國立政治大學經濟學系碩士學位論文

中華職棒攻守能力、效率與達標效能之研究

國立政治大學
National Chengchi University

指導教授：李文福 博士

研究生：賴楨澔 撰

中華民國一一〇年一月

DOI:10.6814/NCCU202100366

摘要

中華職棒即將邁入第三十二年，國內外針對職業運動績效評估逐漸受到重視，過往常以傳統 DEA 法分析投入產出效率問題，而在講求專業分工的現代，探討球隊內部結構的運作勢在必行。

本研究參考 Lewis, Lock and Sexton(2009)棒球效率評估模型，將球隊分為進攻、防守和整合三個部門。本研究以 Network DEA 探討中華職棒 2003 至 2018 年間攻守能力、效率與達標效能的表現，進攻能力(O-capability)與防守能力(D-capability)定義為壘打數、總保送和失誤的綜合指標。另外藉由三者與得失分來衡量各球隊效率表現，並以例行賽勝率與季後賽戰績累積機率作為最終達標效能。

實證結果顯示國內職棒打者不管在打擊或選球上都有持續進步，而在防守上失誤次數也逐漸地減少，顯示選手平均素質越來越高，卻也凸顯國內投手的問題。不論例行賽或季後賽，攻守能力與效率對達標效能皆有高度解釋力，顯示兩者確實為影響達標效能的重要因子，其中攻守能力較效率更具影響力。

比較攻守能力與效率對達標效能的相對貢獻在例行賽和季後賽中最大的不同點是獲勝效率，在季後賽中獲勝效率對達標效能具有較高的貢獻度，推測短期且競爭激烈的賽事中，若能贏得比分較接近的比賽，將能率先取得優勢並大幅提升球隊信心，進而取得較佳成績。

關鍵字：網絡資料包絡分析法、職業棒球、能力、效率、達標效能

DOI:10.6814/NCCU202100366

Abstract

The Chinese Professional Baseball League(CPBL) is about to enter its 32nd year. The performance evaluation of professional sports has gradually received attention at home and abroad. In the past, the traditional DEA method was used to analyze the efficiency of input and output. However, the operation trend of the team internal structure must be discussed in this work specialization modern time.

This study refers to the Lewis, Lock and Sexton (2009) baseball efficiency evaluation model, which divides the team into offense, defense, and integration. This study uses Network DEA to discuss the performance of offensive and defensive capability, efficiency and effectiveness of the CPBL from 2003 to 2018. Offensive and defensive capabilities are defined as the comprehensive index of the total bases, total walks and turnovers. In addition, the efficiency performance of each team is measured by the three factors and the runs. The regular season winning rate and the cumulative probability of the post season record are used as the effectiveness.

The empirical results show that domestic professional baseball players have continued to improve both in hitting and picking, and the number of defensive turnovers has gradually decreased. It not only shows that the average quality of players is getting higher and higher, but also highlights the problem of domestic pitchers. Regardless of the regular season or the post season, both offensive and defensive capability and efficiency have a high degree of explanatory power for the effectiveness. It shows that these two are the indeed important factors affecting the effectiveness and the capability is more influential than the efficiency.

國立政治大學 National Chengchi University

DOI:10.6814/NCCU202100366

Comparing the relative contribution of effectiveness between offensive and defensive capabilities and efficiency, the difference between the regular season and the post season is the winning efficiency. Winning efficiency in the post season has a higher contribution to the effectiveness. It is speculated that short-term and highly competitive events in the game. If you can win a game with a close score, you will be able to take the lead and greatly enhance the team's confidence, and then achieve better results.

國立政治大學
National Chengchi University

Keywords: Network DEA, Professional baseball, Capability, Efficiency, Effectiveness

DOI:10.6814/NCCU202100366

目 次

第一章 緒論 1
1.1 研究動機 1
1.2 研究目的 3
第二章 文獻回顧 4
2.1 棒球效率評估之文獻 4
2.2 小結 7
第三章 理論基礎 10
3.1 效率與 DEA 10
3.1.1 效率評估 10
3.1.2 資料包絡分析法基本理論(DEA) 11
3.1.3 網絡資料包絡分析法(Network DEA) 12
3.2 棒球場上表現評估 13
3.2.1 能力 14
3.2.2 效率 15
3.2.3 例行賽與季後賽達標效能 18
3.3 加權最小平方迴歸分析(Weighted least squares regression) 19
第四章 實證分析 21
4.1 變數選取與資料來源 21
4.2 投入與產出資料變數 21
4.2.1 投入產出變數解釋 22
4.2.2 投入產出基本敘述統計 23
4.3 實證結果分析 25
4.3.1 例行賽攻守能力、效率與達標效能之基本敘述統計 25
4.3.2 晉級季後賽與否的攻守能力、效率與達標效能比較 30
4.3.3 例行賽攻守能力與效率對例行賽達標效能之迴歸分析 31
4.3.4 季後賽攻守能力與效率對季後賽達標效能之迴歸分析 33
第五章 結論與建議 37
參考文獻 39
中文部分 39
英文部分 40

DOI:10.6814/NCCU202100366

表次

表 1 DEA 相關文獻彙整表 7
表 2 季後賽戰績機率分布與達標效能值 19
表 3 進攻端投入產出基本敘述統計 23
表 4 防守端投入產出基本敘述統計 24
表 5 例行賽攻守能力之基本敘述統計 25
表 6 例行賽效率之基本敘述統計 26
表 7 例行賽達標效能之基本敘述統計 26
表 8 中信兄弟球隊各年度效率統計表 27
表 9 統一獅球隊各年度效率統計表 28
表 10 Lamigo 桃猿球隊各年度效率統計表 28
表 11 富邦悍將球隊各年度效率統計表 29
表 12 中信鯨球隊各年度效率統計表 30
表 13 誠泰 Cobras 球隊各年度效率統計表 30
表 14 攻守能力、效率與達標效能之假說檢定 31
表 15 例行賽攻守能力與效率對例行賽達標效能之迴歸分析 32
表 16 例行賽攻守能力與效率對例行賽達標效能之偏判定係數 33
表 17 季後賽攻守能力、效率和達標效能之基本敘述統計 34
表 18 季後賽攻守能力與效率對季後賽達標效能之迴歸分析 35
表 19 季後賽攻守能力與效率對季後賽達標效能之偏判定係數 36

國立政治大學 National Chengchi University

DOI:10.6814/NCCU202100366

圖次

圖 1 邊界投入與產出 10
圖 2 Farrell 投入面效率衡量 11
圖 3 Lewis, Lock and Sexton (2009)棒球效率評估模型 14

國立政治大學
National Chengchi University

DOI:10.6814/NCCU202100366

第一章 緒論

1.1 研究動機

棒球是臺灣國球，從日治時期開始，臺灣受到日本人統治的影響，棒球運動悄悄的進入臺灣，在社會與學校的大力推廣下，從北到南再往東，逐漸形成家喻戶曉的運動項目；戰後時期，隨著三級棒球的穩定發展，臺灣棒球逐漸在世界舞台發光發熱，掀起民族主義的狂熱；進入 80 年代，臺灣職棒尚未萌芽，導致許多優秀球員出走，為了徹底解決此問題，兄弟飯店董事長洪騰勝先生尋求各方企業贊助，進而正式成立「中華職業棒球聯盟」，致使臺灣成為繼日本、韓國之後，亞洲第三個成立職業棒球聯盟的國家，為臺灣職業運動開啟新篇章。

職業棒球聯盟之球團宛如一間企業組織，企業要達成年度計劃目標且長期穩定發展主要仰賴優秀人才的能力(capability)和良好的資源管理效率(efficiency)。然而這兩因素的功能與影響力不盡相同，所需的資源投入也不一樣，因此企業須將兩者做有效的配合才能產生最大效益，職業球隊經營亦是如此。

球隊達成年度目標與長期穩定發展皆需要仰賴優秀球員的攻守能力和教練團良好的管理效率，每年球隊的共同唯一目標就是贏得年度總冠軍，而這個達標過程分為兩階段，第一階段目標為爭取例行賽佳績晉級季後賽，第二階段目標為征戰季後賽取得總冠軍。由於球團資源總是有限，探索攻守能力和管理效率對達標效能(effectiveness)的相對貢獻度，成為球隊在競爭環境中能達成年度目標與長期穩定發展的重要課題，此資訊有助於球團經營者擬定改善資源配置的策略。

DOI:10.6814/NCCU202100366

申言之，培育具備攻守能力的優秀人才和維持高管理效率是球隊能有高達標效能與穩定發展的兩大要素，且兩者必須兼顧，不可偏廢。若未能有效管理調配球員使其攻守潛力適時充分發揮，球隊很難獲得佳績；同樣地，再厲害的組織管理效率，若球員沒有足夠的攻守專業能力，球隊也難以追求勝利。在 Lewis, Lock and Sexton(2009)的研究中指出現今社會產業發展，在高所得的產業(如高科技製造、大學、醫院和職業運動)中，能力比效率更為重要，而在低所得的產業(如清潔公司、速食業和零售業)中，效率卻較能力重要。這現象是否也存在於我國職棒中值得我們進行實證研究一窺究竟。

綜觀過往數十年研究，職業運動的績效評估在國內外逐漸盛行，過往常見的方法為傳統的資料包絡分析法(data envelopment analysis, DEA)，藉由多投入多產出的方式計算決策單位(decision making units, DMUs)的績效表現，然而 DEA 法僅關注起始投入(initial inputs)與最終產出(final outputs)之間的生產效率關係，忽略實際生產過程中可能存在內部結構(internal structure)的問題，而現今常見的方法為網絡 DEA (Network DEA)，將生產過程中內部結構的這個黑箱子(black box)也納入考慮，界定並評估製程網絡相關性與績效。Lewis, Sexton and Lock(2007)將職業運動球隊的整體經營分為兩階段探討，利用 Two-stage DEA 評估球團前端行政(front office)與場上(on-field)運作的效率表現，然而過程中仍缺少進攻與防守兩部門對於球隊戰績的影響分析，因此本研究以 Network DEA 探索球隊的攻守能力與球隊管理效率對例行賽與季後賽達標效能具有多少相對貢獻，使球團在未來訓練和培育人才上能有更明確的策略參考方向。

DOI:10.6814/NCCU202100366

1.2 研究目的

今年中華職棒聯盟邁入第三十二年，各球團於每年花費數千萬資金添購先進設備並舉辦移地訓練等，主要目的為提升職棒環境與增進球員技術及心理建設，進而增加球隊競爭力，而棒球是一項非常講究團隊合作的運動，球員於場上能否將能力充分展現並與隊友默契搭配實屬關鍵。因此本研究以 2003 年至 2018 年中華職棒全體球隊作為研究對象和範圍，主要研究目的如下:

(1)建立衡量球隊攻守能力指標，並且分析歷年球隊攻守能力變動趨勢。

(2)運用 Network DEA 評估進攻面向、防守面向、整合面向的效率績效。

(3)利用 weighted least squares regression(WLSR)分析攻守能力與效率對達標效能的相對貢獻。

科技時代的來臨伴隨著專業儀器觀測的數據分析，球團可以檢視在有限的資源下，球隊整體戰力是否獲得充分發揮，而藉由將球隊整體分解成各部門，找出球隊無效率的部門得加以改善，球隊重拾競爭力的同時也讓中華職棒環境更優質。

國立政治大學 National Chengchi University

DOI:10.6814/NCCU202100366

第二章 文獻回顧

隨著社會蓬勃發展以及科技的進步，運動產業開始講求數據表現並且引進許多高科技設備作為輔助，尤其是需要團隊合作的棒球運動，近年來許多學者開始運用棒球基本數據表現作為分析要素，因此本章將先探討關於棒球效率評估的相關文獻，此外本研究所使用的 Network DEA 法已被廣泛運用，故探討現今常見的 Network DEA 架構。

2.1 棒球效率評估之文獻

江志坤(1994)為台灣第一篇關於職棒效率分析的論文，極具有代表性並帶領台灣進入職業運動效率數據表現的領域，其採用資料包絡分析法並選取 1993 年至 1994 年中華職棒時報鷹隊球員成績做為分析因子，將選手分為野手與投手兩類，野手的投入項為月薪和打數，產出項則為打擊率、上壘率、壘打數、安打、得分、打點；而投手的投入項為月薪、投球局數和投球數，產出項為三振、三振率和防禦率的倒數，求取全體隊員的相對效率，找出過量投入和產出不足部分以利調整。實證結果顯示具有相對效率的球員，薪資亦有向上調整的趨勢。

吳佳芳(2003)建立生產函數實證模型，分析台灣職棒大聯盟元年至五年的經營表現，以打擊率、三振數、投手自責分、守備率和全壘打數做為投入，相對得分率做為產出，估計出四隊各年度的生產函數，透過計算各隊生產邊界，檢視球隊預測產出排名是否準確以及探討球隊對於球員選擇是否提高產出水準。

林閔鈞(2003)參考網路遊戲「風雲總教頭」中的綜合指標計分方式搭配 DEA 法評估 2000 年至 2002 年 MLB 30 支球隊的經營管理效率，其中以野手薪

DOI:10.6814/NCCU202100366

資總和與投手薪資總和作為投入項，球隊勝場數、野手表現綜合指標和投手表現綜合指標作為產出項，藉此瞭解各球隊經營情況與待加強事項。

卓筱婷(2005)將職棒產業生產過程分為兩階段，第一階段為球團花錢聘僱球員，第二階段為球員發揮技術潛能贏球，以野手與投手年度平均薪資作為投入，球隊年度勝率作為產出，中間產物為打擊率、長打率、盜壘率、上壘率、守備率、投手防禦率和三振率，將場上場下劃分，並以 Tobit 截斷迴歸模型探討影響球隊效率的變數。實證結果顯示對戰觀眾數、聯盟變革和現場轉播對前置效率有顯著影響，投手平均年齡和獎勵制度對臨場效率有顯著影響。

王禹斌(2006)採用隨機邊界法評估美國職棒 1998 年至 2004 年的技術效率表現，投入項為投手防禦率、攻擊指數和守備率，產出項為勝率，另外加入外生變數項進行分析。實證結果顯示除了投球、打擊和防守外，球隊士氣、所屬城市人口數和管理者經驗對於技術效率皆有顯著影響。

游秉睿(2006)運用兩階段 DEA 法研究中華職棒 2004 年至 2005 年六支球隊的整體效率表現，首先以全隊薪資作為投入，勝率和主場觀眾人數作為產出，中間投入產出為投手、打擊與守備的三項指標，將生產階段與管理階段分開討論，再以交叉效率方式推論各球隊的效率排名。

陳信宏(2010)以團隊投手與野手平均薪資作為投入項，團隊打擊率、長打率、盜壘率、上壘率、守備率和投手防禦率作為產出項分析中華職棒元年至二十年間的球隊經營表現，輔以 Tobit 迴歸分析影響總效率表現的可能因素。實證結果顯示職棒發展大略可分為簽賭爆發前、兩聯盟共存和兩聯盟合併三期，簽賭爆發前效率經營表現遞減，兩聯盟共存時多數球隊經營效率不佳，兩聯盟合併後經營績效開始提升。

劉佳倫(2017)參照 O'Donnell, Rao and Battese(2008) Meta-frontier DEA 法評估日本職棒 2015 年例行賽中 144 名打者績效表現，選取年薪、出賽場次和打數作為投入，安打、打點和三振作為產出。實證結果顯示養樂多隊打者整體效率

DOI:10.6814/NCCU202100366

最佳，而阪神虎對打者整體效率最差，此外中央聯盟打者效率值優於太平洋聯盟打者。

Bennett and Flueck(1983)利用多元迴歸檢定美國職棒 1969 年至 1976 年間十個進攻相關的數據因子對於得分的解釋力與顯著性，並藉由偏迴歸判別各變數的貢獻度。研究結果顯示打擊率(BA)與長打率(SP)皆為較差的預測因子，而 ERPA 則為較好的預測因子，然而 ERPA 計算較為複雜，進攻平均(OA)則相對簡單計算且具有好的預測能力。

Rosner, Mosteller and Youtz(1996)建立以負二項分配與條件機率的模型描繪每局投手遭遇打者數的機率分配與被得分的局數機率分配，透由美國職棒 1990 年球季中 77 位投滿 30 局以上的投手其每場比賽前三局的逐一過程，並輔以最大概似估計法與卡方適合度檢定來判定是否預測符合實際情況。結果顯示預測資料皆大於實際資料，但整體而言仍然能夠掌握住其趨勢。

Bukiet, Harold and Palacios(1997)採用馬可夫鏈模擬棒球場上的所有情況，當給定先決條件的數據時便能估算球隊每局能得幾分以及如何安排火力最大化的打擊順序，甚至預測球隊賽季戰績等相關數據，對於球團在整體球隊戰力評估上更有數據可供參考。

Sueyoshi, Ohnishi and Kinase(1999)認為 DEA 為客觀且有效的績效評估方法，然而有時會同時具有過多效率相同的 DMU 以致無法做詳細比較，因此採用馬可夫鏈模擬棒球場上的所有情況，搭配作者自行定義的 OERA(Offensive earned-run average)指標，評估 1995 年日本職棒中央聯盟中的 30 位打者攻擊表現。

Sexton and Lewis(2003)採用兩階段 DEA 模型分析 1999 年 MLB 各球團行政效率與球員場上效率，利用全隊薪資作為投入項，球隊勝場數為產出項，中間變數為球員才能，其中球員才能是以總上壘次數與總被上壘次數來評估，藉此找出無效率生產過程的原因並提出改進方案。

DOI:10.6814/NCCU202100366

Lewis, Lock and Sexton(2009)採用 Network DEA 模型分析 1901 年至 2002 年 MLB 所有球隊的場上效率表現，先將進攻與防守分為兩部門分析，再藉由整合部門作統整，第一階段進攻與防守部門皆採壘打數、保送與失誤作為投入，得分與失分作為產出，第二階段則將得分與失分作為投入，勝場數作為產出，完美切割進攻、防守與管理之間的關係，最終搭配假說檢定與迴歸分析找出球隊晉級季後賽與否之間的差異和有待改善的部門。

2.2 小結

自從棒球運動發展以來，國內外各種針對棒球的研究不勝枚舉，其中 DEA 法最為常見，DEA 的基本概念為產出除以投入求取效率值，由於 DEA 僅須制定投入產出要素便能運作，因此許多學者早已廣泛運用並提出許多模式相關的修正以符合情境設定，表 1 整理 DEA 法在棒球領域的主要相關文獻。

表 1 DEA 相關文獻彙整表

作者	年度	研究方法	變數	
			投入要素	產出要素
江志坤	1994	DEA	月薪 打數 投球局數 投球數	打擊率 上壘率 壘打數 安打 得分 打點 三振 三振率 防禦率的倒數
吳佳芳	2003	DEA	打擊率 三振數 投手自責分 守備率 全壘打數	相對得分率

DOI:10.6814/NCCU202100366

表 1 DEA 相關文獻彙整表(續 1)

林閔鈞	2003	DEA	野手薪資總和投手薪資總和	球隊勝場數 野手表現綜合指標 投手表現綜合指標
卓筱婷	2005	兩階段 DEA	野手平均薪資 投手平均薪資	打擊率 長打率 盜壘率 上壘率 守備率 投手防禦率 三振率
			打擊率 長打率 盜壘率 上壘率 守備率 投手防禦率 三振率	球隊年度勝率
王禹斌	2006	SFA	投手防禦率 攻擊指數 守備率	勝率
游秉睿	2006	兩階段 DEA	全隊薪資	投手指標 打擊指標 守備指標
			投手指標 打擊指標 守備指標	勝率 主場觀眾人數
陳信宏	2010	DEA	投手平均薪資 野手平均薪資	團隊打擊率 團隊長打率 團隊盜壘率 團隊上壘率 團隊守備率 投手防禦率

國立政治大學 National Chengchi University

DOI:10.6814/NCCU202100366

表 1 DEA 相關文獻彙整表(續 2)

劉佳倫	2017	Meta-frontier DEA	年薪 出賽場次 打數	安打 打點 被三振數
Sexton and Lewis	2003	兩階段 DEA	全隊薪資	總上壘次數 總被上壘次數
			總上壘次數 總被上壘次數	球隊勝場數
Lewis, Lock and Sexton	2009	Network DEA	壘打數 被保送 對手失誤	得分
			被壘打數 保送 失誤	失分
			得分 失分	勝場數

綜觀上述文獻，過往學者大多採以一階段或兩階段 DEA 作分析，一階段 DEA 可以處理多投入多產出的效率問題，並且看出一個 DMU 的整體效率表現，卻未能體現生產過程中的各個環節，因此無法得知生產過程中不同環節的效率表現。兩階段與多階段 DEA 作為一階段 DEA 的延伸，將生產過程分解，更加有效理解球隊現實情況，同時也更加瞭解各部門優缺點所在。

Network DEA 保留傳統 DEA 的基本概念卻能滿足各種不同的模型假設，相較傳統 DEA，Network DEA 更能清楚知道公司整體運作流程以及分工細節並說明各產業每個階段中各部門的優缺點，藉機調整營運策略提升經營效率。

本研究將以 Network DEA 評估中華職棒各球隊部門的效率表現，藉此比較各球隊部門的優劣勢並且進行策略調整。此外，國內棒球相關文獻針對攻守能力與效率對達標效能的相對貢獻度未曾提及，因此本文使用加權線性迴歸探討攻守能力與效率對達標效能具有多少解釋力，以利球團未來在資源配置能有效率的應用。

DOI:10.6814/NCCU202100366

第三章 理論基礎

本章將探討研究中所使用的「網絡資料包絡分析法」(Network Data Envelopment Analysis)，參照 Lewis, Lock and Sexton(2009)針對棒球場上的效率評估，利用棒球效率評估模型衡量例行賽球隊能力、效率和達標效能與季後賽球隊達標效能。此外，運用加權線性迴歸分析檢視例行賽球隊的攻守能力與效率對例行賽與季後賽的達標效能具有多少解釋力。

3.1 效率與 DEA

3.1.1 效率評估

假設決策單位使用單一投入(X)生產單一產出(Y)，則生產函數 Y=F(X)顯示為在給定生產技術條件下，不同投入與最大產出之間的對應關係，由於生產函數所定義的是最大產出，故稱為生產前緣(production frontier)，又稱為效率前緣(efficient frontier)。某一投入產出組合接近生產前緣的程度可視為該經濟活動的效率程度，以圖 1 為例，在變動規模報酬(variable returns to scale, VRS)折線生產技術(piecewise linear technology)狀況下，若從產出面觀點，決策單位 A 的效率為真實產出與邊界產出之比，即為 $\overline{XA}/\overline{XB}$；若從投入面觀點，決策單位 A 效率為邊界投入與真實投入之比，即為 $\overline{YC}/\overline{YA}$。

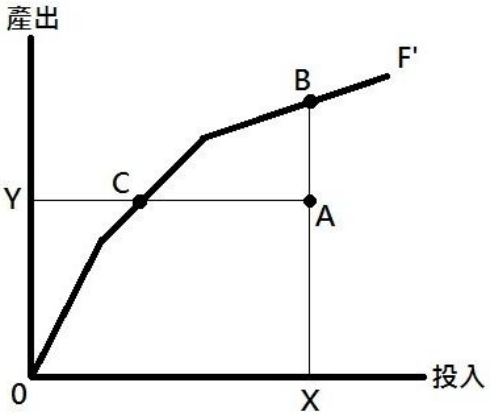

圖 1 邊界投入與產出

DOI:10.6814/NCCU202100366

實證上常用兩種方法衡量生產效率，一種為資料包絡分析法(Data Envelopment analysis, DEA)，透過非參數式的線性規劃求取效率邊界；另一種為隨機邊界分析法(Stochastic frontier analysis, SFA)，將生產邊界設定為參數式函數，並藉由適當的統計方法求取參數估計值，本研究採取前者進行分析。

3.1.2 資料包絡分析法基本理論(DEA)

資料包絡分析法是線性規劃中求取最適解的方法，因為具有無母數的特性，故不須事先設定函數形式，利用決策者設定投入項與產出項的觀察值便能推估生產函數並求取效率前緣，進而估計所有決策單位的相對效率，整體過程處理上相對容易，因此目前已廣泛運用於各產業之中。此外在建構生產函數的過程中，由於所有觀察點皆被效率邊界包絡，故學者稱此法為資料包絡分析法。

DEA 所建立的基本概念源自於 Farrell(1957)，圖 2 繪出在固定規模報酬的假設下，多投入單一產出的效率衡量方式，$\overline{SS'}$ 為單位產出下的要素投入邊界，$\overline{AA'}$ 為要素投入價格比，P 點為廠商的實際生產情形，藉由效率前緣與要素投入價格比求取技術效率($\overline{OQ}/\overline{OP}$)與價格效率($\overline{OR}/\overline{OQ}$)。

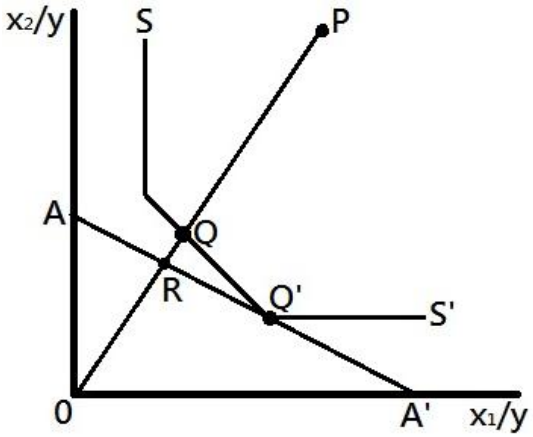

圖 2 Farrell 投入面效率衡量

DOI:10.6814/NCCU202100366

Charnes, Cooper and Rhodes(1978)將其想法延伸，給予各投入產出項權重並且加入柏拉圖最適解的概念發展出現今耳熟能詳的 CCR 模式；往後，Banker, Charnes and Cooper(1984)放寬 CCR 模式中固定規模報酬的假設為變動規模報酬形成所謂的 BCC 模式。

3.1.3 網絡資料包絡分析法(Network DEA)

傳統 DEA 法顛覆過往對於績效評估的方式，開創運用多投入多產出的方法對決策單位進行效率評估，由於此方法相對簡單，因此多年來已廣泛運用於各領域的實務操作中；然而，傳統 DEA 法將所有決策者視為單一系統，並未考慮到系統運作的內部結構，因此 Charnes, Cooper, Golany, Halek, Klopp, Schmitz and Thomas(1986)提出兩階段 DEA 模型運用在軍隊招募上，首先將軍隊招募分為廣告宣傳和合約簽定兩個階段，再個別求取各環節的管理效率情況，透過拆解系統結構更能看出問題的關鍵所在，而後現今 Network DEA 已逐漸發展成熟，多以各種不同形式和架構展現以符合各產業領域的需求，Kao(2014)將 Network DEA 相關文獻彙整並且分為七大類(基礎兩階段、一般兩階段、串列、並列、混合、層次和動態)，其中以基礎兩階段模型(Basic two-stage structure)為最大宗，它最大的特點為以第一階段的所有產出作為第二階段的投入，過程中以中間產物作連接，進而分析各階段的效率表現。

第二類為一般兩階段模型(General two-stage structure)，作為基礎兩階段模型的延伸，將第一階段的部分產出作為第二階段的投入，過程中以中間產物作連接，並且允許第二階段加入其他外生的投入，建構更多元化的模型設定。

第三類為串列結構模型(Series structure)，將一般兩階段模型擴展成為多階段模型，允許各階段皆可以加入外生的投入與產出，並且各階段間皆以不同的中間產物作串接。

DOI:10.6814/NCCU202100366

第四類為並列結構模型(Parallel structure)，共同投入要素總量須固定，各生產過程均獨立運作並且可以加入外生投入與產出，藉此分析在資源重分配下使得效率達到最高。

第五類為混合模型(Mixed structure)，結合前述的串列結構模型與並列結構模型，整體模型能夠隨研究者所設定模型作調整，得以因應不同研究議題，本研究便使用此模型假設。

第六類為層次模型(Hierarchical structure)將複雜的決策問題區分為數個層級，並且層級內可以獨立進行分析，各層間不存在相互關係。

第七類為動態模型(Dynamic structure)，具有跨期的特性，常運用在時間序列資料中，每期之間均有連動影響，而各期的模型結構皆可是前述的任一模型。

3.2 棒球場上表現評估

棒球比賽一般採取 9 局制，每局分為上下半局，每半局達到三人出局時則進行攻守交換，在比賽過程中，進攻球員藉由安打、保送與失誤等方式上壘並且成功跑回本壘即可得一分，得分較高者即獲勝。棒球是一種團隊性質的體育活動，想成為一支卓越的球隊，球隊成員必須團隊合作才能發揮加乘的力量，因此除了人盡其才之外，將對的人放在對的位置上也事關重要。參照 Lewis, Lock and Sexton(2009)效率評估模型如圖 3，球賽輸贏是以得失分多寡決定勝負，攻守表現又攸關得失分情形，因此可以將球隊劃分為進攻(Offense)部門、防守(Defense)部門與整合(Integration)部門，針對各部門的剖析找出球隊運作的優缺點並尋求解決方針。

DOI:10.6814/NCCU202100366

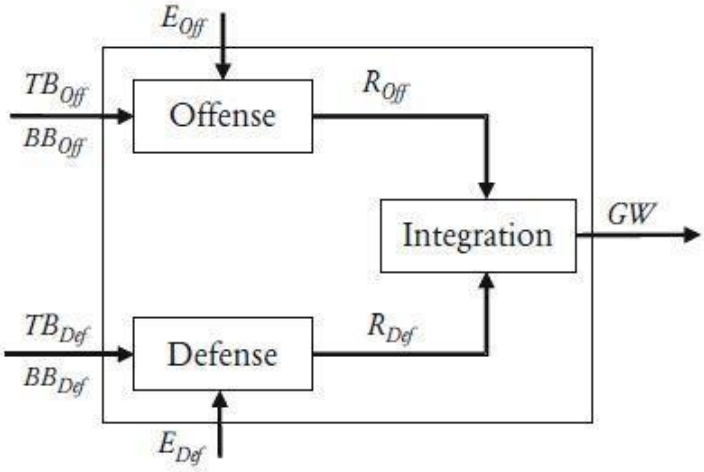

圖 3 Lewis, Lock and Sexton (2009)棒球效率評估模型

3.2.1 能力

球隊能力仰賴進攻上不斷地追求上壘換取得分與防守上削減對手持續地進壘減少失分，我們根據美國大聯盟對於壘打數的定義進行延伸，將球隊能力分為進攻能力(O-capability)與防守能力(D-capability)，其中定義 O-capability 為球隊整季的壘打數(TB_{Off})、總保送(BBT_{Off})和對手失誤(E_{Off})的加總除以整季出場數(G)，即 O-capability= (TB_{Off} + BBT_{Off} + E_{Off})/G，此數據顯示球隊每場比賽平均上壘次數。

D-capability 為球隊整季的被壘打數(TB_{Def})、總保送(BBT_{Def})和失誤(E_{Def})的加總除以整季出場數(G)，即 D-capability= (TB_{Def} + BBT_{Def} + E_{Def})/G，此數據顯示球隊每場比賽平均被上壘次數，特別的是 D-capability 是一種反指標(reverse quantity)，數值越大代表成績越差。

DOI:10.6814/NCCU202100366

3.2.2 效率

效率採用 Network DEA 進行分析，主要分為下列四個部分。第一部分進攻效率(O-efficiency)為衡量進攻部門的效率表現，球隊可以藉由串連安打、保送與對手失誤等方式增加球隊上壘機會，避免留下殘壘換取更多得分來提高進攻效率，在此運用產出導向的線性規劃模型，其中投入採用創造得分機會最重要的三大投入要素「壘打數(TB_{off})、總保送(BBT_{off})、對手失誤(E_{off})」，產出為得分(R_{off})，由於比賽過程會發生殘壘與達到三出局即換場等限制，因此下列模型皆假設為變動規模報酬，進攻效率的 DEA 模型如下:

$$
\left.
\begin{aligned}
& Max\ \theta_{1k} \\
& s.t.\quad \sum_{j=1}^{n} \lambda_{1j} TB_{Off_j} \le TB_{Off_k} \\
& \qquad \sum_{j=1}^{n} \lambda_{1j} BBT_{Off_j} \le BBT_{Off_k} \\
& \qquad \sum_{j=1}^{n} \lambda_{1j} E_{Off_j} \le E_{Off_k} \\
& \qquad \sum_{j=1}^{n} \lambda_{1j} R_{Off_j} \ge \theta_{1k} R_{Off_k} \\
& \qquad \sum_{j=1}^{n} \lambda_{1j} = 1 \\
& \qquad \lambda_{1j} \ge 0;\ j = 1,2,\ldots,n \\
& \qquad \theta_{1k} \ge 0
\end{aligned}
\right\} \text{模型一}
$$

其中 λ_{1j} 為當衡量進攻效率時 DMU_j 的操作強度(intensity level)，θ_{1k} 為產出的擴張比例，θ^*_{1k} 定義為最佳化決策的最適解，而 θ^*_{1k} 的倒數為進攻效率。

第二部分防守效率(D-efficiency)為衡量防守部門的效率表現，球隊可以藉由減少對手安打、保送與降低自身失誤等方式，使對手留下較多殘壘，削減非必要的失分來提高防守效率。由於投入產出皆為反指標，因此運用產出導向的 DEA 模式中的投入與產出的不等限制式與傳統 DEA 模式剛好相反，其中投入

DOI:10.6814/NCCU202100366

為被壘打數(TB_{Def})、總保送(BBT_{Def})和失誤(E_{Def})，產出為失分(R_{Def}) ，防守效率的 DEA 模型如下:

$$
\left.
\begin{aligned}
& Min\ \varepsilon_{2k} \\
& s.t.\quad \sum_{j=1}^{n} \lambda_{2j} TB_{Def_j} \geq TB_{Def_k} \\
& \qquad \sum_{j=1}^{n} \lambda_{2j} BBT_{Def_j} \geq BBT_{Def_k} \\
& \qquad \sum_{j=1}^{n} \lambda_{2j} E_{Def_j} \geq E_{Def_k} \\
& \qquad \sum_{j=1}^{n} \lambda_{2j} R_{Def_j} \leq \varepsilon_{2k} R_{Def_k} \\
& \qquad \sum_{j=1}^{n} \lambda_{2j} = 1 \\
& \qquad \lambda_{2j} \geq 0;\ j = 1,2,\ldots,n \\
& \qquad \varepsilon_{2k} \geq 0
\end{aligned}
\right\} \text{模型二}
$$

其中 λ_{2j} 為當衡量防守效率時 DMU_j 的操作強度(intensity level)，ε_{2k} 為產出的擴張比例，ε^*_{2k} 定義為最佳化決策的最適解，ε^*_{2k} 即為防守效率。

第三部分是獲勝效率(W-efficiency)為衡量攻守兩部門整合而獲勝的效率表現，球隊若能贏得更多比分差距較小的比賽就能提高獲勝效率，尤其是在比賽尾聲推出救援投手以及適時派出代打改變比賽節奏，在此運用產出導向的線性規劃模型，其中投入為得分(R_{Off})與失分(R_{Def})，產出為例行賽勝場數(GW)，獲勝效率的 DEA 模型如下:

DOI:10.6814/NCCU202100366

$$
\left.
\begin{aligned}
&Max\ \theta_{3k} \\
&s.t.\quad \sum_{j=1}^{n}\lambda_{3j}R_{Off_j} \le R_{Off_k} \\
&\qquad \sum_{j=1}^{n}\lambda_{3j}R_{Def_j} \ge R_{Def_k} \\
&\qquad \sum_{j=1}^{n}\lambda_{3j}GW_j \ge \theta_{3k}GW_k \\
&\qquad \sum_{j=1}^{n}\lambda_{3j} = 1 \\
&\qquad \lambda_{3j} \ge 0;\ j = 1,2,\ldots,n \\
&\qquad \theta_{3k} \ge 0
\end{aligned}
\right\}\text{模型三}
$$

其中 λ_{3j} 為當衡量整合效率時 DMU_j 的操作強度(intensity level)，θ_{3k} 為產出的擴張比例，θ^*_{3k} 定義為最佳化決策的最適解，θ^*_{3k} 的倒數即為整合效率。

第四部分是最終效率為衡量當攻守部門皆能有效發揮情況下球隊贏球的效率表現。因此結合進攻部門、防守部門的最適值，在此運用產出導向的線性規劃模型，其中投入為攻守皆達最佳效率下的得分(R^*_{Off})與失分(R^*_{Def})，產出為例行賽勝場數(GW)，最終效率的 DEA 模型如下:

$$
\left.
\begin{aligned}
&Max\ \theta_{k} \\
&s.t.\quad \sum_{j=1}^{n}\lambda_{j}R_{Off_j} \le R^*_{Off_k} \\
&\qquad \sum_{j=1}^{n}\lambda_{j}R_{Def_j} \ge R^*_{Def_k} \\
&\qquad \sum_{j=1}^{n}\lambda_{j}GW_j \ge \theta_{k}GW_k \\
&\qquad \sum_{j=1}^{n}\lambda_{j} = 1 \\
&\qquad \lambda_{j} \ge 0;\ j = 1,2,\ldots,n \\
&\qquad \theta_{k} \ge 0
\end{aligned}
\right\}\text{模型四}
$$

國立政治大學 National Chengchi University

DOI:10.6814/NCCU202100366

其中 λ_j 為當衡量最終效率時 DMU_j 的操作強度(intensity level)，θ_k 為產出的擴張比例，θ^*_k 定義為最佳化決策的最適解，θ^*_k 的倒數即為整體 DMU 的最終效率。

3.2.3 例行賽與季後賽達標效能

勝場數是球隊整體球隊表現最顯而易見的成果，一般皆以此作為衡量例行賽達標效能的指標，然而每年的例行賽場次不盡相同，直接使用勝場數作為比較基準，將會產生偏誤，因此現今大多改以勝率(Winning Percentage, WP)作為例行賽達標效能的評斷依據。

季後賽屬於短期賽程，常見賽制為七戰四勝制，由於季後賽賽程不如例行賽賽程為固定賽事，因此球隊季後賽達標效能(Post-season series effectiveness, PSSE)的計算將不同於例行賽所採用的勝率，表 2 為模擬季後賽七戰賽事中八種可能發生之情形，舉例來說”Wins in 5”代表球隊於第五戰贏得系列賽，故表示前四戰為三勝一敗，因此第五戰獲取總冠軍的排列組合機率為($C_3^4 p^3 q^1$)*p，也就是 $4p^4q$，其中 p 與 q 為季後賽兩隊贏一場球的機率，取決於兩隊在例行賽的勝率 α 和 β，即 p=α/α+β 和 q=β/α+β。

參照 Lewis, Lock and Sexton(2009)，將季後賽完美直落四場取得總冠軍的達標效能設定為 1，其餘達標效能為 1 減去系列賽中未實現最好結果的累積機率，等同於從系列賽中最糟可能結果至當前發生結果的累積機率，計算方式如表 2:

DOI:10.6814/NCCU202100366

表 2 季後賽戰績機率分布與達標效能值

Team A	Probability	PSSE (Post-season series effectiveness)	TeamB	Probability	PSSE (Post-season series effectiveness)
Wins in 4	p^4	1	Loses in 4	p^4	p^4
Wins in 5	$4p^4q$	$q^4(1+4p+10p^2+20p^3)+p^4(20q^3+10q^2+4q)$	Loses in 5	$4p^4q$	$p^4(1+4q)$
Wins in 6	$10p^4q^2$	$q^4(1+4p+10p^2+20p^3)+p^4(20q^3+10q^2)$	Loses in 6	$10p^4q^2$	$p^4(1+4q+10q^2)$
Wins in 7	$20p^4q^3$	$q^4(1+4p+10p^2+20p^3)+20p^4q^3$	Loses in 7	$20p^4q^3$	$p^4(1+4q+10q^2+20q^3)$
Loses in 7	$20p^3q^4$	$q^4(1+4p+10p^2+20p^3)$	Wins in 7	$20p^3q^4$	$p^4(1+4q+10q^2+20q^3)+ 20q^4p^3$
Loses in 6	$10p^2q^4$	$q^4(1+4p+10p^2)$	Wins in 6	$10p^2q^4$	$p^4(1+4q+10q^2+20q^3)+ q^4(20p^3+10p^2)$
Loses in 5	$4pq^4$	$q^4(1+4p)$	Wins in 5	$4pq^4$	$p^4(1+4q+10q^2+20q^3)+ q^4(20p^3+10p^2+4p)$
Loses in 4	q^4	q^4	Wins in 4	q^4	1

3.3 加權最小平方迴歸分析(Weighted least squares regression)

迴歸分析是利用統計的線性模型捕捉自變數與應變數之間的關係，最常見的方法為普通最小平方法(Ordinary least squares)，藉由極小化殘差平方和求取最適的迴歸係數找出最接近的迴歸線，然而此法具有同質變異數、序列不相關與誤差項常態分配等諸多前提假設，貿然使用雖然仍滿足線性不偏，但是將失去有效性，因此估計量不是最佳線性不偏估計量(BLUE)。

為了解決誤差項存在異質變異數的問題，統計學家提出加權權數的概念，假定誤差項的變異數與某變數間具有函數關係，藉由對變異性大的殘差採低權重，而對變異性小的殘差採高權重，簡單的技巧操作下，便能使模型重回同質變異數的狀態下進行分析，此法稱為加權最小平方法。以簡單迴歸為例，操作如下:

DOI:10.6814/NCCU202100366

原迴歸式：$Y_t = \beta_0 + \beta_1 X_{1t} + \varepsilon_t$，$\varepsilon_t \overset{ind}{\sim} N(0,\sigma_t{}^2)$

假定$Var(\varepsilon_t) = E(\varepsilon_t{}^2) = \sigma_t{}^2 = Z_t^2\sigma^2$，其中$Z_t$為某可觀察變數

$$\frac{Y_t}{Z_t} = \frac{\beta_0}{Z_t} + \beta_1 \frac{X_{1t}}{Z_t} + \frac{\varepsilon_t}{Z_t}$$

調整後迴歸式：$Y_t^* = \beta_0 Z_t^* + \beta_1 X_{1t}^* + \varepsilon_t^*$

其中$Y_t^* = \frac{Y_t}{Z_t}, Z_t^* = \frac{1}{Z_t}, X_{1t}^* = \frac{X_{1t}}{Z_t}, \varepsilon_t^* = \frac{\varepsilon_t}{Z_t}$

$$Var(\varepsilon_t^*) = Var(\frac{\varepsilon_t}{Z_t}) = \frac{1}{Z_t^2} Var(\varepsilon_t) = \frac{1}{Z_t^2} Z_t^2 \sigma^2 = \sigma^2$$

其中Y_t為被解釋變數，X_{1t}為解釋變數

β_0為母體迴歸方程式截距

β_1為母體迴歸方程式中解釋變數的係數

ε_t為第t個樣本的誤差效應

利用加權線性迴歸分析可以清楚掌握各個自變數對於應變數的解釋力，進而找出較有影響力的自變數並尋求合適的理由予以解釋。

國立政治大學 National Chengchi University

DOI:10.6814/NCCU202100366

第四章 實證分析

本章將對資料來源與變數選取進行說明，並針對投入與產出變數分別進行敘述性統計分析以及說明 Network DEA 之實證結果，亦透過假說檢定檢測各變數的顯著性，最終輔以加權線性迴歸分析攻守能力與效率指標對例行賽與與季後賽達標效能的解釋力。

4.1 變數選取與資料來源

變數選取在研究過程中是相當重要的一環，為了貼近真實情況的分析，研究者須選取相關性高且對於目標有直接關聯性的變數，尤其在 DEA 的績效評估中，資料本身數值的變異對於最終結果的影響特別敏感；此外運用 DEA 時，須注意自由度的問題，根據經驗法則，DMU 數目須為投入與產出數目總和的三倍以上才能使效率值具有鑑別度。在職業棒球之中，對於達標效能而言，能力與效率是兩個至關重要的影響因子，球團高層、球探和教練如何運籌帷幄地安排球員上場，都將影響球隊戰績表現。

本研究評估對象為中華職業棒球大聯盟六支球團，取自 2003 年至 2018 年共十六個年度，每一年度每支球隊的投入產出數據都視為一個決策單位 (DMU)，所有受測的 DMU 總共為 76 個，投入產出項目總和為 9 項，符合前述的經驗法則。

4.2 投入與產出資料變數

現今棒球已經進入數據野球的時代，不再是過往憑感覺做為判斷依據，能力與效率的衡量皆以詳盡的數據做呈現，尤其科技日新月異，各種場上表現數據都由電腦監測統計並能夠快速專業呈現。

DOI:10.6814/NCCU202100366

4.2.1 投入產出變數解釋

評估能力表現方面最主要是觀察進攻方堆疊壘包與防守方阻止對手搶占壘包的能力，針對進攻而言，堆疊壘包依靠增加壘打數(TB)、總保送(BBT)和對手失誤(E)的次數，壘打數(TB)定義為將各類安打的數量分別乘以其壘包數並加總，即 TB=1B*1+2B*2+3B*3+HR(Home run)*4，藉由加權計算來衡量一位球員的長打能力，數值越高代表長打能力越強；本研究定義總保送(BBT)為保送(BB)、故意四壞保送(IBB)和觸身球保送(HBP)的加總，即 BBT=BB+IBB+HBP，其中保送(BB)是指在打者在有效擊出與三好球前，先行獲得四壞球而上壘，故意四壞保送(IBB)是指投手策略上刻意閃躲打者而選擇直接四壞球保送，觸身球保送(HBP)是指投手將球丟到打者身上，根據棒球規則，打者如同四壞球般直接上壘。總保送是衡量球員的選球能力，若能靠著精準的選球功力上壘也是對球隊有所幫助；對手失誤(E)是指守備員讓應出局的打者繼續擊球或應出局的跑壘員未出局，製造對手失誤也算是一種運氣能力，往往一個關鍵時機點將影響整場比賽，因此失誤對於比賽勝負扮演重要角色，在此假設每一次失誤皆被攻占一個壘包。[1]

針對防守而言，阻止對手搶占壘包則依靠減少被壘打數(TB)、總保送(BBT)和失誤(E)，被壘打數(TB)同樣定義為將各類安打的數量分別乘以其壘包數並加總，[2]被壘打數為衡量投手被長打的能力，數值越高代表被打長打的數量越多；本研究定義總保送(BBT)為保送(BB)、故意四壞保送(IBB)和觸身球保送(HBP)的加總，總保送為衡量投手的控球能力，控球越精準，數值也就越低；失誤(E)是指守備員讓應出局的打者繼續擊球或應出局的跑壘員未出局，守備失誤時常成為比賽中的關鍵，在此假設每一次失誤皆被攻占一個壘包。

[1]受限於實際資料未詳細記載球隊在進攻時因為對手失誤而上壘的次數，故以當年度其他球隊的平均失誤替代之。

[2]防守上的壘打數由於無法取得每位投手被打各類安打的數據，故以當年度面對其他球隊打者的一、二、三壘打的總比例乘以被安打數替代之。

DOI:10.6814/NCCU202100366

4.2.2 投入產出基本敘述統計

首先將本研究所蒐集中華職棒總共十六年的資料分為三個時期，由於職棒賽事安排由原本的每年 100 場調整為每年 120 場，故分析上均須以平均值作比較；在本研究的 Network DEA 模型中，進攻與防守皆以壘打數、保送與失誤作為投入項，得失分作為產出項，由表 3 與表 4 中顯示，2003-2008 年時期平均每場壘打數 12.57、保送 3.39、失誤 1.19 和得分 4.49，2009-2013 年時期平均每場壘打數為 13.28、保送 3.48、失誤 1.08 和得分 4.82，2014-2018 年時期平均每場壘打數為 15.21、保送 3.68、失誤 1.00 和得分 5.62，綜觀三個時期，壘打數、保送與得分皆有顯著地增加，失誤則有逐漸地降低，此數據代表國內打者在進攻上不管是打擊或選球都有明顯的成長，而野手在防守上也有所進步，然而投手在保送數量持續增加，顯示國內投手整體成長速度不及打者整體成長速度。

表 3 進攻端投入產出基本敘述統計

變數	時間	隊數	場次	樣本數	平均	標準差	最小值	第一四分位數	第二四分位數	第三四分位數	最大值
壘打數	2003-2008	6	100	36	12.57	1.33	10.08	11.56	12.31	13.41	16.19
	2009-2013	4	120	20	13.28	1.13	11.16	12.59	13.25	14.16	15.58
	2014-2018	4	120	20	15.21	1.82	12.21	14.12	15.09	16.61	18.98
總保送(進攻)	2003-2008	6	100	36	3.39	0.45	2.57	3.10	3.41	3.69	4.42
	2009-2013	4	120	20	3.48	0.39	2.88	3.08	3.46	3.87	4.08
	2014-2018	4	120	20	3.68	0.47	2.87	3.31	3.64	4.08	4.63
失誤(對手)	2003-2008	6	100	36	1.19	0.08	1.05	1.13	1.18	1.25	1.38
	2009-2013	4	120	20	1.08	0.08	0.97	1.00	1.08	1.15	1.24
	2014-2018	4	120	20	1.00	0.08	0.88	0.93	1.02	1.07	1.09

DOI:10.6814/NCCU202100366

表 3 進攻端投入產出基本敘述統計(續)

得分	2003-2008	6	100	36	4.49	0.72	2.89	4.02	4.39	4.86	6.25
	2009-2013	4	120	20	4.82	0.63	3.68	4.22	4.98	5.22	5.79
	2014-2018	4	120	20	5.62	0.92	3.97	4.89	5.70	6.23	7.58

表 4 防守端投入產出基本敘述統計

變數	時間	隊數	場次	樣本數	平均	標準差	最小值	第一四分位數	第二四分位數	第三四分位數	最大值
被壘打數	2003-2008	6	100	36	12.57	1.09	10.63	11.74	12.34	13.58	14.86
	2009-2013	4	120	20	13.27	1.20	11.51	12.72	13.34	14.08	14.94
	2014-2018	4	120	20	15.21	1.95	11.96	14.33	15.35	16.03	17.75
總保送(防守)	2003-2008	6	100	36	3.39	0.51	2.29	3.02	3.30	3.67	4.85
	2009-2013	4	120	20	3.48	0.46	2.67	3.17	3.39	3.75	4.52
	2014-2018	4	120	20	3.68	0.46	2.92	3.23	3.67	4.09	4.42
失誤	2003-2008	6	100	36	1.19	0.17	0.90	1.04	1.18	1.31	1.52
	2009-2013	4	120	20	1.08	0.13	0.93	0.98	1.04	1.23	1.33
	2014-2018	4	120	20	1.00	0.10	0.81	0.92	1.00	1.09	1.18
失分	2003-2008	6	100	36	4.49	0.68	3.27	4.04	4.44	4.88	6.00
	2009-2013	4	120	20	4.82	0.65	3.78	4.31	4.77	5.23	6.17
	2014-2018	4	120	20	5.62	0.85	4.09	4.97	5.81	5.95	7.03

國立政治大學 National Chengchi University

DOI:10.6814/NCCU202100366

4.3 實證結果分析

能力與效率作為影響達標效能的重要因素，觀測數據表現並作進階分析能有助於掌握球隊優劣勢並且藉此尋求解決方案。

4.3.1 例行賽攻守能力、效率與達標效能之基本敘述統計

攻守能力衡量的是球隊進攻搶占壘包與防守阻止上壘的表現，表 5 為全體球隊與晉級季後賽球隊能力的基本敘述統計，平均而言，例行賽球隊每場比賽可獲得 18.06 個總上壘次數與丟失 18.05 個總上壘次數，而一支晉級季後賽球隊每場比賽可獲得 18.81 個總上壘次數與丟失 17.74 個總上壘次數，可以看出晉級季後賽球隊不管在進攻能力與防守能力上明顯優於例行賽平均。

表 5 例行賽攻守能力之基本敘述統計

變數	隊伍	樣本數	平均	標準差	最小值	第一四分位數	第二四分位數	第三四分位數	最大值
O-capability	全體球隊	76	18.06	2.05	13.90	16.41	17.65	19.41	24.62
	晉級季後賽	32	18.81	2.12	15.54	17.09	18.60	20.27	24.62
D-capability	全體球隊	76	18.05	1.91	15.00	16.66	17.70	19.20	23.04
	晉級季後賽	32	17.74	2.02	15.00	15.90	17.50	19.13	22.60

效率為衡量球隊運用資源的轉換能力，效率越高表示資源的轉換能力越強，表 6 為根據模型一至四的計算得出全體球隊與晉級季後賽球隊效率的基本敘述統計，在給定壘打數、總保送與失誤下，平均而言，一支有效率的例行賽球隊能多增加 5%得分，減少 4%失分並且增加 10%的勝場數，在相同條件下，

DOI:10.6814/NCCU202100366

平均而言，對於一支有效率的晉級季後賽球隊可以增加 5%得分，減少 3%失分並且增加 7%的勝場數，因此例行賽球隊若能提升獲勝效率將能顯著地拉抬球隊戰績。

表 6 例行賽效率之基本敘述統計

變數	隊伍	樣本數	平均	標準差	最小值	第一四分位數	第二四分位數	第三四分位數	最大值
O-efficiency	全體球隊	76	0.95	0.05	0.79	0.92	0.96	1	1
	晉級季後賽	32	0.95	0.04	0.87	0.92	0.95	1	1
D-efficiency	全體球隊	76	0.96	0.05	0.81	0.93	0.97	1	1
	晉級季後賽	32	0.97	0.03	0.91	0.96	0.98	1	1
W-efficiency	全體球隊	76	0.90	0.08	0.64	0.84	0.91	0.98	1
	晉級季後賽	32	0.93	0.06	0.80	0.89	0.94	0.99	1
F-efficiency	全體球隊	76	0.83	0.11	0.54	0.76	0.83	0.89	1
	晉級季後賽	32	0.89	0.08	0.71	0.85	0.89	0.98	1

達標效能作為檢測球隊年度目標的指標，表 7 顯示例行賽球隊最低與最高勝率分別為 22%與 67%，闖進季後賽的球隊在例行賽上的平均勝率為 56%，而若要打進季後賽，球隊至少要有 43%的例行賽勝率以上。

表 7 例行賽達標效能之基本敘述統計

變數	隊伍	樣本數	平均	標準差	最小值	第一四分位數	第二四分位數	第三四分位數	最大值
WPct	全體球隊	76	0.50	0.08	0.22	0.45	0.50	0.56	0.67
	晉級季後賽	32	0.56	0.06	0.43	0.53	0.56	0.58	0.67

DOI:10.6814/NCCU202100366

由表 8 至表 13 得知各球隊於效率表現上有共同的趨勢走向，全體球隊進攻效率起初皆表現優異，然而中期有下降的趨勢直到近年來又逐漸提升，平均而言中信鯨隊進攻效率最佳且波動度最小。防守效率各隊則幾乎維持平穩，僅偶有零星年份有較差的情形，平均而言統一獅隊防守效率最佳且波動度最小，而誠泰 Cobras 隊防守效率最差且波動度最大。獲勝效率各隊波動幅度較大，無明顯增減的情況，平均而言 Lamigo 桃猿隊獲勝效率最佳，而誠泰 Cobras 隊獲勝效率最差且波動度最大。最終效率則是各隊皆有明顯下降的趨勢，顯見各隊在攻守整合方面有所退步，平均而言 Lamigo 桃猿隊最終效率最佳，而誠泰 Cobras 隊最終效率最差且波動度最大。

綜觀上述論點，Lamigo 桃猿隊整體表現最佳，全部效率值皆名列前茅，然而穩定度略遜於統一獅隊；統一獅隊整體表現次佳，僅進攻效率些微落後其他隊，其餘效率表現皆處於前段班；誠泰 Cobras 隊整體表現最差，僅進攻效率有一定水準，其餘皆與其它隊有所落差，各項表現穩定度也是敬陪末座。

表 8 中信兄弟球隊各年度效率統計表

中信兄弟	O-efficiency	D-efficiency	W-efficiency	F-efficiency
2003	1.00	1.00	0.93	0.98
2004	0.97	0.89	0.88	0.89
2005	0.94	0.92	0.90	0.81
2006	1.00	0.90	0.81	0.74
2007	0.99	1.00	0.84	0.78
2008	1.00	0.96	0.80	0.82
2009	0.92	1.00	1.00	0.76
2010	0.88	1.00	1.00	0.92
2011	0.97	0.99	0.89	0.86
2012	0.94	0.97	0.90	0.83
2013	0.86	0.99	0.91	0.82
2014	0.87	0.96	0.81	0.76
2015	0.94	1.00	0.99	0.84

DOI:10.6814/NCCU202100366

表 8 中信兄弟球隊各年度效率統計表(續)

2016	1.00	0.99	1.00	0.87
2017	0.95	0.95	0.84	0.71
2018	0.89	0.96	0.86	0.67
平均	0.94	0.97	0.90	0.82
變異係數	0.05	0.04	0.08	0.10

表 9 統一獅球隊各年度效率統計表

統一獅	O-efficiency	D-efficiency	W-efficiency	F-efficiency
2003	0.91	1.00	0.85	0.84
2004	1.00	1.00	1.00	1.00
2005	0.91	0.93	0.92	0.82
2006	0.96	0.97	0.90	0.86
2007	1.00	0.97	0.81	0.85
2008	1.00	0.93	0.96	1.00
2009	0.95	0.94	0.94	0.86
2010	0.79	1.00	1.00	0.80
2011	0.88	0.93	0.92	0.88
2012	0.91	0.97	0.99	0.99
2013	0.95	0.98	0.88	0.88
2014	1.00	1.00	0.90	0.88
2015	0.93	1.00	0.83	0.67
2016	0.99	1.00	1.00	0.71
2017	0.99	1.00	0.94	0.79
2018	0.95	0.99	0.95	0.86
平均	0.94	0.98	0.92	0.86
變異係數	0.06	0.03	0.07	0.11

表 10 Lamigo 桃猿球隊各年度效率統計表

Lamigo 桃猿	O-efficiency	D-efficiency	W-efficiency	F-efficiency
2003	1.00	1.00	1.00	1.00
2004	1.00	0.96	0.82	0.77
2005	1.00	0.88	0.78	0.75
2006	0.99	0.99	0.97	1.00

國立政治大學 National Chengchi University

DOI:10.6814/NCCU202100366

表 10 Lamigo 桃猿球隊各年度效率統計表(續)

2007	0.92	0.99	0.92	0.89
2008	0.98	0.94	0.90	0.93
2009	0.95	1.00	0.85	0.82
2010	0.86	1.00	0.86	0.81
2011	0.92	0.97	0.94	0.90
2012	0.98	0.98	0.89	0.90
2013	0.88	0.95	0.98	0.85
2014	1.00	0.97	1.00	1.00
2015	0.99	0.96	0.99	0.87
2016	0.98	1.00	1.00	0.68
2017	0.93	1.00	1.00	1.00
2018	0.99	0.99	0.97	0.95
平均	0.96	0.97	0.93	0.88
變異係數	0.05	0.03	0.08	0.11

表 11 富邦悍將球隊各年度效率統計表

富邦悍將	O-efficiency	D-efficiency	W-efficiency	F-efficiency
2003	0.91	1.00	1.00	1.00
2004	1.00	1.00	0.88	0.89
2005	1.00	0.95	0.94	0.94
2006	0.92	0.88	0.94	0.83
2007	0.98	0.83	0.75	0.68
2008	1.00	0.82	0.87	0.75
2009	1.00	0.91	0.81	0.77
2010	0.92	1.00	0.97	0.96
2011	0.91	0.98	0.83	0.64
2012	0.84	1.00	1.00	0.54
2013	0.95	0.91	0.91	0.88
2014	1.00	0.96	0.85	0.86
2015	1.00	0.93	0.85	0.77
2016	0.96	1.00	0.91	0.80
2017	0.93	1.00	0.79	0.66
2018	0.92	0.95	0.85	0.74
平均	0.95	0.95	0.88	0.79
變異係數	0.05	0.06	0.08	0.16

國立政治大學 National Chengchi University

DOI:10.6814/NCCU202100366

表 12 中信鯨球隊各年度效率統計表

中信鯨	O-efficiency	D-efficiency	W-efficiency	F-efficiency
2003	0.98	1.00	0.83	0.83
2004	1.00	0.88	0.98	0.91
2005	0.96	0.99	0.93	0.86
2006	1.00	0.89	0.82	0.77
2007	0.95	0.95	0.81	0.76
2008	1.00	0.88	0.87	0.79
平均	0.98	0.93	0.87	0.82
變異係數	0.02	0.06	0.08	0.07

表 13 誠泰 Cobras 球隊各年度效率統計表

誠泰 Cobras	O-efficiency	D-efficiency	W-efficiency	F-efficiency
2003	0.87	0.83	1.00	0.65
2004	0.95	0.97	0.93	0.81
2005	0.91	0.91	0.83	0.80
2006	1.00	0.94	1.00	0.99
2007	1.00	0.82	0.69	0.65
2008	0.97	0.81	0.64	0.59
平均	0.95	0.88	0.85	0.75
變異係數	0.05	0.08	0.18	0.20

4.3.2 晉級季後賽與否的攻守能力、效率與達標效能比較

能力、效率與達標效能完整體現一支球隊的成果表現，因此預期晉級季後賽球隊相較於未晉級季後賽球隊有較優異的表現，然而兩者之間是否存在顯著的差異性，以下進行假說檢定分析。首先藉由 F test 檢測是否兩獨立樣本為同質變異數，接著利用獨立樣本 T 檢定和 Wilcoxon rank-sum test 檢測兩獨立樣本是否存在顯著差異。

表 14 顯示在 D-capability 和 O-efficiency 上，晉級季後賽球隊與未晉級季後賽球隊之間並無顯著差異，然而在 O-capability、D-efficiency、W-efficiency、F-efficiency 和 WP ct 上，晉級季後賽球隊顯著優於未晉級季後賽球隊，說明進攻

DOI:10.6814/NCCU202100366

能力、防守效率和獲勝效率是決定能否晉級季後賽的關鍵，因此增強打擊實力、加強防守穩定度和掌握小比數差距的比賽將有益於晉級季後賽。

表 14 攻守能力、效率與達標效能之假說檢定

Variable	F test to compare two variances		Two sample t test			Wilcoxon rank-sum test	
O-capability	F =1.3488	P=0.3599	t = 2.877	df=74	P<0.05	W=961	P<0.05
D-capability	F =1.2263	P=0.5294	t = -1.2269	df=74	P=0.8881	W=583.5	P=0.8985
O-efficiency	F =0.6312	P=0.1832	t = 0.1700	df=74	P=0.4328	W=705	P=0.4979
D-efficiency	F =0.2052	P<0.05	t = 2.9625	df=63.66	P<0.05	W=871	P<0.05
W-efficiency	F =0.5605	P=0.0949	t = 3.0429	df=74	P<0.05	W=964	P<0.05
F-efficiency	F =0.6746	P=0.2546	t = 5.3439	df=74	P<0.05	W=1156.5	P<0.05
WP ct	F =0.6807	P=0.2655	t = 6.8235	df=74	P<0.05	W=1265	P<0.05

4.3.3 例行賽攻守能力與效率對例行賽達標效能之迴歸分析

能力與效率為影響達標效能的兩大重要因子，4.3.2 談論晉級季後賽與否的關鍵差異，本節將透過加權迴歸分析清楚瞭解攻守能力與效率對於達標效能的解釋能力，進而比較兩者的影響力，最終給予球隊在球團資源有限下的最適決策。

例行賽攻守能力與效率對例行賽達標效能的迴歸式如下：

$$WP_i = \beta_0 + \beta_1 OC_i + \beta_2 DC_i + \beta_3 OE_i + \beta_4 DE_i + \beta_5 WE_i + \varepsilon_i, \quad i = 1,2,...,76$$

其中 WP= Winning Percentage, OC=O-capability, DC=D-capability,

OE=O-efficiency, DE=D-efficiency, WE=W-efficiency

β_0為母體迴歸方程式截距

$\beta_1,\beta_2,\beta_3,\beta_4,\beta_5$為母體迴歸方程式中各解釋變數的係數

DOI:10.6814/NCCU202100366

ε_i為第i個樣本的誤差效應

此迴歸模型包含例行賽所有球隊共 76 個樣本，由於 F-efficiency 與其他三者效率變數間具有高度共線性，故從中予以剔除。

根據 Lewis, Lock and Sexton(2009)迴歸模型中假設誤差項具有異質變異數問題且跟賽程數有關，但是不存在序列相關與誤差項非常態等問題。實證結果顯示透過 White 檢定發現本研究迴歸模型的殘差具有異質變異數問題，同時也發現殘差的變異數與賽程數之間成反比，因此選用賽程數作為加權變數使迴歸模型重回同質變異數假設，經由反覆測試結果得知當加權變數為 $1/G^9$ 時，迴歸模型將能符合同質變異數假設，便可以採取 OLS 進行分析。

從表 15 得知例行賽的攻守能力與效率對例行賽的達標效能有超過八成的解釋力，僅有剩餘不到兩成受到其他外在變數所影響，顯示攻守能力與效率將能有效針對達標效能予以合理解釋。

表 15 例行賽攻守能力與效率對例行賽達標效能之迴歸分析

Predictor variables	Coefficient	SE	t	p-value
Constant	-0.1921	0.1537	-1.250	0.2155
O-capability	0.0399	0.0028	14.129	0.0000***
D-capability	-0.0393	0.0031	-12.664	0.0000***
O-efficiency	0.2753	0.1116	2.467	0.0161*
D-efficiency	0.2708	0.0913	2.966	0.0041**
W-efficiency	0.1812	0.0621	2.920	0.0047**
R-squared	0.8381	Adjusted R-squared		0.8265

由於表 15 僅能得知迴歸模型整體解釋力，無法看出個別自變數的相對貢獻，因此須透過表 16 的偏判定係數表說明。從表 16 得知在例行賽中，能力對

DOI:10.6814/NCCU202100366

於達標效能而言較效率更具貢獻，符合 Lewis, Lock and Sexton(2009)所稱在高所得產業中能力比效率更加重要，其中能力方面，O-capability 偏判定係數為 0.7404，D-capability 偏判定係數為 0.6961，而在效率方面，O-efficiency 偏判定係數為 0.08、D-efficiency 偏判定係數為 0.1116、W-efficiency 偏判定係數為 0.1086，這代表進攻能力比防守能力更為重要，因此球員專注進攻時的表現較防守更助於取得比賽勝利。

然而效率方面，防守效率比進攻效率更具影響力，時常關鍵時刻的一個失誤將嚴重影響整場比賽的最終結果，因此若能減少對手堆疊壘包，勢必能降低失分，進而爭取更好的戰績表現。

表 16 例行賽攻守能力與效率對例行賽達標效能之偏判定係數

Variable	Coefficient of partial determination
O-capability	0.7404
D-capability	0.6961
O-efficiency	0.0800
D-efficiency	0.1116
W-efficiency	0.1086

4.3.4 季後賽攻守能力與效率對季後賽達標效能之迴歸分析

針對例行賽成績對於季後賽達標效能是否同樣具有高的貢獻度，實證結果顯示例行賽的攻守能力與效率對季後賽的達標效能整體解釋能力不到四成，代表即使具有潛力的球員和厲害的組織團隊也未必有相對優勢，推測主要原因有二，第一個原因為晉級季後賽球隊的實力差距並不大，因此相對優勢將不明顯，第二個原因為季後賽為短期賽程，主要仰賴球員近況表現以及團隊氣勢

DOI:10.6814/NCCU202100366

等，因此若能把握關鍵時刻，終將掌握大局。本小節將主要探討季後賽攻守能力與效率如何影響季後賽達標效能。

表 17 為晉級季後賽球隊在季後賽的攻守能力、效率與的基本敘述統計，在攻守能力方面，平均而言，晉級季後賽球隊每場比賽可獲得 18.47 個總上壘次數與丟失 18.47 個總上壘次數；在效率方面，給定壘打數、總保送與失誤下，平均而言，一支有效率的晉級季後賽球隊能多增加 20%得分，減少 20%失分並且增加 23%的勝場數，對比表 6 例行賽的效率表現，短期又高壓的季後賽場上，球員的效率表現明顯下降不少。

表 17 季後賽攻守能力、效率和達標效能之基本敘述統計

變數	樣本數	平均	標準差	最小值	第一四分位數	第二四分位數	第三四分位數	最大值
O-capability	32	18.47	3.94	8.75	16.11	17.61	20.80	26.60
D-capability	32	18.47	3.94	8.75	16.11	17.61	20.80	26.60
O-efficiency	32	0.80	0.15	0.51	0.67	0.77	0.99	1
D-efficiency	32	0.81	0.15	0.49	0.71	0.80	0.96	1
W-efficiency	32	0.77	0.27	0.17	0.66	0.87	1.00	1
F-efficiency	32	0.66	0.34	0.07	0.35	0.78	0.97	1
Post effectiveness	32	0.57	0.31	0.05	0.30	0.58	0.87	1

季後賽攻守能力與效率對季後賽達標效能的迴歸式如下：

$$PSSE_i = \beta_0 + \beta_1 OC_i + \beta_2 DC_i + \beta_3 OE_i + \beta_4 DE_i + \beta_5 WE_i + \varepsilon_i, i = 1,2,...,32$$

其中 PSSE= Post-season series effectiveness, OC=O-capability, DC=D-capability

OE=O-efficiency, DE=D-efficiency, WE=W-efficiency

β_0為母體迴歸方程式截距

DOI:10.6814/NCCU202100366

$\beta_1,\beta_2,\beta_3,\beta_4,\beta_5$為母體迴歸方程式中各解釋變數的係數

ε_i為第i個樣本的誤差效應

由於季後賽賽程較短，根據實證結果顯示迴歸模型中殘差不存在異質變異數問題，因此本迴歸模型直接採用 OLS 進行分析。此線性迴歸模型包含晉級季後賽的球隊共 32 個樣本，從表 18 得知季後賽的攻守能力與效率對季後賽達標效能有超過八成的解釋力，僅剩餘不到兩成受到其他外在變數等所影響，此結果與例行賽攻守能力與效率對例行賽達標效能的解釋力相差無幾。

表 18 季後賽攻守能力與效率對季後賽達標效能之迴歸分析

Predictor variables	Coefficient	SE	t	p-value
Constant	-0.0875	0.2331	-0.375	0.7106
O-capability	0.0388	0.0064	6.057	0.0000***
D-capability	-0.0336	0.0065	-5.186	0.0000***
O-efficiency	-0.2798	0.1771	-1.580	0.1262
D-efficiency	0.3919	0.1723	2.275	0.0314*
W-efficiency	0.6059	0.1009	6.003	0.0000***
R-squared	0.8426	Adjusted R-squared		0.8124

由於表 18 僅能得知迴歸模型整體解釋力，無法看出個別自變數的相對貢獻，因此須透過表 19 的偏判定係數表說明。從表 19 得知在季後賽中，能力同樣對達標效能而言較效率更具貢獻，其中能力方面，O-capability 偏判定係數為 0.5853，D-capability 偏判定係數為 0.5085，顯示進攻能力比防守能力對達標效能更為重要。

在效率方面，O-efficiency 偏判定係數為 0.0876，D-efficiency 偏判定係數為 0.1660，W-efficiency 偏判定係數為 0.5809，顯示防守效率比進攻效率對達標效

DOI:10.6814/NCCU202100366

能更為重要，此外值得注意的是獲勝效率明顯較進攻效率與防守效率更具貢獻，意味著獲得比分接近的比賽勝利將能大幅提升季後賽達標效能。

表 19 季後賽攻守能力與效率對季後賽達標效能之偏判定係數

Variable	Coefficient of partial determination
O-capability	0.5853
D-capability	0.5085
O-efficiency	0.0876
D-efficiency	0.1660
W-efficiency	0.5809

國立政治大學 National Chengchi University

DOI:10.6814/NCCU202100366

第五章 結論與建議

棒球作為台灣的國球，除了需要全體國民的支持外，球技持續精進也是相當重要的，隨著科技的進步，職業運動進入數位時代，精密儀器的測量和量身打造的專業培訓都成為現今講求的重點。

本研究以數據化分析國內棒球近年的發展情況，採用 Network DEA 法與 Lewis, Lock and Sexton(2009)棒球效率評估模型分析中華職棒聯盟 2003 年至 2018 年所有球隊的場上表現，並將場上表現分為進攻、防守和整合共三部門，透過壘打數、總保送和失誤等基礎數據衡量攻守能力與效率對達標效能的貢獻程度。

綜觀 16 年的長期場上表現數據顯示國內職棒打者不管在打擊或是選球上都有穩定地持續進步，而在防守上失誤次數也逐漸地減少，代表隨著中華職棒邁入三十個年頭，選手平均素質越來越高，卻也凸顯國內投手問題日益嚴重，尤其在現今各球團注重打者多於投手的狀況下，如何提升投手能力與效率將是一大課題，以現今中華職棒僅四隊的情形下，打者面對各投手次數大幅提升，投手勢必須付出更多的心力才能對付打者。

根據研究結果指出例行賽攻守能力與效率對於例行賽達標效能具有將近八成的解釋能力，顯示攻守能力與效率是影響達標效能的重要指標，而在例行賽中，能力對達標效能較效率更具貢獻，符合 Lewis, Lock and Sexton(2009)中所提及高所得的產業(如高科技製造、大學、醫院和職業運動)中，能力比效率重要，再者又以進攻能力較防守能力更具影響力，因此教練在選手出場安排上，可以選擇守備能力具有一定水準的前提下，進攻能力較為出色的球員優先上場，這樣才能使發揮最大功效。

綜觀進攻效率、防守效率和獲勝效率三者效率貢獻度，防守效率與獲勝效率對於例行賽達標效能較進攻效率更具有貢獻，尤其當比分較接近的比賽時，球員防守的穩定度變得相對重要，往往一個關鍵失誤將影響球賽結果，此外當

DOI:10.6814/NCCU202100366

面臨危機時刻更換投手、關鍵時刻啟用代打和適當時機下達戰術也都會是在比分接近時影響最終結果的重要因子。

季後賽的攻守能力與效率對季後賽的達標效能具有高度解釋力，大致上與例行賽一致，皆是進攻能力較防守能力重要，防守效率較進攻效率重要，然而最大不同點在於獲勝效率，季後賽中獲勝效率對達標效能具有較高的貢獻度，推測在短期且競爭激烈的賽事中，若能贏得比分較接近的比賽，將能率先取得優勢並大幅提升球隊信心，進而取得較佳成績。

傳統數據指標已不足以滿足現今千變萬化的棒球比賽，引進更多專業的測量項目勢在必行，像是衡量打者進攻整體貢獻的 wOBA 與投手殘壘率的 LOB% 等，此類進階數據更能貼切反應選手的真實表現，因此在現今數位科技的時代，情報蒐集和科技數據的分析將提供不同類型的選手最精準的研究報告。

國立政治大學
National Chengchi University

DOI:10.6814/NCCU202100366

參考文獻

中文部分

王禹斌 (2006)，「美國職棒大聯盟球隊之技術效率分析」，國立中正大學國際經濟研究所碩士論文。

江志坤(1994)，「時報鷹職業棒球隊員績效評估之研究-資料包絡分析法」，國立中山大學企業管理研究所碩士論文。

吳佳芳(2003)，「職業棒球隊之經營效率比較」，國立中正大學國際經濟研究所碩士論文。

卓筱婷(2005)，「中華職棒聯盟球隊生產效率分析：考量中間產出之 DEA 模型」，國立政治大學經濟研究所碩士論文。

林閔鈳(2003)，「美國職棒大聯盟球隊經營管理效率分析」，東吳大學經濟學研究所碩士論文。

陳信宏(2010)，「台灣職業棒球之市場法則-球隊效率與存活」，國立政治大學財政研究所碩士論文。

游秉睿(2006)，「我國職棒球隊績效評估：兩階段資料包絡分析法之應用」，國立中山大學公共事務管理研究所碩士論文。

劉佳倫(2017)，「職業棒球運動員效率評估-非意欲跨越邊界 DEA 的應用」，東吳大學經濟學研究所碩士論文。

DOI:10.6814/NCCU202100366

英文部分

Banker, R. D., A. Charnes and W. W. Cooper (1984), "Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis," *Management Science*, 30(9), 1078-1092

Bennett, J. M., and J. A. Flueck (1983), "An Evaluation of Major League Baseball Offensive Performance Models," *The American Statistician*, 37(1), 76-82.

Bukiet, B., E. R. Harold and J. L. Palacios (1997), "A Markov Chain Approach to Baseball," *Operations Research*, 45(1), 14-23.

Charnes, A., W. W. Cooper and E. Rhodes (1978), "Measuring the Efficiency of Decision Making Units," *European Journal of Operational Research*, 2(6), 429-444

Charnes, A., W. W. Cooper, B. Golany, R. Halek, G. Klopp, E. Schmitz and D. Thomas (1986), "Two Phase Data Envelopment Analysis Approach to Policy Evaluation and Management of Army Recruiting Activities: Tradeoffs between Joint Services and Army Advertising," *Research Report CCS* No. 532*, Center for Cybernetic Studies*, The University of Texas at Austin, Texas.

Farrell, M. J. (1957), "The Measurement of Productive Efficiency," *Journal of the Royal Statistical Society*, 120(3), 253-290

Kao, C. (2014), "Network Data Envelopment Analysis: A Review," *European Journal of Operational Research*, 239(1), 1-16

Lewis, H.F. and T.R. Sexton (2004), "Data Envelopment Analysis with Reverse Inputs and Outputs," *Journal of Productivity Analysis*, 21(2), 113-132.

Lewis, H. F., K. A. Lock and T. R. Sexton (2009), "Organizational Capability, Efficiency and Effectiveness in Major League Baseball: 1901-2002," *European Journal of Operational Research*, 197(2), 731-740.

DOI:10.6814/NCCU202100366

Lewis, H. F., T. R. Sexton and K. A. Lock (2007), "Player Salaries, Organizational Efficiency, and Competitiveness in Major League Baseball," *Journal of Sports Economics*, 8(3), 266-294

O'Donnell, C.J., D.S.P. Rao and G.E. Battese (2008), "Metafrontier frameworks for the study of firm-level efficiencies and technology ratios," *Empirical Economics*, 34(2), 231–255

Rosner, B., F. Mosteller and C. Youtz (1996), "Modeling Pitcher Performance and the Distribution of Runs Per Inning in Major League Baseball, " *The American Statistician*, 50(4), 352-360

Sexton, T.R. and H.F. Lewis (2003), "Two-Stage DEA: An Application to Major League Baseball," *Journal of Productivity Analysis*, 19(2), 227-249.

Sueyoshi T, K Ohnishi and Y Kinase (1999), "A Benchmark Approach for Baseball Evaluation," *European Journal of Operational Research*, 115(3), 429-448.

國立政治大學
National Chengchi University

DOI:10.6814/NCCU202100366