

以限制規劃模式構建運動賽程表—以中華職棒大聯盟為例

Constraint Programming Models for Sports Scheduling Problem -- A Case Study of Chinese Professional Baseball League

韓復華 Anthony Fu-Wha Han 張文助 Wen-Chu Chang
國立交通大學運輸科技與管理學系

Department of Transportation Technology & Management, National Chiao Tung
University

(Received September 18, 2006; Final Version March 2, 2007)

摘要：運動排程 (sports scheduling) 的問題在探討如何安排參賽隊伍的比賽時間表與其對應的場地。職業球賽賽制複雜，賽程安排是一個NP-hard的問題。本文針對我國中華職業大聯盟之賽程為個案進行探討。首先將問題列式為一個限制滿足問題 (Constraint Satisfaction Problem, CSP)，其次以限制規劃 (Constraint programming, CP) 模式構建一個三階段求解的啟發式架構，分別依序處理三連戰賽程，四連戰賽程，與場地安排三個子問題。各限制規劃模式構建於ILOG OPL Studio系統，並在Windows XP個人電腦上執行求解。本研究依據中華職棒16年 (2005年) 六個球隊與十三個場地的實際狀況，求解得到上、下半球季各15週，總共300場比賽的賽程表結果。與實際賽程表比較發現，本研究之結果在求解效率、賽制完整性與主場公平性等各方面均有優越之處，顯示本文建立之模式具實際應用價值。

關鍵詞：運動排程、賽程排程、限制滿足問題、限制規劃、中華職棒大聯盟

* 本研究得以順利完成，承蒙中華職棒大聯盟票務組涂明仁先生、記錄組賴立偉先生的協助，提供本研究個案參考資料及在模式構建上的建議，在此一併致謝。

Abstract : Sports scheduling is a NP-hard problem particularly for professional sports. This paper is focused on the sports scheduling problem of the Chinese Professional Baseball League (CPBL) in Taiwan. We formulated the problem as a CSP (Constraint Satisfaction Problem), and developed CP (Constraint programming) models to solve it. A three-phase heuristic approach is proposed to first generate partial solutions of the four-game-in-a-week schedule and the three-game-in-a-week schedule, and then to compile a complete solution with stadium assignment. The CP models were built using ILOG OPL Studio system, and the implementation was carried out on a Windows-XP PC with 2.8 GHz CPU. We successfully generated a full-year CPBL schedule in about 30 minutes. The full-year schedule results include two half-year seasons each contains 150 games covering a time period of 15 weeks, with six teams and thirteen stadiums. We also compared our results with the 2005 CPBL official timetable. It is found our results are better than the CPBL timetable in many ways. In terms of solution efficiency, our proposed method took about 30 minutes to generate the results, while the CPBL took about one week. Moreover, our results are also better on the aspects of equal host team advantage, more coverage of stadiums used, etc. Results imply that the proposed CP models are applicable to deal with the real-world CPBL scheduling problem.

Keywords : Sports Scheduling, Sports Timetabling, Constraint Satisfaction Problem, Constraint Programming, Chinese Professional Baseball League

1. 前言

運動賽程的安排對於各種運動的賽程規劃者而言，是件費時且費力的工作。運動排程問題是一種有限資源的組合分配情況，所要達成的目標很多，容易造成問題的複雜化與求解時間冗長，可想而知要在短時間內規劃出一整個球季的賽程表非屬易事。排程人員必須將有限的對戰組合做有效的安排以滿足每天的對戰需求，並考慮符合聯盟及球團相關規定，如每個球隊一星期比賽的場數、球場分配是否公平、在連續下雨天時補賽的安排情形等，如此複雜之限制條件下，使得賽程表排程需花費極長的時間。

臺灣職棒運動是近幾年相當受歡迎的運動項目，至今已正式邁入第十七年，職棒賽程表排程問題屬於組合最佳化問題，還需考量實務上中華職棒大聯盟賽程規章之相關規定為其限制條件，在模式規劃及求解上具有其難度。傳統排賽程表的作業方式是以人工之方式安排，其過程既浪費時間也無效率；球賽的排程主要是將一定場次的球隊安排在某些時間、某幾個地點之球場進行比賽，目前中華職棒大聯盟因球隊間對於地區與球迷之支持意向屬性不同，若賽程表安

排的不好，會導致各個球隊的主場使用率不佳，而直接影響到各球團之收益，票房以及球隊的支持度也會因此受影響。

由人工智慧 (Artificial Intelligence, AI) 發展而來的限制規劃 (Constraint Programming, CP)，其最大的好處在於能求解限制滿足問題，且可處理之限制條件較有彈性 (Lustig and Puget, 2001)。相較傳統以人工方式安排賽程，使用限制規劃可迅速地提供多組可行解供賽程安排人員參考，重視球場之適當分配與各球隊滿意度。在限制條件方面，除須考慮中華職棒大聯盟本身對於賽程的規定、各球團政策外，也須考慮球迷的支持意向與票房收益，種種複雜的限制條件使得賽程排程需花費極長的時間，但目前賽程表仍以傳統人工方式處理排程問題，若可應用適當的方法建立良好的賽制排程模式，配合現今快速的電腦科技，除可節省相當多的排賽程時間成本與人力投入，也能排出較佳的賽程表。

由於國內職棒賽程表安排的考量與國外不盡相同，由以往三連戰賽制增加了四連戰賽制的賽程，以及較無明顯主客場限制等；運動排程問題是屬於 NP-hard 高複雜度之組合問題，傳統文獻大多以最佳化模式 (Optimization model) 求解 (楊大輝等，民 93；蔡正誠，民 81；Fleurent and Ferland, 1993；Hertz, 1991；Russell and Leung, 1994)，在實際應用上不易處理各種限制條件，故在模式規劃以及求解上有其難度。本研究採用限制規劃 (Constraint Programming) 模式的方法，針對本國職棒賽程的特性，建立一套賽制排程模式，並輔以 ILOG OPL Studio 套裝軟體 (ILOG OPL Studio 2000) 進行求解。期望能建立符合中華職棒大聯盟規定及各球團均滿意的賽程表，以公平性、效率性且符合賽制之賽程表來解決傳統人工工作業費時且費力之缺點，對於未來球隊數目增減的情形本研究也有考量，有助強化中華職棒大聯盟正面形象，提升台灣棒球運動之發展及未來可看性。以下各節分別針對文獻回顧、個案背景、問題分析、限制滿足問題模式構建、結果分析與討論等節來介紹。

2. 文獻回顧

本研究之相關文獻主要包含「運動排程問題」與「限制規劃」二方面，分別將其內容整理並分述如下：

2.1 運動排程問題

Bean and Birge (1980) 以一個獨立球隊最少旅行成本路線為觀點，應用多元旅行銷售員問題 (Multiple-Travel Salesman Problem) 的思考模式來作為求解全美籃球協會 (National Basketball Association, NBA) 賽程表的概念。當找出一個最小成本比賽路線的賽程表之後，再以此賽程表來去驗證是否符合 NBA 聯盟的相關限制要求，反覆不段進行此演算流程直到找出合理的賽程表為止。此法約可替球隊節省了大約 20%左右的旅行成本，而 NBA 聯盟也將此賽程運用在

1980-1981 與 1981-1982 兩個球季。

國外學者有使用整數規劃方式替大西洋海岸籃球聯盟 (Atlantic Coast Conference, ACC) 排定整個賽季的賽程表 (Nemhauser and Trick, 1998)，其將此類型的問題歸類為循環賽 (Round Robin tournament)，將賽程排班的過程分成三個階段來處理。Costa (1995) 針對基因演算法 (Genetic Algorithm, GA) 與禁制搜尋法 (Tabu Search, TS) 兩種啟發式解法加以修改結合，發展一套新的啟發式演算法應用在冰上曲棍球的賽程表，結果減少所有球隊在整個球季出戰全部客場時的總旅行距離大約 8 萬多英里，替所有球隊節省了很多旅行成本。另外，McAloon *et al.* (1997) 亦曾以限制規劃模式構建美式足球循環賽賽制之模式，並求解不同隊伍數與不同賽程時間之賽程表。

Russell and Leung (1994) 發展一個以“總旅行成本”最小的兩階段數學規劃方法來替整個職棒球季的賽程安排。第一階段先產生一組符合賽程限制與需求的主客場分配樣本序列，再使用交換啟發式演算法 (Exchange heuristic) 來組合 HAP (Home-Away Pattern, 包含主場、客場，兩種情況組合的序列) 以產生不同的 HAT；接著第二階段則是以第一階段所產生的 HAT 表格中每一欄的 HAP 為依據，再把每支球隊分派到 HAP，藉由把不同隊伍分派給 HAP 來組合成一個完整的賽程表。Henz (2001) 與 Henz *et al.* (2004) 以限制規劃來安排循環賽的賽程，國外的比賽很多都是循環賽，循環賽的問題是一支隊伍與另一支隊伍對戰，在某一個隊伍的主場，且要求在一定期間內比賽幾場的賽事。

國內較少文獻在探討運動排程的課題，蔡正誠 (民 81) 首先應用網路圖形與圖形著色理論的方法發展一個兩階段的啟發式演算法來對國內職業棒球聯盟作賽程排程 (當時僅六個球隊、五個球場的狀況)，但其未考慮主客場球隊不同場地的條件，故無法應用於職棒賽程表中。近年來，楊大輝等人 (民 93) 藉目標規劃 (Goal Programming) 方法，建構數學模式，並輔以數學規劃軟體 CPLEX 進行求解。其主要缺點是在安排球場時，未考慮各隊主場球場的分配亦無法滿足每週一組四連戰與兩組三連戰的組合要求，故亦無法實際應用。表 1 是有關賽程表問題的文獻比較。

2.2 限制滿足問題與限制規劃方法

限制滿足問題 (Constraint Satisfaction Problem, CSP) 是人工智慧領域的研究主題之一，主要由三個部分所組成 (Z, D, C) (Brailsford and Birge, 1980)：

- (1) Z 代表所有的變數 (Variables)，是有限的變數集合 $Z = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 。
- (2) 值域 (Domain, D)，CSP 中每個變數都有其可能值 d_1, d_2, \dots, d_k ，每一個變數的可能值所構成的集合稱為該變數的值域 $D_i = \{d_1, d_2, \dots, d_k\}$ 。
- (3) 限制 (Constraints, C)，CSP 中的限制是用來描述變數間的關係。

表1 賽程表排程問題文獻比較

學者 (年份)	考量因素	求解方法	敘述與結果分析
Bean and Bridge (1980)	以最少旅行成本路線為觀點,應用多元旅行銷售員問題的思考模式	旅行銷售員問題	找出路線後再去驗證是否符合聯盟限制,往往會與聯盟的規定互相衝突
Russell and Leung (1994)	以“總旅行成本”最小為考量因素	數學規劃	主、客場兩種情況組合不符合目前中華職棒大聯盟的賽制
Costa (1995)	將GA與TS修改結合,發展一套新的啟發式演算法	基因演算法 禁制搜尋法	替所有球隊節省了許多旅行成本
McAloon <i>et al.</i> (1997)	用CSP定義循環賽程表問題	限制規劃	以ILOG軟體求解循環賽制之問題
Nemhauser and Trick (1998)	主場、客場、休息	整數規劃	將賽程排班過程分為三階段來處理,不符合目前中華職棒大聯盟的賽制
Henz <i>et al.</i> (2004)	循環賽比賽規則、隊伍數	限制規劃	循環賽的賽制不符合目前中華職棒大聯盟的賽制
蔡正誠 (民81)	球場分配公平	以GCP發展兩階段的啟發式演算法	與目前中華職棒大聯盟的賽制不同,場地分配也不符合實際
楊大輝、朱政威等人 (民93)	針對職棒賽程的特性以數學規劃軟體CPLEX進行求解	目標規劃	符合目前中華職棒大聯盟的賽制,但四連戰的賽程無法全部安排出來;且求解時間過長

限制規劃緣起於 1970 年代的人工智慧領域,並於 1990 年代蓬勃發展,其主要的目的是用來求解限制滿足問題。所謂的限制規劃係指「運用電腦程式發展模式化語言,讓使用者能簡單、輕易地描述限制滿足問題,並透過智慧型的空間搜尋演算法,系統地、效率地求解限制滿足問題」,此方法論的優點有下列三點 (Brailsford and Birge, 1980) :

- (1) 模式構建立的方便性：由於限制規劃語言屬於程式語言中之「宣告式語言 (Declarative Language)」,使得使用者可以很容易地建構模式。
- (2) 可處理多樣之限制式：限制規劃可以處理多種不同之限制式,如多元限制式 (N-ary

Constraints)、布林限制式 (Boolean Constraints)、邏輯限制式 (Logical Constraints)、序列限制式 (Sequence Constraints) 等。

- (3) 有效率之求解機制：其求解機制結合了許多智慧型的空間搜尋演算法 (如：Forward Checking、MAC Algorithm)、一致性 (Consistency) 技術、限制式推理機制 (Constraint Propagation)，可有效增進求解效率。

由於上述之優點，因此限制規劃近十年來被廣泛使用來探討許多不同類型的問題，且有良好的成效。國外如 Cheng *et al.* (1999) 運用於護理人員輪值問題；Darmoni *et al.* (1995) 與 Kusumoto (1996) 分別為法國 Rouen 大學醫院與日本東京之東邦大學醫院開發智慧型排班系統；Christodoulou *et al.* (1994) 利用限制規劃法求解車輛排程問題等。國內如陳春益與趙時樑(民 93)將其應用於貨櫃碼頭起重機之取櫃問題；韓復華與李俊德(民 96) 利用兩階段限制規劃模式求解署立新竹醫院護理人員的輪值班表；韓復華等人(民 91) 運用其求解交通大學全校性課程的排課問題。有鑒於限制規劃於高複雜度問題的求解效率，本研究即提出以限制規劃法構建中華職棒大聯盟賽制排程模式，並求解符合賽制與場地需求的賽程表。

3. 個案問題定義

目前中華職棒共有六支球隊 (兄弟象、興農牛、統一獅、誠泰 Cobras、LaNew 熊、中信鯨)，每年球季約自三月至十月間，賽程進行三十週，每隊每球季各打一百場，全年共計三百場的例行賽。一年賽程分為上、下兩半季，一季十五週，150 場比賽，全年 300 場賽事。每週有一組四連戰，兩組三連戰，共十場比賽。所有球隊於上下半季各要面對 50 場賽事。在場地方面，目前在全台共使用天母、新莊、新竹、台中、斗六、嘉義市、嘉義縣、台南、高雄市、高雄縣、屏東、花蓮、宜蘭等十三座比賽場地。

本研究經訪談中華職棒大聯盟排賽人員，針對賽制、球隊、時間、球場，把必須滿足的限制條件當成硬性限制 (Hard Constraints)；盡量能滿足即可的條件當成軟性限制 (Soft Constraints)，所有硬、軟性限制整理如下：

- (1) 硬性限制式：必須滿足

賽制：H1. 需滿足球季15週，每週10場賽事包括一組四連戰與兩組三連戰

球隊：H2. 每個球隊與其他五隊在每一季對戰十次

H3. 前後週之賽事，任兩隊不得重覆對戰

H4. 每週各隊伍的出賽次數限制為三次或四次

時間：H5. 每週一不安排賽事

H6. 每個球隊一天當中只能出賽一場

H7. 比賽時間需符合中華職棒大聯盟之賽制。四連戰於每週二、三、五、六四日比賽；兩場三連戰分別於每週四、五、日與每週四、六、日三日比賽。

球場：H8. 同一天一個球場只能有一場比賽

H9. 每球隊每年100場賽事中，要有50個主場場次(因門票收入全歸主場球隊)

(2) 軟性限制式：盡量滿足

球隊：S1. 上下球季主場次數要平均一致。由於每週各隊比賽均為三連戰或四連戰，每季 $3m+4n$ 場，故最平均的主場分配數為上下球季分別為26場與24場或24場與26場，即26+24或24+26次。

場地：S2. 為推廣職棒運動，所有球場均要用，使用次數與前兩年次數一致

S3. 球隊次日比賽移動的距離不可超過200公里

S4. 天母球場只能安排在每週六、日比賽

本研究即以中華職棒大聯盟為個案，在已知6個球隊、13個球場的前提下，欲求得滿足前述9組硬限制與4組軟限制之300場賽事之賽程表。

4. 問題分析

賽程表內容，可分對戰組合、賽日型態與場地分配三部分進行分析。分述如下：

4.1 對戰組合與賽日型態分析

中華職棒 6 個球隊 (編碼如表 2)，其兩兩對戰的組合共有 15 種 (C_2^6)。各個對戰組合的代碼，與代表之球隊定義如表 3。

依據中華職棒目前每週十場賽事，包括一組四連戰與兩組三連戰之安排，本研究將中華職棒大聯盟規定的比賽日組成型態定義為 A、B、C 三種型態如表 4 示，型態 A 表星期二、三、五、六的四連戰組合；型態 B 表星期四、五、日的三連戰組合；型態 C 表星期四、六、日的三連戰組合。

如前節 H2 限制所述，任何兩隊在一球季內對戰總次數為十次，由一個四連戰與兩個三連戰組合而成，亦即必須各滿足 A、B、C 三種型態恰一次。換言之，四連戰的兩個隊伍，均不得在次週再出現於四連戰的賽程內。因此，本研究針對每個對戰組合 m ，定義其下週可接受之四連戰 (型態 A) 之對戰組合集合 F_m 如表 5 示，當本週四連戰之組合 $m = 1$ 時，其對戰之球隊 1 與球隊 2 均不得出現在次週四連戰之隊伍名單內，因此在其他 15 種對戰組合內僅有 6 種可以接受，即 $F_1 = \{10, 11, 12, 13, 14, 15\}$ 。

本研究亦定義，當本週四連戰 (型態 A) 之對戰組合為 m 時，當週可接受之三連戰對戰組合之集合為 H_m 。舉例而言，當 $m=1$ 時，隊伍 1 與隊伍 2 不可以同時在本週進行 B 或 C 型態之

表2 球隊代碼

球隊代碼(t)	球隊名稱	球隊標誌
1	兄弟象	
2	興農牛	
3	統一獅	
4	誠泰Cobras	
5	LaNew熊	
6	中信鯨	

表3 對戰組合與出賽隊伍

對戰組合 代碼(m)	出賽隊伍代碼(i, j)		出賽隊伍	
	i	j		
1	1	2	象	牛
2	3	1	獅	象
3	1	4	象	誠
4	5	1	熊	象
5	1	6	象	鯨
6	3	2	獅	牛
7	2	4	牛	誠
8	5	2	熊	牛
9	2	6	牛	鯨
10	4	3	誠	獅
11	3	5	獅	熊
12	6	3	鯨	獅
13	4	5	誠	熊
14	6	4	鯨	誠
15	5	6	熊	鯨

表4 一週賽日組合型態表

	週一	週二	週三	週四	週五	週六	週日
型態A (四連戰)	補	A	A		A	A	
型態B (三連戰)	賽			B	B		B
型態C (三連戰)	用			C		C	C

表5 四連戰牽動對戰組合集合表

對戰組合 代碼 (m)	出賽隊伍 (i, j)	若本週進行四連戰則 下週可能的對戰代碼 (F_m)	兩隊進行四連戰則其他2組三連戰 可能的對戰代碼 (H_m)
1	(1, 2)	{10, 11, 12, 13, 14, 15}	{(10, 15)、(11, 14)、(12, 13)}
2	(3, 1)	{7, 8, 9, 13, 14, 15}	{(7, 15)、(8, 14)、(9, 13)}
3	(1, 4)	{6, 8, 9, 11, 12, 15}	{(6, 15)、(8, 12)、(9, 11)}
4	(5, 1)	{6, 7, 9, 10, 12, 14}	{(6, 14)、(7, 12)、(9, 10)}
5	(1, 6)	{6, 7, 8, 10, 11, 13}	{(6, 13)、(7, 11)、(8, 10)}
6	(3, 2)	{3, 4, 5, 13, 14, 15}	{(3, 15)、(4, 14)、(5, 13)}
7	(2, 4)	{2, 4, 5, 11, 12, 15}	{(2, 15)、(4, 12)、(5, 11)}
8	(5, 2)	{2, 3, 5, 10, 12, 14}	{(2, 14)、(3, 12)、(5, 10)}
9	(2, 6)	{2, 3, 4, 10, 11, 13}	{(2, 13)、(3, 11)、(4, 10)}
10	(4, 3)	{1, 4, 5, 8, 9, 15}	{(1, 15)、(4, 9)、(5, 8)}
11	(3, 5)	{1, 3, 5, 7, 9, 14}	{(1, 14)、(3, 9)、(5, 7)}
12	(6, 3)	{1, 3, 4, 7, 8, 13}	{(1, 13)、(3, 8)、(4, 7)}
13	(4, 5)	{1, 2, 5, 6, 9, 12}	{(1, 12)、(2, 9)、(5, 6)}
14	(6, 4)	{1, 2, 4, 6, 8, 11}	{(1, 11)、(2, 8)、(4, 6)}
15	(5, 6)	{1, 2, 3, 6, 7, 10}	{(1, 10)、(2, 7)、(3, 6)}

三連戰，即當週僅可能由其他四個球隊進行三連戰的對戰組合，亦即僅有三種可能的對戰組合，即 $H_1 = \{(10, 15), (11, 14), (12, 13)\}$ 。詳細之 H_m 如表 5 示。

4.2 主場因素與球場分配之分析

中華職棒與國外職棒不同，各球隊並無專屬認養的主場球場。所謂“主場”球隊是指對戰組合的兩個隊伍中，獲得該場比賽的全部票房收入的一隊。由於主場球隊可以得到該場次全部票房收入，因此各球隊在安排球場時，會考量本身的球迷人數及對手的球迷人數等因素做安排。表6為球隊代碼資料與主場球隊的球場集合，其中，主場球隊的球場代碼如表7所示，球場代碼1

表6 球隊代碼資料與主場球隊的球場集合

球隊代碼(t)	球隊名稱	主場球隊(t)的球場集合(s^t)
1	兄弟象	{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 13}
2	興農牛	{1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 10, 11, 13}
3	統一獅	{1, 2, 3, 4, 8, 9, 10}
4	誠泰 Cobras	{1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 13}
5	LaNew 熊	{10, 11}
6	中信鯨	{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13}

表7 球場代碼資料與分配次數範圍

球場名稱	球場代碼 (S)	2004年整年使用次數 [20]	2005年整年使用次數 [20]	合理之使用次數範圍	
				S_{\min}	S_{\max}
天母	1	28	28	24	30
新莊	2	70	71	70	73
新竹	3	17	21	15	30
台中	4	50	35	35	45
斗六	5	—	2	1	3
嘉義市	6	16	6	6	12
嘉義縣	7	2	5	2	6
台南	8	41	46	40	48
高雄市	9	2	8	2	10
高雄縣	10	56	58	50	60
屏東	11	9	7	6	10
花蓮	12	5	9	5	10
宜蘭	13	4	4	3	5
總計		300	300		

表天母球場，球場代碼 2 表新莊球場，其他以此類推。另外，由於軟限制 S_2 ：為推廣職棒運動，所有球場均要用，使用次數與前兩年次數一致。因此，本研究根據中華職棒大聯盟網頁 (<http://www.cpbl.com.tw/>)，參考 2004 年及 2005 年各球隊使用的球場，並與中華職棒大聯盟相關人員討論後，訂出各球場之合理使用次數範圍如表 7 所列，以滿足聯盟及球團之期望。表中 (S_{\min}, S_{\max}) 分別代表各球場最少需被使用的次數與最多可使用的次數。

為確保各球隊兩球季的總主場場次為 50 場以及上下半球季的主場次數需平均一致的兩個 (即 H_9 與 S_1) 限制，本研究依據對戰組合與主場分配表 (表 3)，設計出上下半球季組合場地對應。仔細言之，若“i”是上半季的三連戰主場球隊，則把該球隊設為下半季的四連戰主場球隊；

反之，若“j”是上半季的四連戰主場球隊，則把該球隊設為下半季的三連戰主場球隊。如此設計之對戰組合與主場球隊對應（如表 8），即可滿足硬限制 H9 與軟限制 S1 的兩個主場限制條件。以隊 1 為例，若其上半季共 2 次主場四連戰與各 3 次兩種型態的主場三連戰，下半季則為 3 次主場四連戰與各 2 次兩種型態的主場三連戰，故其上半季的主場場次即為 26 場，下半季主場場次為 24 場，兩球季總主場場次為 50 場。其他球隊以此類推如表 9 主場場次統計表所示。

5. 限制滿足問題模式構建

由於本個案賽程表排程問題複雜且求解規模龐大，故本研究將一年的賽程表分解成兩個部分，每個部份以三階段求解，包括每個球季進行 15 週共 150 場的賽事。如前節所述，本研究先設計出比賽日組合型態（表 4）來滿足 H4、H5、H6 與 H7 四個硬限制，亦設計四連戰牽動對戰組合（表 5）與主場球隊對應（表 8）來滿足 H2 硬限制與 S1 軟限制。本節即運用這些組合型態做為基礎，來構建三階段限制滿足問題模式，依序求解剩下的 H1、H3、H8、S2、S3 與 S4 之限制。三階段求解模式分別為：第一階段求解每週四連戰的對戰組合；接著將第一階段的四連戰

表8 對戰組合與主場球隊對應表

對戰組合代碼 (<i>m</i>)	出賽隊伍 (<i>i, j</i>)	上半球季			下半球季		
		四連戰 (A型態) 主場球隊	三連戰(B與C型態) 主場球隊		四連戰 (A型態) 主場球隊	三連戰(B與C型態) 主場球隊	
			B	C		B	C
1	(1, 2)	2	1	1	1	2	2
2	(3, 1)	1	3	3	3	1	1
3	(1, 4)	4	1	1	1	4	4
4	(5, 1)	1	5	5	5	1	1
5	(1, 6)	6	1	1	1	6	6
6	(3, 2)	2	3	3	3	2	2
7	(2, 4)	4	2	2	2	4	4
8	(5, 2)	2	5	5	5	2	2
9	(2, 6)	6	2	2	2	6	6
10	(4, 3)	3	4	4	4	3	3
11	(3, 5)	5	3	3	3	5	5
12	(6, 3)	3	6	6	6	3	3
13	(4, 5)	5	4	4	4	5	5
14	(6, 4)	4	6	6	6	4	4
15	(5, 6)	6	5	5	5	6	6

表9 各球隊對應之主場場次統計表

球隊	上半球季				下半球季				總和
	A (四連戰)	B (三連戰)	C (三連戰)	次數	A (四連戰)	B (三連戰)	C (三連戰)	次數	
1	2	3	3	26	3	2	2	24	50
2	3	2	2	24	2	3	3	26	50
3	2	3	3	26	3	2	2	24	50
4	3	2	2	24	2	3	3	26	50
5	2	3	3	26	3	2	2	24	50
6	3	2	2	24	2	3	3	26	50

結果作為第二階段的輸入資料，求解另外兩個三連戰的對戰組合；最後，利用球場分派模式決定每場比賽的主場場地。整體求解流程如圖 1 所示。

5.1 第一階段 CSP1 模式：四連戰對戰組合問題模式

第一階段主要是在嚴格遵守各項賽程限制下，將對戰組合安排做最有效率的整體應用，排出每週滿足各時段比賽需求之對戰組合。賽制是每季每週有 1 組四連戰，2 組三連戰，共十場比賽，十五週共 150 場賽事。

滿足四連戰需求方面，第一週在 6 隊任選 2 隊進行四連戰賽事時，第二週必須是其他 4 隊任選 2 隊來進行第二週之四連戰，以此類推，第 n 週四連戰之隊伍只要不是第 n-1 週及 n+1 週的那二隊即可，參考上一節已設定之比賽日組合型態表 6，在第一階段四連戰賽程的安排，求出第 w 週之 A 型四連戰的對戰組合，會自動對應到星期二、三、五、六這 4 天。

變數定義：

$$x_{Aw} = m \quad w \in W = \{1,2,\dots,15\}, m \in M = \{1,2,\dots,15\} \quad (1)$$

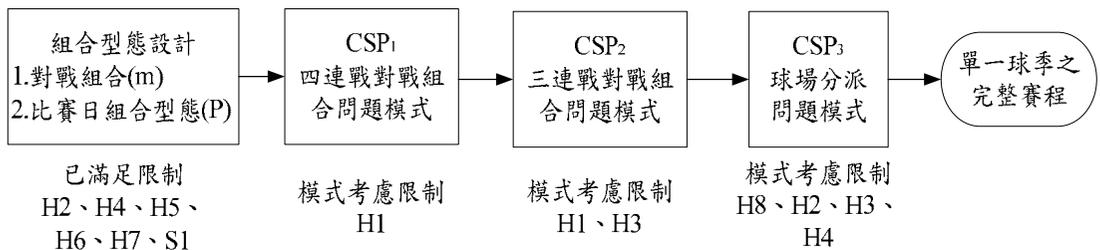


圖 1 賽制排程模式求解流程圖

表示第 w 週之A型四連戰的對戰組合 m 。

限制式：

$$(C1) \quad x_{Ai} \neq x_{Aj} \quad \forall i, j \in W \text{ 且 } i \neq j \quad (2)$$

C1 表示以對戰組合去安排第一階段四連戰賽程，每一週的對戰組合都不同。

$$(C2) \quad x_{Aw} = m \Rightarrow x_{A(w+1)} \in F_m \quad \forall w \in W, m \in M \quad (3)$$

F_m 為下週可能的四連戰對戰代碼，可參閱表 5

C2 當某週的對戰組合為 m 時，則下一週的對戰組合只能為 F_m 集合。

C1 與 C2 亦代表原問題 H1 條件中有關四連戰賽事的限制。

5.2 第二階段 CSP2 模式：三連戰對戰組合問題模式

經構建 CP 程式求解 CSP1 問題後，可求得四連戰之對戰組合 x_{Aw} ，即進入第二階段 CSP2 問題，目標在求解三連戰之對戰組合 x_{Bw} 與 x_{Cw} ，CSP2 列式如下：

變數定義：

$$x_{Bw} = m \quad w \in W, m \in H_m \quad (4)$$

表示第 w 週之B型三連戰的對戰組合 m ，

$w \in W$ ， $m \in H_m$ ， H_m 為兩隊進行四連戰則其他兩組三連戰可能的對戰代碼， H_m 可參閱表5

$$x_{Cw} = m \quad w \in W, m \in H_m \quad (5)$$

表示第 w 週之C型三連戰的對戰組合 m ，

$w \in W$ ， $m \in H_m$ ， H_m 為兩隊進行四連戰則其他兩組三連戰可能的對戰代碼

限制式：

$$(C3) \quad x_{Bi} \neq x_{Bj} \quad \forall i, j \in W \text{ 且 } i \neq j \quad (6)$$

$$(C4) \quad x_{Ci} \neq x_{Cj} \quad \forall i, j \in W \quad (7)$$

C3 與 C4 表示每週的三連戰組合均不得相同，亦代表原問題 H1 限制條件中有關三連戰賽事的限制。

$$(C5) \quad x_{Bw} = m \Rightarrow x_{B(w+1)} \neq m \wedge x_{C(w+1)} \neq m \quad \forall w \in W, m \in M \quad (8)$$

$$(C6) \quad x_{Cw} = m \Rightarrow x_{C(w+1)} \neq m \wedge x_{B(w+1)} \neq m \quad \forall w \in W, m \in M \quad (9)$$

上兩式中“ \Rightarrow ”與“ \wedge ”分別表示“則”與“且”。C5 與 C6 表示前後週之賽事，兩隊不得重覆，亦代表原問題 H3 限制條件中有關三連戰賽事的限制。

5.3 第三階段 CSP3 模式：球場分派問題模式

第三階段為「球場分派」，即將第一、二階段產生之賽程表指派給球場，除滿足各項法規、聯盟政策及對戰需求，本模式亦考慮主場球場分配之平均性與推廣性。

CSP3問題為已知整個半季的對戰組合，包括每週一個四連戰 (x_{Aw})、兩個三連戰 (x_{Bw} 、 x_{Cw}) 比賽的球隊及其主場球隊 (y_{dw})，求解每場比賽分配的球場。為便於列式，對每週10場賽事之比賽日期定義為6個時段 (d)，如表11所示，其中 $d=1$ 表示型態A四連戰的第1、2天， $d=2$ 表示型態A四連戰的第3、4天， $d=3$ 表示型態B三連戰的第1、2天， $d=4$ 表示型態B三連戰的第3天， $d=5$ 表示型態C三連戰的第1天， $d=6$ 表示型態C三連戰的第2、3天。原問題軟限制S3是希望球隊移動的距離不可超過200公里，其目的主要節省球隊差旅成本，本研究將對戰時段分群如表10所示，連續2天比賽的時間安排為一個時段指派同一球場，即可滿足S3之軟限制。

模式參數設定如下：

s_{\min} ：每座球場最少被使用的次數，如前述表9所示。

s_{\max} ：每座球場最多被使用的次數，如前述表9所示。

主要變數：

$$x_{dw} = s \quad w \in W = \{1,2,\dots,15\}, d \in D = \{1,2,\dots,6\}, s \in \{1,2,\dots,13\} \quad (10)$$

表示在 w 週 d 時段比賽的球場

$$w \in W = \{1,2,\dots,15\} \quad d \in D = \{1,2,\dots,6\}, s \in \{1,2,\dots,13\}$$

限制式：

$$(C7) \quad x_{3w} \neq x_{5w} \quad \forall w \in W \text{ (週四兩場賽事的比賽球場不能相同)} \quad (11)$$

$$(C8) \quad x_{2w} \neq x_{3w} \quad \forall w \in W \text{ (週五兩場賽事的比賽球場不能相同)} \quad (12)$$

表10 對戰時段分群

d	二	三	四	五	六	日
A	$d=1$			$d=2$		
B			$d=3$			$d=4$
C			$d=5$		$d=6$	

$$(C9) \quad x_{2w} \neq x_{6w} \quad \forall w \in W \text{ (週六兩場賽事的比賽球場不能相同)} \quad (13)$$

$$(C10) \quad x_{4w} \neq x_{6w} \quad \forall w \in W \text{ (週日兩場賽事的比賽球場不能相同)} \quad (14)$$

C7、C8、C9、C10 表示，一天有 2 場賽事時，這 2 場賽事所使用的球場不得相同，即原問題之硬限制 H9，同時亦代表原問題 H8 條件之限制。

$$(C11) \quad y_{dw} = t \Rightarrow x_{dw} \in s^t \quad \forall t \in T, w \in W, d \in D \quad (15)$$

其中 s^t 代表主場球隊(t)的球場集合， y_{dw} 代表在 w 週 d 時段比賽的主場球隊，該結果已由 前兩階段模式求解完成。

$$(C12) \quad s_{\min} \leq \sum_{d \in D} \sum_{w \in W} ((x_{dw} = s)) \leq s_{\max} \quad \forall s \in S \quad (16)$$

上式中， $((x_{dw} = s))$ 表邏輯運算，即若 $(x_{dw} = s)$ 成立，則 $((x_{dw} = s)) = 1$ ，否則 $((x_{dw} = s)) = 0$ 。

C12 為原問題職棒推廣性 S2 軟限制考慮，如本文 4.2 節所述 (s_{\min} ， s_{\max}) 為球場 s 使用場數的合理範圍。

$$(C13) \quad x_{dw} \neq 1 \quad \forall d \in \{1,2,3,5\}, w \in W \quad (17)$$

C13 表示天母球場只能安排在每週六、日比賽(滿足 S4)，週一到週五的賽事不安排天母球場。

上述為中華職棒大聯盟的三階段賽制排程模式構建。利用第一、二階段的「對戰組合」模式，產生每週的對戰組合與時段表，並於第三階段「球場分派」模式將球場指派給每場比賽，以求解出符合賽制與公平分配場地的賽程表。有關三階段求解模式的模式說明、原限制與模式限制式的對應彙整如表 11 所示。

表11 三階段CSP模式與限制式對應說明

階段	模式說明	子問題	CSP模式限制式	原問題限制*
CSP1	安排每週滿足四連戰 比賽需求之對戰組合	已知隊伍數、比賽週 數、對戰組合數、對 戰pattern，求解 x_{Aw}	C1、C2	H1
CSP2	安排每週滿足三連戰 比賽需求之對戰組合	已知 x_{Aw} ，求解 x_{Bw} 、 x_{Cw}	C3、C4 C5、C6	H1 H3
CSP3	根據前兩階段求出之 結果，搭配各個球隊 之主場資料，依據各 項限制指派球場到各 個對戰時段	已知 x_{Aw} 、 x_{Bw} 、 x_{Cw} 、主場球隊、對 戰時段、球場數、球 場資料，求解 x_{dw}	C7、C8、C9、C10 C11、C12 C13 $d \in D$ 時段定義	H8 S2 S4 S3

*原問題之其他限制：H2、H5、H6、H7、S1，已於本文第四節設計對戰組合與比賽日組合型態時即已滿足。

6. 結果分析與討論

6.1 個案模式結果

本研究依據中華職棒大聯盟球隊、球場、規則限制等，分別建立 CP1、CP2 與 CP3 三個限制規劃程式來求解 CSP1、CSP2 與 CSP3 三個限制滿足子問題，將建構出之限制規劃模式以 OPL (Optimization Programming Language) 語法寫成一模式檔，利用 ILOG OPL Studio 套裝軟體進行求解。程式執行平台為 Microsoft Windows XP 作業系統、Pentium4 2.8G Hz 中央處理器及 1GB 記憶體。CP1 可求出上千組解，其中一組解如表 12 所示，求解時間約為 1.83 秒。

把 CP1 求解的結果丟入第二階段 CP2 中，可求出 32 種組合的賽程表，其中一組賽程表如表 13 所示，求解時間約為 3.25 秒。表中第一列型 A 代表 CP1 求得之四連戰對戰組合，表中第二、三列之型 B 與型 C 代表 CP2 所求出之三連戰對戰組合，其中，主場球隊為後攻的球隊，以

表12 上半季每週的四連戰對戰組合

週次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
代碼	7	2	15	3	6	14	4	9	10	8	12	13	1	11	5
球隊	牛誠	獅象	熊鯨	象誠	獅牛	鯨誠	熊象	牛鯨	誠獅	熊牛	鯨獅	誠熊	象牛	獅熊	象鯨

表13 上半季之賽程表

週次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
型 A	牛 誠	獅 象	熊 鯨	象 誠	獅 牛	鯨 誠	熊 象	牛 鯨	誠 獅	熊 牛	鯨 獅	誠 熊	象 牛	獅 熊	象 鯨
型 B	熊 象	熊 牛	誠 獅	牛 鯨	誠 熊	獅 象	鯨 獅	獅 熊	象 牛	鯨 誠	牛 誠	象 鯨	熊 鯨	象 誠	獅 牛
型 C	鯨 獅	鯨 誠	象 牛	獅 熊	象 鯨	熊 牛	牛 誠	象 誠	熊 鯨	獅 象	熊 象	獅 牛	誠 獅	牛 鯨	誠 熊

第一週四連戰牛 vs 誠為例，誠泰即為此四連戰的主場。最後，將此對戰組合的結果丟入第三階段 CP3 中，即可求得上半季每週對戰時段的球場安排表如表 14 所示，對戰時段請參照表 10 之對戰時段分群定義，同樣以第一週四連戰為例，由於誠泰為主場，因此四連戰兩時段的球場為安排新莊與屏東兩球場。接著，重新執行三階段的求解模式，並將輸入上半季的球場結果，即可求解出下半季的賽程表與每週對戰時段的球場安排表，如表 15 與表 16 所示。

6.2 結果比較分析

一個賽程表的好壞，取決於是否都能滿足各項硬限制，以及盡量滿足各項軟限制。從原問題的軟硬限制來看，硬限制H1是需滿足一球季15週，每週10場賽事（包括一組四連戰與兩組三連戰），本研究使每週的賽事都確實滿足一組四連戰與二組三連戰的情形；亦是國內首次完全符合職棒賽制現況的研究，皆可將所有賽程在15週內完成。而中華職棒2005年所排出之賽程表中，無法讓所有賽程在15週內完成，有2週無法滿足賽制，每季必須要拖到16週，一整年需要32週才能結束賽程。軟限制S1是主場平均性，盡量使上下球季主場次數平均一致，本研究求出的主場次數為 25 ± 1 ，而中華職棒求出的主場次數為 25 ± 2 ，因此本研究所排出的主場次數較中華職棒大聯盟平均。

表14 上半季每週對戰時段的球場安排表

對戰 時段	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$d=1$	2	4	2	2	4	9	2	2	8	3	8	10	4	10	2
$d=2$	11	2	6	12	4	2	3	3	8	4	8	10	2	10	3
$d=3$	10	10	2	2	6	8	2	8	2	2	4	2	10	2	4
$d=4$	10	10	3	4	3	8	13	8	11	5	2	12	10	9	10
$d=5$	7	3	13	8	2	10	6	11	10	9	10	8	12	4	3
$d=6$	1	4	1	8	1	10	4	1	10	8	10	8	1	2	1

表15 下半季之賽程表

週次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
型 A	熊 牛	鯨 獅	誠 熊	象 牛	鯨 誠	獅 熊	象 鯨	牛 誠	獅 象	熊 鯨	象 誠	獅 牛	熊 象	牛 鯨	誠 獅
型 B	獅 象	牛 誠	獅 牛	熊 鯨	熊 牛	牛 鯨	誠 熊	熊 象	鯨 誠	誠 獅	獅 熊	象 鯨	鯨 獅	象 誠	象 牛
型 C	鯨 誠	熊 象	象 鯨	誠 獅	獅 象	象 誠	獅 牛	鯨 獅	熊 牛	象 牛	牛 鯨	誠 熊	牛 誠	獅 熊	熊 鯨

表16 下半季每週對戰時段的球場安排表

對戰 時段	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$d=1$	1 0	2	6	2	3	8	3	2	8	10	3	8	10	2	2
$d=2$	1 0	6	2	9	2	8	8	4	3	10	2	8	10	4	9
$d=3$	2	2	4	2	4	2	10	2	13	4	10	4	8	2	2
$d=4$	1	3	3	4	11	1	10	1	7	8	10	11	8	1	1
$d=5$	3	4	11	8	5	6	3	8	4	4	7	10	12	10	10
$d=6$	2	1	12	10	1	2	4	8	4	1	3	10	1	10	2

在球場推廣性方面，各球場的使用數與前2年差異並不大，2005年的賽程表在上半球季未被使用斗六球場，而本研究可讓每一季所有比賽球場都使用到，確實推廣台灣各地區的棒球運動。本研究不僅符合目前中華職棒大聯盟的賽制，每週一組四連戰、二組三連戰的賽程也可以全部安排出來，是國內首次完全符合三連戰與四連戰賽制的研究。

6.3 球隊增減因素討論

隨球隊數目變化的調整，賽程安排亦受到其他參數的影響。以本研究個案為例，球隊數目 $N = 6$ ，對戰組合有 $M = C_2^6 = 15$ 種，每季比賽週數 $W = 15$ ，每週比賽10場 ($G = 10$)，每球季總場數150場，故每種對戰組合必需重複比賽的次數為 $N_m = 150/15 = 10$ (如表17第1列所示)。當球隊數目變化保持在偶數時，本研究構建之限制滿足問題模式架構可以延用。以球隊數增加至 $N = 8$ 為例，可設計每季14週，共賽196場與168場兩種賽制 (如表17第2列所示)。但當球隊變化成為奇數隊伍時，除非每週有一隊輪休，否則本研究構建之限制滿足問題模式必須做大幅度之調整，方可適用。有關球隊增減因素的討論，詳見張文助 (民94)。

表17 球隊增減考慮因素表

N	$M\binom{N}{2}$	N_m	W	G	$M \times N_M$	$W \times G$	P	N_m	備註
6	15	10	15	10	$15 \times 10 = 150$	$15 \times 10 = 150$	{4, 3, 3}	4+3+3	每週6隊皆要出賽
8	28	7	14	14	$28 \times 7 = 196$	$14 \times 14 = 196$	{4,4,3,3}	4+3	每週8隊皆要出賽
	28	6	14	12	$28 \times 6 = 168$	$14 \times 12 = 168$	{3,3,3,3}	3+3	
7	21	10	21	10	$21 \times 10 = 210$	$21 \times 10 = 210$	{4, 3, 3}	4+3+3	每週6隊出賽，1隊輪休
	21	9	21	9	$21 \times 9 = 189$	$21 \times 9 = 189$	{3, 3, 3}	3+3+3	
	21	8	14	12	$21 \times 8 = 168$	$14 \times 12 = 168$	{4, 4, 4}	4+4	

7. 結論與建議

7.1 結論

國際上許多運動的賽程安排如：NBA、NHL、NFL、MLB 等都會面臨賽程表安排的問題。近年來運動賽程排程逐漸受到重視，國內亦有若干成果，本研究為國內首篇成功地以限制規劃方法來求解賽程表排程問題的研究，同時也是國內首篇能完全符合聯盟諸多限制條件的研究，希望給後續研究此問題的人作為參考。歸納本研究具體之研究成果如下所述：

- (1) 本研究之賽制排程模式在考量與設計上，對中華職棒大聯盟的法規與相關賽制等多方面深入瞭解，並考慮現行排程人員排賽程之規則，整理出一套切合賽程表排程的作業方法。
- (2) 賽程表結果之賽制完整性、主場公平性、與球場推廣性：經過上一節的績效評估分析，賽制的完整性、主場公平性、球場推廣性皆能符合聯盟之規定，顯示出本研究發展之限制規劃模式確實有效求解中華職棒大聯盟之賽程表。
- (3) 模式求解的效率：本研究之 CP 模式在 PC 平台下分三階段執行，共約 30 分鐘內完成中華職棒大聯盟 6 支球隊、15 個對戰組合、13 座球場、上下兩季共 300 場的對戰安排，相對於聯盟在安排賽程時，必須花費一個星期左右的時間上，大大節省了許多時間。本研究亦整理收集了去年所有比賽之相關統計報表，可以了解哪個星期、球場、對戰組合的觀眾人數，供賽程安排人員了解此情況，可作為管理決策的依據。

7.2 建議

本研究所提出之賽程表限制規劃模式確實能求解符合賽制且具公平與推廣性之賽程表，然而本研究成果仍有可改善之空間，經過本研究實證分析後，提出以下建議為後續研究之參考：

- (1) 本研究是考量符合職棒現況 6 個球隊的賽程表問題，未來當球隊數有所增減時，其模式會有些微的改變，未來可針對不同隊數去做修正。
- (2) 本研究無法達到一次完成求解，必須分為三階段進行，然而進行下個階段求解之前必須先將上一階段求解結果紀錄更新，目前本研究是以手動進行更改，建議可以撰寫 OPL Script 程式自動串起數個流程。建議未來亦可將本研究成果發展一套決策支援系統，提供排賽程人員更方便的應用。
- (3) 本研究僅就中華職棒大聯盟排賽程問題型態進行研究，而實際上每種運動排程的型態有時更為多樣，未來可考慮不同聯盟間之賽程表安排，亦可應用在其他運動賽程表中，供排賽程人員參考。

7.3 附記

本研究為依據中華職棒大聯盟 2005 年的賽程建構模式進行研究。而今年 (2006) 的賽程則有部份異動。在場地方面，新增台東棒球場，取消高雄市棒球場及嘉義縣棒球場，從去年的 13 座球場減為 12 座。另在賽制方面，由以往每週安排十場賽制，即一組四連戰和兩組三連戰，今年改採每週 12 場，即三組四連戰之賽制。因每週比賽場次的增加，上下各球季也由原來每季 15 週，規劃為每季 13 週。雖然如此規劃，但實際的賽程表如同以往，仍無法在預期規劃的球季 (13 週)內安排完成。由於新賽制每週相同的三組四連戰，在排程上比原來每週同時有一組四連戰與兩組三連戰的組合較為單純，本研究提出的限制規劃模式應仍可應用。未來球隊隊數有所增減時，則本文提出之模式則需要加入 6.3 節所敘之考慮進行修正。

附錄 限制規劃結果之全年職棒賽程表

本附錄列出本研究限制規劃模式求解得到的中華職棒2005年全年兩個球季的賽程表，分別如附表1與附表2所示。表中，6個球隊的簡稱如下：兄弟象：象、興農牛：牛、統一獅：獅、誠泰Cobras：誠、LaNew熊：熊、中信鯨：鯨。13個球場的簡稱如下：新莊球場：莊、台南球場：南、天母球場：母、高雄市球場：高、新竹球場：竹、澄清湖球場：澄、台中球場：中、屏東球場：屏、斗六球場：斗、宜蘭球場：宜、嘉義市球場：嘉市、花蓮球場：花、嘉義縣球場：嘉縣

附表 1 2005 年上半季賽程表

3月	14	15 牛(莊)誠	16 牛(莊)誠	17 象(澄)熊 獅(嘉縣)鯨	18 象(澄)熊 牛(屏)誠	19 牛(屏)誠 獅(母)鯨	20 象(澄)熊 獅(母)鯨
	21	22 獅(中)象	23 獅(中)象	24 牛(澄)熊 誠(竹)鯨	25 牛(澄)熊 獅(莊)象	26 獅(莊)象 誠(中)鯨	27 牛(澄)熊 誠(中)鯨
	28	29 熊(莊)鯨	30 熊(莊)鯨	31 獅(莊)誠 牛(花)象			
4月					1 獅(莊)誠 熊(嘉市)鯨	2 熊(嘉市)鯨 牛(母)象	3 獅(竹)誠 牛(母)象
	4	5 象(莊)誠	6 象(莊)誠	7 鯨(莊)牛 熊(南)獅	8 鯨(莊)牛 象(宜)誠	9 象(宜)誠 熊(南)獅	10 鯨(中)牛 熊(南)獅
	11	12 獅(中)牛	13 獅(中)牛	14 熊(嘉市)誠 鯨(莊)象	15 熊(嘉市)誠 獅(中)牛	16 獅(中)牛 鯨(母)象	17 熊(竹)誠 鯨(母)象
	18	19 鯨(高)誠	20 鯨(高)誠	21 象(南)獅 牛(澄)熊	22 象(南)獅 鯨(莊)誠	23 鯨(莊)誠 牛(澄)熊	24 象(南)獅 牛(澄)熊
	25	26 熊(莊)象	27 熊(莊)象	28 獅(莊)鯨 誠(嘉市)牛	29 獅(莊)鯨 熊(竹)象	30 熊(竹)象 誠(中)牛	
							1 獅(花)鯨 誠(中)牛
5月	2	3 牛(莊)鯨	4 牛(莊)鯨	5 熊(南)獅 誠(屏)象	6 熊(南)獅 牛(竹)鯨	7 牛(竹)鯨 誠(母)象	8 熊(南)獅 誠(母)象
	9	10 誠(南)獅	11 誠(南)獅	12 牛(莊)象 鯨(澄)熊	13 牛(莊)象 誠(南)獅	14 誠(南)獅 鯨(澄)熊	15 牛(屏)象 鯨(澄)熊
	16	17 熊(竹)牛	18 熊(竹)牛	19 誠(莊)鯨 象(高)獅	20 誠(莊)鯨 熊(中)牛	21 熊(中)牛 象(南)獅	22 誠(斗)鯨 象(南)獅
	23	24 鯨(南)獅	25 鯨(南)獅	26 誠(中)牛 象(澄)熊	27 誠(中)牛 鯨(南)獅	28 鯨(南)獅 象(澄)熊	29 誠(莊)牛 象(澄)熊
	30	31 誠(澄)熊					
6月			1 誠(澄)熊	2 鯨(莊)象 牛(南)獅	3 鯨(莊)象 誠(澄)熊	4 誠(澄)熊 牛(南)獅	5 鯨(宜)象 牛(南)獅
	6	7 象(中)牛	8 象(中)牛	9 鯨(澄)熊 獅(宜)誠	10 鯨(澄)熊 象(莊)牛	11 象(莊)牛 獅(母)誠	12 鯨(澄)熊 獅(母)誠
	13	14 獅(澄)熊	15 獅(澄)熊	16 誠(莊)象 鯨(中)牛	17 誠(莊)象 獅(澄)熊	18 獅(澄)熊 鯨(莊)牛	19 誠(高)象 鯨(莊)牛
	20	21 象(莊)鯨	22 象(莊)鯨	23 牛(中)獅 熊(竹)誠	24 牛(中)獅 象(竹)鯨	25 象(竹)鯨 熊(母)誠	26 牛(澄)獅 熊(母)誠
	27	28	29	30			

附表 2 2005 年下半年賽程表

7月	4	5	6	7	8	9	10
		牛(澄)熊	牛(澄)熊	獅(莊)象 鯨(竹)誠	獅(莊)象 牛(澄)熊	牛(澄)熊 鯨(莊)誠	獅(母)象 鯨(莊)誠
	11	12	13	14	15	16	17
		獅(莊)鯨	獅(莊)鯨	牛(莊)誠 熊(中)象	牛(莊)誠 獅(嘉市)鯨	獅(嘉市)鯨 熊(母)象	牛(竹)誠 熊(母)象
	18			21	22	23	24
						全明 星賽	
	25	26	27	28	29	30	31
		熊(嘉市)誠	熊(嘉市)誠	獅(中)牛 象(屏)鯨	獅(中)牛 熊(莊)誠	熊(莊)誠 象(宜)鯨	獅(竹)牛 象(宜)鯨
8月	1	2	3	4	5	6	7
		牛(莊)象	牛(莊)象	熊(莊)鯨 誠(南)獅	熊(莊)鯨 牛(高)象	牛(高)象 誠(澄)獅	熊(中)鯨 誠(澄)獅
	8	9	10	11	12	13	14
		誠(竹)鯨	誠(竹)鯨	熊(中)牛 獅(斗)象	熊(中)牛 誠(莊)鯨	誠(莊)鯨 獅(母)象	熊(屏)牛 獅(母)象
	15	16	17	18	19	20	21
		熊(南)獅	熊(南)獅	牛(莊)鯨 象(嘉市)誠	牛(莊)鯨 熊(南)獅	熊(南)獅 象(莊)誠	牛(高)鯨 象(莊)誠
	22	23	24	25	26	27	28
		鯨(竹)象	鯨(竹)象	誠(澄)熊 獅(竹)牛	誠(澄)熊 鯨(南)象	鯨(南)象 獅(中)牛	誠(澄)熊 獅(中)牛
	29	30	31				
		誠(莊)牛	誠(莊)牛				
9月				1	2	3	4
				熊(莊)象 鯨(南)獅	熊(莊)象 誠(中)牛	誠(中)牛 鯨(南)獅	熊(母)象 鯨(南)獅
	5	6	7	8	9	10	11
		象(南)獅	象(南)獅	鯨(花)誠 熊(中)牛	鯨(花)誠 象(竹)獅	象(竹)獅 熊(中)牛	鯨(嘉縣)誠 熊(中)牛
	12	13	14	15	16	17	18
		鯨(澄)熊	鯨(澄)熊	誠(南)獅 象(中)牛	誠(南)獅 鯨(澄)熊	鯨(澄)熊 象(母)牛	誠(中)獅 象(母)牛
	19	20	21	22	23	24	25
		誠(竹)象	誠(竹)象	獅(澄)熊 牛(嘉縣)鯨	獅(澄)熊 誠(莊)象	誠(莊)象 牛(竹)鯨	獅(澄)熊 牛(竹)鯨
	26	27	28	29	30		
		牛(南)獅	牛(南)獅	象(中)鯨 誠(澄)熊	象(中)鯨 牛(南)獅		
10月						1	2
						牛(南)獅 誠(澄)熊	象(屏)鯨 誠(澄)熊
	3	4	5	6	7	8	9
		象(澄)熊	象(澄)熊	鯨(南)獅 牛(宜)誠	鯨(南)獅 象(澄)熊	象(澄)熊 牛(母)誠	鯨(南)獅 牛(母)誠
	10	11	12	13	14	15	16
		鯨(莊)牛	鯨(莊)牛	象(莊)誠 獅(澄)熊	象(莊)誠 鯨(中)牛	鯨(中)牛 獅(澄)熊	象(母)誠 獅(澄)熊
	17	18	19	20	21	22	23
		獅(莊)誠	獅(莊)誠	象(莊)牛 熊(澄)鯨	象(莊)牛 獅(高)誠	獅(高)誠 熊(莊)鯨	象(母)牛 熊(莊)鯨

參考文獻

- 中華職棒大聯盟網頁，<http://www.cpbl.com.tw/>。
- 張文助，「以限制規劃構建運動排程模式－以中華職棒大聯盟賽程表排程為例」，國立交通大學運輸科技與管理學系碩士論文，民國94年。
- 陳春益、趙時樑，「貨櫃碼頭出口儲區門型起重機小車取櫃問題之研究」，運輸計畫季刊，第三十三卷第三期，民國93年，449-470頁。
- 楊大輝、朱政威、李綺容、楊智環，「中華職棒大聯盟賽程表排程問題」，第二屆全國當代行銷學術研討會，中興大學行銷學研究所，民國93年。
- 蔡正誠，「啟發式分析方法在職棒排程問題應用」，東海大學工業工程研究所碩士論文，民國81年。
- 韓復華、李俊德，「兩階段限制規劃模式求解護理人員輪值問題」，管理與系統，第十四卷第一期，民國96年，121-146頁。
- 韓復華、陳柏榮、王國琛，「應用限制規劃求解排課問題：以交通大學全校性課程排課為例」，第六屆運輸網路研討會，救國團劍潭海外青年活動中心，民國91年。
- Bean, J. C. and Birge, J. R., "Reducing Travelling Costs and Player Fatigue in the National Basketball Association," *Interfaces*, Vol. 10, No. 3, 1980, pp. 98-102.
- Brailsford, S. C., Potts, C. N., and Smith, B. M., "Constraint Satisfaction Problem: Algorithms and Applications," *European Journal of Operational Research*, Vol. 119, No. 3, 1999, pp. 557-581.
- Costa, D., "An Evolutionary Tabu Search Algorithm and the NHL Scheduling Problem," *INFOR. Ottawa*, Vol. 33, No. 3, 1995, pp. 161-179.
- Cheng, B. M. W., Choi, K. M. F., Lee, J. H. M., and Wu, J. C. K., "Increasing Constraint Propagation by Redundant Modeling: an Experience Report," *Constraints: An International Journal*, Vol. 4, No. 2, 1999, pp. 167-192.
- Christodoulou, N., Wallace, M., and Kuchenhoff, V., "Constraint Logic Programming and Its Application to Fleet Scheduling," *Information and Decision Technologies*, Vol. 19, No. 3, 1994, pp. 135-144.
- Darmoni, S. J., Fajner, A., Mahé, N., Leforestier, A., Vondracek, M., Stelian, O., and Baldenweck, M., "Horoplan: Computer-Assisted Nurse Scheduling Using Constraint Based Programming," *Journal of the Society for Health Systems*, Vol. 5, No. 1, 1995, pp. 41-54.
- Fleurent, C. and Ferland, J., "Allocating Games for the NHL Using Integer Programming," *Operations Research*, Vol. 41, No. 4, 1993, pp.649-654.

- Hertz, A., "Tabu Search for Large Scale Timetabling Problems," *European Journal of Operational Research*, Vol. 54, No. 1, 1991, pp. 39-47.
- Henz, M., "Scheduling a Major College Basketball Conference—Revisited," *Operations Research*, Vol. 49, No. 1, 2001, pp. 163-168.
- Henz, M., Muller, T., and Thiel S., "Global Constraints for Round Robin Tournament Scheduling," *European Journal of Operational Research*, Vol. 153, No. 1, 2004, pp. 92-101.
- Kusumoto, S., "Nurse Scheduling System Using ILOG Solver," In *Proceedings of the Second ILOG Solver and Scheduler Users Conference*, Paris: ILOG., 1996.
- Lustig, I. J. and Puget, J. F., "Program Does Not Equal Program: Constraint Programming and Its Relationship to Mathematical Programming," *Interfaces*, Vol. 31, No. 6, 2001, pp. 29-53.
- McAloon, K., Tretkoff, C., and Wetzel, G., "Sports League Scheduling," In *Proceedings of Third ILOG International Users Meeting*, Paris, 1997.
- Nemhauser, G. L. and Trick, M. A., "Scheduling a Major College Basketball Conference," *Operations Research*, Vol. 46, No. 1, 1998, pp. 1-8.
- Russell, R. A. and Leung, J. M. Y., "Devising a Cost Effective Scheduling for a Basketball League," *Operations Research*, Vol. 42, No. 4, 1994, pp. 614-625.