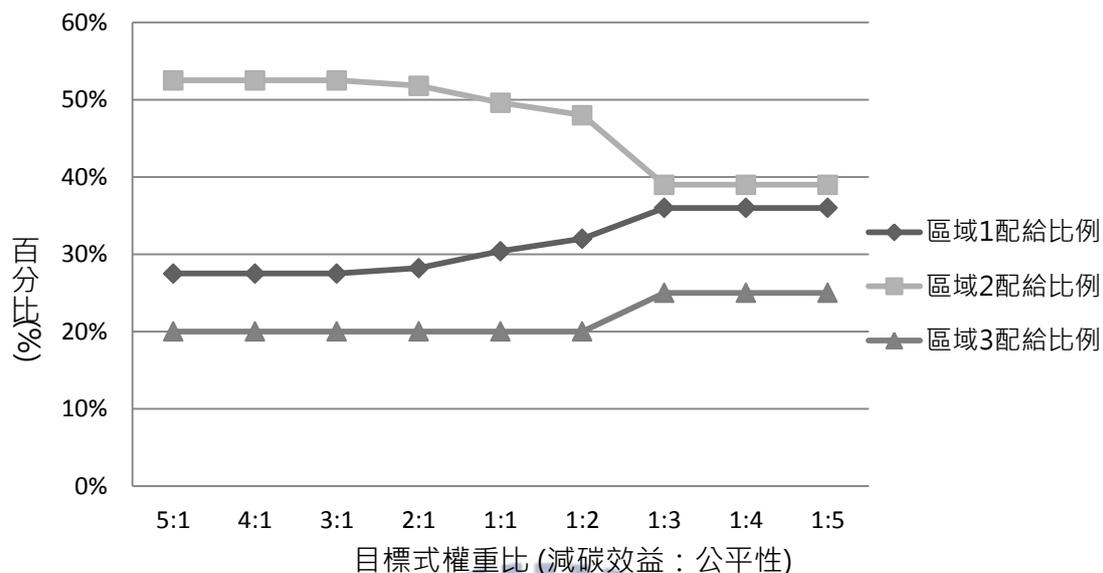


圖 4-14 雙目標權重比例對區域配給比例影響之折線圖

同樣地，圖 4-14 代表當權重組合變化時，區域分配之配給比例的變動情形。由上圖中可以發現，當中央決策者越重視總減碳效益，則減碳能力相對較優良之區域 2 配給比例會逐漸升高，伴隨而來的則是造成區域分配公平嚴重失衡的代價；反之，當中央決策者越重視分配之公平性，由圖中我們可以顯而易見看出各區域之配給比例會有逐漸集中的趨勢，但也不會使分配完全相同，表示雖然中央決策者優先考量公平性目標式之加權比重較高，但第二目標式之定義為使單位成本產出的減碳效益趨於一致，因此圖時兼顧效益最大化之分配趨勢：減碳能力優良之區域預算配給大於較弱勢之區域。

而在權重比的臨界值處 3:1 與 1:3 之外的權重值也同樣呈一定量配給比例，顯示在權重比臨界值之後，區域配給比例也收斂至一定量比例，是為模式分配結果達到臨界值，因此本模式也可得出對於雙目標之權重設定建議，即優先發展之目標其重要程度水準比值為 3:1。

4.6 範例結果彙整

- (1) 三模式之結果顯示在以往背包問題之分配結果可能會發生預算未用罄，無法發揮減碳效益最大化之情況。而第二模式因解除限制之緣故，於三種情境模式下有最高之減碳效益，但模式為了用盡預算額度，可能會使某區域內計畫被分配到少量預算，造成執行無效率或是無法正常執行該計畫。而第三模式考慮最低可執行預算比例，避免計畫分配到少量預算無法正常執行。公平性目標式之作用在於使模式在分配時可以均衡各區域之間每單位成本所產生之減碳效益趨於均衡，亦即使每一分預算都能得到最有效之發揮。
- (2) 藉由三種預算情境顯示：政府預算貧乏時，能分配的資金少，當不受 0-1 變數之限制時，分配彈性變大，效益較高；而當中央決策者的預算越充足，可容納之計畫就越多，效率較佳之計畫也越容易優先被選入，剩餘相對較劣勢之低碳計畫在減碳效益方面差異不大，因此總效益變動幅度較平緩。
- (3) 由預算敏感度分析可以發現，總預算水準增減幅度由 280 百萬元至 520 百萬元，在此範圍下，預算增加約與最大效益同等比率。即每單位預算會因為第二目標式的作用使其發揮同等減碳效益，即每分錢都有同等減碳效果。而當總預算水準不足時，模式會將預算優先分配予減碳能力較佳之區域，而後再依序投入其他區域。因此，當預算較為充足時，較能做有效率之分配。
- (4) 當最低可執行預算比例越高，同時也代表計畫投入預算限制越嚴苛，總減碳效益會有逐漸降低之趨勢，分配之公平性同樣會因最低可執行預算比例限制之故而無法有彈性的分配，造成分配不均。
- (5) 本研究透過 9 種權重比組合，探討在不同權重組合之下總減碳效益變動情形。由結果可以發現，當政府越重視減碳效益，則減碳能力相對較優良之區域配給比例會逐漸升高，伴隨而來的則是造成區域分配公平嚴重失衡的代價；反之，當權重比越小，即代表政府越重視分配公平，這時各區域之配給比例會有縮小配給之差異、逐漸集中的趨勢。而當權重趨於某臨界值後，會收斂至一定值。
- (6) 權衡分析部分則先將兩目標標準化在測試不同權重，發現模式之雙目標在權重比 1:1 時公平性之目標效果並未有顯著影響，若要使公平性目標影響效果較大，則權重比建議要再經過一定程序校準與訂正。本研竟建議效益與公平性權重比可為 1:3。

五、實例分析

本研究接下來以環保署之「低碳城市建構計畫」為對象，進行實例分析。該專案計畫實際資料則由各地方政府提供期計畫報告書。而部分無法精確取得之參數，例如環保署之總預算，以及最低可執行預算比例等涉及敏感問題、以及原始資料並未列入計畫書等數據，則暫以假設數據取代之。該專案計畫截至 2012 年 5 月仍為推動中之計畫。

環保署之「低碳示範城市建構對象」會議中要求各縣市針對低碳運輸提出計畫後加以評選，並編列年度預算投入其最終評選之計畫。編列之期程至民國 104 年，亦即為本研究預算分配政策實施影響期間。

本研究受限於數據背景之敏感程度，總預算及各地區政府之原始數據不直接列出。各地區之命名則以代號表示：共分為北 (N)、中 (M)、南 (S) 三區；而各區計畫數分別為四、三、三。而作為後續分析之基礎，本研究亦加入各區域之人口數以代表其社經背景。實例分析發展程序如下：

5.1 實例結果

1. 資料來源蒐集

本研究透過該計畫專案各政府提出之計畫報告書為資料來源，擷取低碳運輸計畫部分之範疇，並將其規劃整理。資料部分如：各區域低碳計畫之總執行成本、各區域低碳計畫之總減碳效益以及各地區計畫之執行規模。該計畫專案為民國 100 年至 104 年初為一階段，因此所有規劃內容及數據皆為 3 年期之規模水準。

2. 計畫分類與範疇

本研在蒐集並整理原始數據後，針對計畫性質、計畫內容進行分類動作。原意是冀望藉由分類將同等性質之計畫歸為同一類，因同性質之計畫本質與產生效益較為相近，同時中央政府因每階段著重發展之計畫類型也不盡相同，因此為避免將不同計畫不公平的混雜在一起評選，則本研究首先將計畫分類。

本研究之實例部分，因各地區之低碳運輸計畫多屬於融合地區特色之運輸計畫，本研究為避免因其他外生因素影響其分配結果，因此僅針對低碳運輸計畫中多數地區皆有相同規劃計畫的「電動運具示範計畫」類型做一探討分析。

3. 資料前處理

為了避免將無效資料樣本計入分析以及資料雜訊 (noise)、特例 (outlier)、資料不一致的情況發生，本研究即先對資料做篩選、整合以及不同單位之資料轉換。而本研究亦利用集群分析 (Cluster Analysis) 將計畫規模分為超大型規模計畫與其他相對較短計畫類型，目的是為避免超大型規模計畫，例如捷運系統建置，這些需要嚴肅謹慎考慮且為超長期計畫之加入而影響其餘短年期計畫之預算之分配，因此本研究先一步將其超大型規模計畫分開，不列入評選範圍，達到齊頭式公平條件。

4. 其他條件假設

由於本研究之最低可執行預算比例以及計畫可調整性之考量因素在現實決策環境中並未列為該計畫專案評選之所需數據，因此本研究即透過專家學者訪談及文獻之回顧，假設訂定該計畫之最低可執行預算比例；而計畫可調整性部分，即透過每個子計畫之規模大小及計畫內容，例如推動宣導等無固定規模資產計畫。即該計畫之投入不一定是固定量，具有可依比例調整性、可依比例變動性則設定為連續型計畫；反之，非連續型計畫預算投入增加幅度須有一固定規模比例，適用於有「不可分割性資產」的計畫。例如購置低碳運具等計畫。

再者，計畫書內容並未明確說明該專案計畫投入多少預算總額，僅說明三年預計投入 90 億新台幣之預算，而該專案也未說明各個發展部門所分配之預算額度。因此，本研究即藉由低碳運輸計畫中電動運具示範計畫所占之比例，將總預算額度進行比例縮放，作為該類型之分配比例。

5. 分配結果

本研究即針對電動運具示範計畫類型，將上述所蒐集到之資料與部分假設參數導入模式進行預算分配，共有 10 個區域 25 個低碳運輸計畫進行評選。本研究為避免造成未公開數據之敏感，以下各區域僅分為北、中、南三區並以 N、M、S 代號稱之，並輔以地區戶籍登記人口數作為社經背景之參考。結果顯示如下：

表 5-1 實例分配結果

區域	萬人	區域配給比例(%)	計畫編號	計畫被執行比例(%)
N1	390	12.7%	1-1	0
			1-2	100%
			1-3	85.4%
N2	260	12.3%	2-1	89.6%
			2-2	100%
			2-3	46.4%
N3	42	10.8%	3-1	100%
			3-2	0
			3-3	86.4%
N4	46	7.4%	4-1	100%
M1	265	15.7%	5-1	43%
			5-2	100%
			5-3	98.7%
M2	72	8.5%	6-1	84.6%
			6-2	89.6%
M3	53	8.7%	7-1	99.6%
S1	54	1.9%	8-1	0
			8-2	98.3%
S2	190	4.8%	9-1	0
			9-2	20.1%
			9-3	57.2%
S3	280	16.9%	10-1	73.1%
			10-2	76.1%
			10-3	100%
			10-4	99.8%
				總減碳效益：25914.8 噸

由表 5-1 之實例結果可以發現，在全國各地無論是北中南，人口數較多之區域得到之預算分配款相對也較多，分析其原因是因為人口數多之區域多屬於發展較為發達、工作機會較多之大城市。例如人口稠密的歐洲城市因人口密度高，其都市公共運輸相較於其他地區較為發達，因此人口數多之區域發展電動運具系統在減排效果上應較為顯著，大城市在減碳能力上相對也較優良。

比較值得注意的是，區域 N3 與區域 S2 在人數上差距相當大，但在分配到之預算額度卻剛好呈相反趨勢，反而是人數較低的 N3 區分配到之資源為高。本研究分析其原因，發現 N3 區雖然戶籍登記人口數較低，但因該區設有多所國立大學，以及工業、科技園區，實際上之居住人口較 S2 之區域來的多，反映在其推出之減碳計畫效益也相對較大。而本研究之公平性目標式也因為此緣故，因此不考慮將人數納入區域公平性之考量。

其餘區域雖然在區域配給總額分配之比例不多，但在該區提出之電動運具計畫之執行比例卻能得到較為完整之預算，因為較弱勢之區域在大眾運具發展仍未完善成熟，因此在電動運具建置方面仍屬於示範型推動計畫，因此預算之總執行成本也較低。

但是，在其分配之結果下也同樣隱藏著一些實質上不易被發現之隱憂：第一，由本實例結果可以發現，大區域之計畫數多，減碳能較優良，但分配統籌之資源其實仍掌握在大城市之間。如表 5-1 之結果，北中南三區之大城市幾乎每個低碳計畫皆有投入；而小規模城市為夾縫中求生存，想盡辦法爭取預算之結果，極可能在其提出之計畫內容做不實浮報之動作，使得雖然提出之計畫不比大城市多，但仍能爭取到近乎全額之預算。第二、各地區因幅員相聚廣闊，因此在徵求顧問群必以鄰近地區之被委託人為優先考量，這其實也會造成在各區域在提報之計畫內容衡量標準不一，而中央決策者若一時不察，則可能造成分配結果之誤判、資源之浪費。因此，本研究冀望往後之預算審查制度可以由中央制定一依循標準，使得各區域之顧問單位能有評量依循，同時也能簡省第二次複查之人事成本及時間成本，加速決策流程與步驟。

5.2 政策意涵與討論

公共建設計畫之評選以及預算分配議題是為一如何選擇計畫組合以及使分配產生之效益極大化問題。即在政府有限之資源下，進行兼顧多衝突目標及滿足限制條件之最佳化分配。公共建設領域是民生所必須，但國家舉債經費有限，因此更是需要將每分預算最最有效率之處理，避免無謂之浪費。

低碳運輸計畫為近年來新興之發展概念。以國外為例，人口稠密的歐美城市因人口密度高，其都市發展低碳運輸之概念與推動方法大多傾向於大眾運具之推廣、綠色大眾運具之建置，以及在擁擠的都會區藉由稅收來抑制私有車輛造成的擁擠，應是較具有效率的作法。同時也可以配合轉移私人旅次至公共運輸旅次的計畫。因此公共低碳運輸建設計畫是為低碳社會建構之重點之一。

而不論是由中央統籌興建，抑或是 BOT (Build- Operate-Transfer)等民間參與公共建設之方式的公共建設計畫，政府都應謹慎評估其投資效益，並同時顧及公眾利益，以服務為目的。同時公共建設亦為國家經濟基礎，工程建設期長、幅員廣、成本高，因此合理且客觀地分配有其意義存在。

藉由上述之實例分析，本研究可以發現其政府在分配預算時所可能面臨到之問題及政策意涵，分別探討如下：

- (1) 政府部門於現行公共建設之評選過程，皆由評選委員做一主觀評選之決策過程，雖目前已大多輔以量化數據佐證，但因缺乏一客觀比較機制，提供參考之效果有限。當計畫數規模多時，容易使得評選委員無法全盤了解各區域之間所提列之各計畫。
- (2) 提列之計畫書中，內容及數據之表達無法真正全盤了解公共建設計畫之真實內容及意涵，此情況又以新發展概念之公共建設計畫尤甚。在新概念提出之初，過往參考文獻有限，僅以文字表達其建設之全貌著實有其困難之處，同時也有數據浮報之風險存在。
- (3) 因此，在無法以經驗法則衡量的情況下，本研究所發展之模式可供決策者做一比較評估之參考。唯前置作業需要明確評估計畫之規模大小、計畫資產內容、計畫執行總效益、執行總成本以及最小限度可正常執行之規模，以利模式做決策分析。

(4) 而中央政府在做計畫評比時建議先將計畫分類，不同性質之計畫產生之效益不同，適用之社經背景特性也不相同，同時也因為諸多考量之因素，例如已達施工中期等須持續投入預算等計畫，需要將其分開。若將所有計畫混雜在同樣條件下評估，則容易造成分配混亂，預算完全被大規模等計畫掌握。政府不僅應將計畫分門別類，各計畫類型之預算總額也應當分類，強化跨類別之配合與均衡，使不同性質之計畫皆有分配權之保障。

(5) 為了建立公平、客觀之評選機制，政府於徵求各區域之計畫案實應可委託獨立單位建立一套統一評估標準，抑或是換算公式等衡量標準，一來不只能讓評審委員一目了然容易比較，同時也讓模式數值分析更為精確與提高可信度。避免數據浮報之情形發生。

目前國內之公共建設計畫，無論其規模大小，大多仍維持個案單一審理，並配合目前政治形勢以及由各部會之高階主管與同評選委員做會議研商，缺乏一客觀數據分析參考，因此本研究冀望以發展符合現實情形之評選以及預算分配兩方面之規劃分配模式，以供未來決策者做分析參考。



六、結論與建議

本研究欲建構一多目標計畫評選及預算分配規劃模式，同時考慮計畫可調整性與最低可執行預算比例之要素，以進行低碳運輸計畫之評選以及預算分配，兼顧總減碳效益與分配之公平性。本研究逐歸納結論要點如下。

6.1 結論

1. 導入計畫可調整性與最低可執行預算比例，整合發展較有彈性之分配模式

低碳運輸計畫為一新興發展概念，此類之公共建設計畫具有多年期、長時效等特性，必須要謹慎規劃預算投入，以避免在資訊及經驗不足的情況下造成投入報酬低下等風險。本研究由文獻回顧發現以往預算分配多為 0-1 整數規劃議題或是僅探討預算額度如何分配，過於極端的方法造成分配彈性不佳。並藉由整合兩種分配方法之概念：加入可調整性與最低可執行預算比例之要素，既同時能評選計畫與否與可自由調整投入比例，以增加預算分配之彈性。

2. 以均衡「各區域每單位配給成本產生的效益」作為衡量分配之公平性依據

本研究建構之多目標規劃模式為追求低碳運輸計畫減碳效益極大化與極小化分配之差距兩目標。以往文獻研究多為縮小「分配到之資源差距」，本研究則是同時將投入成本所帶來的效益一併列入公平性參考依據。一來可避免較有效率的計畫因為齊頭式的成本公平而被略過，使得預算分配更有效率。

3. 藉由範例與其他相關分析，驗證本模式之可行性

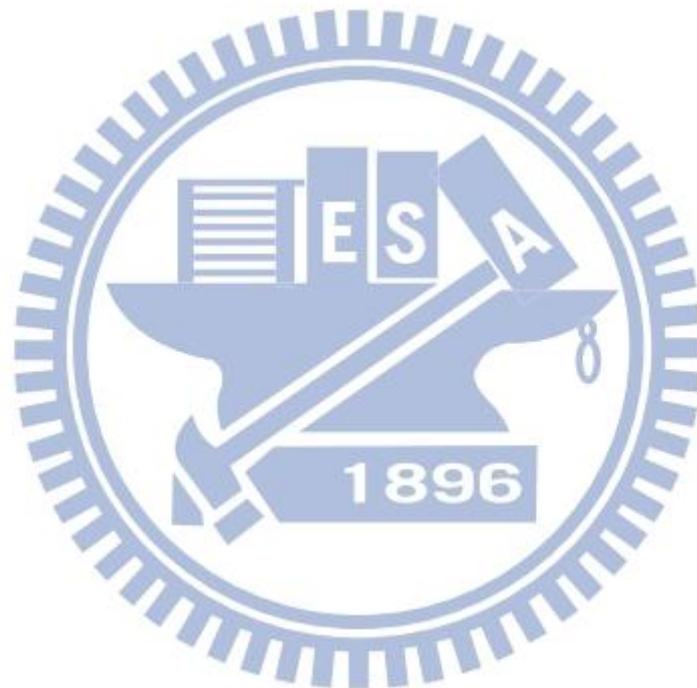
本研究發展之模式藉由加入計畫可調整性與最低可執行預算比例之相關參數與限制條件藉以整合計畫評選與預算分配之分配方法的概念。而本研究藉由範例、敏感度、權衡以及實例分析探討並驗證模式之可行性與產生之結果。而其結果也顯示，本研究考慮計畫可調整性概念可放寬原本整數規劃之限制，同時最低可執行預算比例亦可使計畫能達到一定規模。證明本研究發展之概念可應用於現實之決策環境。

4. 將決策評選過程模式化，提供決策者客觀量化參考依據

以往公共建設計畫之評選過程，缺乏一客觀比較機制，本研究藉由客觀的量化數據，並導入多目標規劃模式，藉由參數之設定、目標式與限制式體現現實環境中預算分配之決策過程。同時，本研究於模式之架構中也將計畫依據其性質分門別類，以避免將所有計畫混雜在同樣條件下評估，造成決策過程之混亂。

5. 年度預算分配之動態追蹤，可應用於下一年度計畫預算的重分配

本研究所建構之多目標計畫評選及預算分配規劃模式可依據決策者之偏好目標、計畫執行之狀況反映於參數之設定上，例如權重的搭配組合以及計畫最低限度之規模比例的再調整。當計畫期程到達一階段，需要重新審視並檢討上年度成本投入之效果時，亦可再利用本模式進行預算重分配及計畫執行再審核，例如最低可執行下限的修訂、計畫產生之效率重新評估及投入成本的重新審核。本模式之優勢在於一方面利用客觀數據量化模式分析預算分配之決策，同時因為計畫執行進度的改變而使參數設定亦可藉由專家學者意見進行更精確的修正。



6.2 建議

鑒於本研究之相關限制，在此提出未來後續發展之相關建議。

1. 本研究由於受限於時間、人力及實際資料之完整程度，僅能就低碳城市專案計畫所提供之資料及徵詢專家學者意見而假設之數據進行模式之驗證與測試。建議後續相關研究能蒐集更為完整之資訊以利分析之進行。
2. 受限於時間之原因，本研究所發展之第三模式為一複雜多目標混合整數非線性規劃 MOMINLP 問題，僅提供一收斂之參考解；同時兩目標之權重比仍需要再經過證明與校準。未來建議模式做進一步測試。
3. 因近年來地方共同生活圈之觀念已形成，各地區實際有效影響計畫效益及成本的人口數劃分趨近模糊，難以界定。因此本研究未考慮以人口數作為影響變數，建議後續未來研究能進一步作為參考。
4. 建議政府於未來之評選計畫決策過程中，明確要求各級單位提列之計畫書內容及數據做一完整性補充及評估而不僅是數據結果，僅以文字表達著實有其困難之處。同時政府於計畫評選時建議先將計畫分類，不同性質之計畫適用之社經特性也不相同，與其他計畫混雜評選較難達成實質上之公平性。
5. 為落實分配公平性之原則，建議望後相關研究可整理並建立一套公平客觀與獨立的一套統一評估標準、換算衡量公式與評選機制。以便中央決策者或利害關係人在評選過程中，能對資料之間的比較權衡關係能迅速掌握，同時避免提審計畫之單位浮報數據及評估標準不一之風險存在。

參考文獻

1. 交通部運輸研究所 (2010)，運輸設施節能減碳整體發展計畫規劃與資訊平台建置。
2. 行政院環境保護署 (2009)，全國能源會議。Published online <http://www.epa.gov.tw/> (更新至2011)
3. 余如梅 (2002)，應用多目標規劃於模糊專案之投資組合及資金配置問題，國立台北科技大學生產系統工程與管理研究所碩士論文。
4. 林小萍 (1999)，中小企業預算分配之模糊多目標決策方法，華梵大學工業管理研究所碩士論文。
5. 林幸樺 (2002)，「京都議定書彈性機制的採行對台灣總體經濟影響之研究—可計算一般均衡模型之分析」，台灣大學農業經濟學系博士論文。
6. 張乃斌 (2002)，環境系統分析原理 (下冊)，台北，茂昌圖書有限公司。
7. 許志義 (1994)，多目標決策，台北，五南圖書出版公司。
8. 馮正民、邱裕鈞 (2004)，研究分析方法，新竹，建都文化。
9. 馮正民、魏國強、洪嘉宏 (1989)，*管理科學學報*，第六卷，第一期，p27-40
10. 楊有恆、虞孝成、劉宜欣，(2007)，資源配置最適化二階層線性規劃模型之研究—以科技專案計畫預算分配為例。*科技管理學刊*，第十二卷第二期 p93-124。
11. 楊駕人 (2007)，國防預算最適化資源分配模式與應用，交通大學科技管理研究所博士論文。
12. 楊駕人 (2009)，「國防預算最適化資源分配模式與應用」，交通大學科技管理研究所博士論文。
13. 葉康洋 (2009)，應用多目標規劃方法建構軍事投資建案決策模式研究，國立中央大學工業管理研究所。
14. 蔣本基、顧洋、鄭耀文、林志森 (2006)，我國溫室氣體減量整體因應計畫，*Journal of Science and Engineering Technology*，第二卷，第一期，p1-8
15. 鄧振源 (2005)，計畫評估—方法與應用，基隆，海洋大學運籌規劃與管理研究中心。
16. 鄭志強、蔡麗敏、徐作聖、曾國雄 (2004)，模糊啟發式演算法則應用於低放射性廢棄物運送路線選擇之研究，*中華管理學報*，第五卷，第一期，p41-56
17. 簡慧貞、呂鴻光、何舜琴、林達雄 (2005)，「京都議定書生效後溫室氣體減量之因應」，台電工程月刊，第681期。
18. 顏君聿 (2008)，*臺灣經濟研究月刊*，第31卷第8期，p40-49。
19. 顏君聿 (2009)，「探討我國城市推動節能減碳計畫」，*臺灣經濟研究月刊*，32:6=378，p43-49。
20. 顏君聿 (2009)，*臺灣經濟研究月刊*，第32卷第6期，p43-49。

21. Alves, M. J. and Clímaco, J. (1999), “Using cutting planes in an interactive point approach for multi.objective integer linear programming problems”, *European Journal of Operational Research*, 117, p565-577.
22. Anable, J., Boardman, B. (2005) . Transport and CO2. UKERC Working Paper. UK Energy Research Centre, London.
23. Anderson, S.R., Kadiramanathan, V., Chipperfield, A.J., Sharifi, V. and Swithenbank, J. (2005), “Multi.objective optimization of operational variables in a waste incineration plant”. *Computers & Chemical Engineering*, 29 (5) , p1121-1130.
24. Beevers, S.D., Carslaw, D.C. (2005). “The impact of congestion charging on vehicle emissions in London”. *Atmospheric Environment*, 39, p1–5.
25. Cairns, S., Sloman, L., Newson, C., Anable, J., Kirkbride, A., Goodwin, P.(2004) . Smarter Choices – Changing the Way We Travel, UK Department of Transport.
26. DfT (2006), Visioning and Backcasting for UK Transport Policy (VIBAT) . Stage 3 Report: Policy Packaging and Pathways. Department for Transport.
27. DOT (2010), Transportation’s Role in Reducing U.S. Greenhouse Gas Emissions, Center for Climate Change and Environmental Forecasting, U.S. Department of Transportation.
28. Goicoechea, A., Hansen, D. R., & Duckstin, L. (1982), Multi.objective decision analysis with engineering and business application, Academic Press, New York.
29. Greene, D.L., Wegener, M. (1997), “Sustainable transport”. *Journal of Transport Geography*, 5, p177–190.
30. Huang, W. , Teng, J. , & Li, M. (2010), “THE BUDGET ALLOCATION MODEL OF PUBLIC INFRASTRUCTURE PROJECTS”, *Journal of Marine Science and Technology*, Vol. 18, No. 5, p 697-708.
31. Hwang, C.L., and Yoon, K. (1981), Multiple Attribute Decision Marking: Methods and Application, Springer.Verlag, Heidelberg, Berlin.
32. IEA (2002), International Energy Agency. Transportation Energy. Paris, France.
33. IEA (2009), International Energy Agency. Transportation Energy. Paris, France.
34. IPCC (2007), Climate Change 2007: Mitigation of Climate Change, Summary for Policy Maker.
35. Junn.Yuan Teng, Wen.Chih Huang, Maw.Cherng Lin (2010), Systematic budget allocation for transportation construction projects: a case in Taiwan. *Transportation*, Springer, 37, p 331-361
36. Kaplan, E.H. and Michael H.M. (2002), “Allocating HIV-prevention resources: Balancing efficiency and equity,” *American Journal of Public Health, Washington*, vol 92.

37. Kuchta, D. (2000), "Fuzzy capital budgeting," *Fuzzy Sets and Systems*, 111, p367-385.
38. Kwak, N. K., & Dominnie C. B.(1987), "A programming model for allocating operating budgets of academic units," *Social Economic Planning Sciences*, vol.21, 5, p333-339.
39. Lai, Fengbo and Ren, Jianlan (2011), "On the necessity and governance model of the construction of China's low carbon transportation system", *Energy Procedia*, v 5, p1502-1507, 2010 International Conference on Energy, Environment and Development, ICEED 2010.
40. Lai, Y.J. and Hwang, C.L. (1992), "A new approach to some possibilistic linear programming problem", *Fuzzy Sets and System*, 49, p121-133.
41. Lee, C. (2007),"Transport and climate change: a review", *Journal of Transport Geography*, 15, p354–367.
42. Lenzen, M., Dey, C., Hamilton, C. (2003). Climate change. In: Hensher, Handbooks in Transport 4: Handbook of Transport and the Environment. Elsevier, p 37–60.
43. Li, Hongqi, Gao, Hongtao (2010), "Founding low carbon highway freight transportation networks: An example study on Shandong Province", IET Conference Publications, v2010, n 573 CP, p 132.137, 6th Advanced Forum on Transportation of China, AFTC 2010
44. Li, Qianxi, Li, Qi (2010), "Low carbon transportation in Japan and its developmental analysis", IET Conference Publications, n 573 CP, p 142-143, 2010, 6th Advanced Forum on Transportation of China, AFTC 2010
45. Liang, T.F. (2010). "Applying fuzzy goal programming to project management decisions with multiple goals in uncertain environments". *Expert Systems with Applications*, 37, p8499–8507
46. Lin, M. , Tsai, J. , & Ye, Y. (2008), Budget allocation in a competitive communication spectrum economy, *EURASIP Journal on Advances Signal Processing*.
47. Liu, Quan.Le and Chen, Wei (2011), "Research on construction of urban low carbon transport system", ICMREE2011 . Proceedings 2011 International Conference on Materials for Renewable Energy and Environment, v 2, p 1263-1266, ICMREE2011.
48. Lopez.Ruiz, G. Hector (2010), "Adaptation strategies for low carbon transport by 2050", Proceedings of the Conference on Traffic and Transportation Studies, ICTTS, v 383, p186.200, Traffic and Transportation Studies 2010 . Proceedings of the 7th International Conference on Traffic and Transportation Studies.

49. Mitchell, G. (2005). "Forecasting environmental equality: air quality responses to road user charging in Leeds, UK". *Journal of Environmental Management*, 77, p212–226.
50. Potter, S. (2003). Transport energy and emissions: urban public transport. In: Hensher, Handbooks in Transport 4: Handbook of Transport and the Environment. Elsevier, p247–262.
51. Schipper, L.J., Fulton, L. (2003). Carbon dioxide emissions from transportation: trends, driving forces and forces for change. In: Hensher, Handbooks in Transport 4: Handbook of Transport and the Environment. Elsevier, p203–226.
52. Sperling, D. (2003). Cleaner vehicles. In: Hensher, Handbooks in Transport 4: Handbook of Transport and the Environment. Elsevier, p185–202.
53. Sperling, D., and Lutsey, N. (2009). Energy efficiency in Passenger Transportation. National Academy of Engineering.
54. Stanley, J., Watkiss, P. (2003). Transport energy and emissions: buses. In: Hensher, Handbooks in Transport 4: Handbook of Transport and the Environment. Elsevier, p227–246.
55. Steven A. Gabriel, Javier F. Ordóñez, and José A. Faria, (2006), "Contingency Planning in Project Selection using Multi-objective Optimization and Chance Constraints," *Journal of Infrastructure Systems*, Vol. 12, No. 2, p 112-120.
56. Tarek M. Zayed, (2004), "Budget Allocation for Steel Bridge Paint Maintenance," *Journal of Performance of Constructed Facilities*, Vol. 18, No. 1, p 36-46.
57. Waterson, B.J., Rajbhandari, B., Hounsell, N.B. (2003). Simulating the impacts of strong bus priority measures. *Journal of Transportation Engineering*, 129, p642–647.
58. WBCSD (2001) . Mobility 2001: World Mobility at the End of the Twentieth Century and Its Sustainability. World Business Council for Sustainable Development.
59. Wise, Kenneth., & Perushek, D. E. (2000). "Goal programming as a solution technique for the acquisitions allocation problem". *Library and Information Science Research*, 22 (2) , p165.183.