

# 頻譜拍賣制度之理論回顧、 政策經驗與模擬研究\*

樊沁萍\*\*

東吳大學經濟學系  
教授

陳人傑

財團法人電信技術中心  
研究企劃組主任

本文比較國際電信頻譜釋照最常用的兩種拍賣制度：SMRA (simultaneous multi-round auction) 與 CCA (combinatorial clock auction)。從學術分析與政策經驗看來，這兩種拍賣制度各有優劣。SMRA 簡單易懂，但無法投組合標，故可能降低效率。CCA 之組合標設計可改善此缺點，但操作複雜，由電腦算出之拍賣結果難以用直觀解釋，成交價格不具備穩定性也違反單一價格法則。本文以模擬方法研究綜效係數與 SMRA 效率之關係，建構多種評價架構之全綜效與部分綜效模型，就不同綜效係數值各進行五千組隨機評價之模擬分析。模擬結果顯示當綜效係數不超過 0.20 時，SMRA 制度之效率比不會大幅降低，仍然是適當的拍賣制度。

關鍵字：頻譜拍賣、多回合上升標拍賣、組合價格鐘拍賣、綜效

---

\* 感謝科技部經費支持 (計畫編號 MOST 103-2410-H-031-006) 以及王允筑、許孝婷助理之協助。

\*\* 通訊作者，E-mail: cpfan@scu.edu.tw

收稿日期：106 年 2 月 6 日；接受刊登日期：107 年 1 月 8 日

## 壹、前言

在經濟學研究領域內，拍賣問題可能是學術分析與政策研究互相影響、一起進步的最佳例子。1994 年美國聯邦通訊委員會（Federal Communications Commission，簡稱 FCC）首次採用拍賣方式釋出頻譜資源，並獲得極大成功。此次經驗顯示拍賣機制可以有效率地分配頻譜資源，其後世界各國也紛紛仿效，放棄行政分配或是審議制而改採拍賣方式來分配頻譜。

在本世紀初 3G 釋照當時的電信技術背景下，政策架構大多是允許一家業者只能取得一張執照。就賽局理論分析而言，投標者只能標到一件商品的限制條件使得模型大為簡化。經濟學者設計之同時多回合上升標拍賣（simultaneous multi-round auction，簡稱 SMRA）特點是同時拍賣多張執照，競標過程持續進行，直到沒有新標價出現時，才同時結束多張執照的拍賣。在各回合價格上升過程中，廠商可以自由轉換目標，選擇要對哪一張執照投標。如果投標者認為某張執照仍然有利可圖，就會繼續提高標價，直到所有投標者都不願提高標價且同意接受分配結果時拍賣才會結束。SMRA 之動態競價使得拍賣結果具有「沒有單方面背離誘因」的性質，類似於奈許均衡，這也是早期各國使用最頻繁的拍賣機制。

隨著技術進步，網路通訊與資料傳輸都成為現代社會中的重要基本成分。除了消費者需求之外，Fornefeld et al.（2008）與 Chaloner et al.（2014）都指出建立寬頻網路系統有利於國家整體經濟發展。為了滿足社會需求，電信產業對頻譜之需求也大為增加，所以頻譜釋照政策問題結構也更為複雜。近年各國之頻譜釋照都是同時釋出多頻段頻譜，也允許電信業者在多頻段內買到多單位的頻譜區塊。對賽局理論分析而言，多種類多單位拍賣則是甚為複雜與困難的模型。因為當投標者可以取得多單位頻譜時，這些商品間可能存在互補關係，也就是具有正綜效（positive synergy）。地理因素可能是綜效發生的原因，例如在幅員廣大的國家內標到兩張相鄰地區執照可能對電信業者價值甚大，超過兩張單獨地區性執照價值加總。不同區段頻譜之物理特性不同也可能造成正綜效，例如業者往往採用高低頻搭配的方式以便為消費者

提供更全面的服務。

SMRA 制度下業者只能對個別商品<sup>1</sup> 投標而沒有組合標。例如拍賣包含 A、B 兩件商品，業者可以對 A 商品投標同時也對 B 商品投標，但是 SMRA 制度下沒有對 AB 商品組合投標之設計。所以雖然對單獨的 A 商品及 B 商品都投標，但是業者無法確定他可以順利標到 AB 組合。如果頻譜間具有互補效果，業者必須標到完整的 AB 組合才能享有價值倍增的正綜效；此時若業者只對組合之部分得標，只持有價值較低的部分商品，則可能發生虧損。拍賣文獻中將此情況稱為曝險問題 (exposure problem)。投標者面對曝險問題時可能會降低標價以避免發生虧損，此情況也可能造成頻譜分配之效率降低。

組合拍賣 (combinatorial auction) 制度內投標者可以對任意組合投標，故有充分自由可以表達其需求。當商品間有正綜效關係時，採用組合拍賣制度可以協助降低曝險問題。組合拍賣的重要理論基礎是 VCG (Vickrey-Clarke-Groves) 機制。<sup>2</sup> VCG 是以單回合密封標方式進行組合拍賣，投標者有一次機會可以對多個組合投下密封標。賽局理論可以證明 VCG 機制下「誠實投標」是弱壓倒性策略 (weakly dominant strategy)，也就是不論其他人的投標策略為何，投標者都可以令各組合之標價等於其真實評價；而當所有投標者都以真實評價投標時，評價最高者將會買到商品，拍賣也就達成效率分配。

VCG 機制雖然具有數學性質優異的理論均衡解，但在實務面卻有一些缺點，故鮮少被採用。首先 VCG 採用機會成本定價，可能使得商品售價極低；其次 VCG 的單次密封標操作方式完全沒有資訊揭露過程，所以實際分配結果有很大的不確定性與風險，對於頻譜拍賣這類金額巨大、影響深遠的重要政策問題並不適宜。

近年來學術界與實務界的重要問題就是設計適用於多頻段釋照問題之拍賣制度。本文第二節介紹兩種廣泛採用的拍賣制度——SMRA 以及組合價格鐘拍賣 (combinatorial clock auction，簡稱 CCA) 之操作方法。第三節介紹經濟學文獻利用理論分析以及實驗研究方法對這兩種拍賣制度之比較。除了

1 頻譜釋照單位可能是頻譜區塊或執照，本文統稱為商品。

2 此概念源自 Vickrey (1961)、Clarke (1971) 與 Groves (1973) 的研究。

學術分析之外，各國釋照之政策經驗也是比較拍賣制度的重要面相，故我們也將在第三節討論各國執行這兩種拍賣制度所展現出的特點，並簡單介紹臺灣釋照經驗。

學者設計出複雜的 CCA 制度的重要原因之一是，當頻譜區塊間存在正綜效時，SMRA 可能無法達成效率分配。就我們所知目前並無文獻對此效率降低之幅度做出正式的定量研究。本文第四節則是以電腦程式模擬方法嚴謹衡量正綜效大小與 SMRA 效率降低幅度之關係。第五節則是結論。

## 貳、動態頻譜釋照拍賣

快速寬頻網路是現代國家的重要基礎建設，現代社會在生產面及消費面都對電信服務有大量需求，這也引伸出電信業者對頻譜之強烈需求。再就頻譜供給面而言，廣播及電視節目數位化釋放出大量數位紅利 (digital dividend) 頻譜可供他用，同時電信技術及設備之進步也使得電信業者可以將更多頻段都納入商業用途。以上各因素都使得近年各國之頻譜釋出均為多頻段釋照。而類似 VCG 的單回合靜態釋照制度沒有資訊揭露過程，釋照結果難以預期，風險甚高，故幾乎所有國家都是採用多回合動態釋照制度。

SMRA 制度始於 1994 年美國 FCC 之設計，一直到現在仍然是各國廣泛使用之釋照拍賣制度。政策案例包含 2011 年希臘、瑞典、義大利、西班牙、葡萄牙等國，2012 到 2013 年之捷克，以及 2010、2015 年德國兩次釋照等。本文第三節將以德國釋照經驗為例，更詳細說明 SMRA 制度在政策實務面顯現之特點。

我們首先說明 SMRA 與 CCA 兩種拍賣制度的操作方法。本文第四節模擬分析採用六名投標者競標 A、B、C 三商品的拍賣架構，<sup>3</sup> 故本節也採用同一架構來說明拍賣制度操作方式。令 F1～F6 表示六位投標者，假設 A、

---

3 本文中 A、B、C 三類商品每種都只有一件，此類「多種單件」商品拍賣是較簡單的設計。如果三類商品每類都有多件要釋出就是「多種多件」拍賣，此時則需就各商品之間與各單位之間考慮其綜效，使得模型複雜度大增。本文就多種單件拍賣架構取得初步結論，更複雜的多種多件拍賣待於日後研究探討。

B、C 商品評價分別由 (0, 30)、(0, 60) 與 (0, 120) 區間<sup>4</sup> 中隨機抽出，下表 1 是一組隨機抽出評價。

表 1：六人三商品隨機價值範例

	A	B	C
F1	13	38	87
F2	6	19	72
F3	7	26	120
F4	1	15	35
F5	20	29	12
F6	21	18	92

SMRA 制度是以價格競標，並且投標者只能對個別商品投標。動態過程中標價逐漸提高，理論預測各商品都會由出價最高的投標者買到。以 A 商品為例，各回合暫時得標價逐漸上升後，只有投標者 F6 願意付出超過 20 的標價，故預期 F6 會以略高於 20 的價格買到 A 商品。同理 F1 會以略高於 29 的價格標到 B 商品，F3 以略高於 92 的價格標到 C 商品。此分配所實現的總價值是  $21+38+120=179$ 。

當綜效關係不存在時，投標者可以直接由商品價值決定標價，SMRA 可將各件商品分配給評價最高的投標者，故 SMRA 制度在表 1 評價組所實現的總價值 179 也就是效率分配解。但是如果商品間有正綜效關係，投標者決定標價之決策就會是較為困難的問題。首先我們必須考慮三件商品可以構成七種商品組合：A、B、C、AB、AC、BC 以及 ABC。以  $\alpha$  表示綜效係數，假設綜效關係之結構如下： $k$  件商品組合價值是  $(1+\alpha)^{k-1}$  乘上個別價值加總， $\alpha>0$  表示商品間具有正綜效。例如  $\alpha=0.1$  時，AB 組合價值  $v_{AB}=(1+\alpha)(v_A+v_B)=1.1(v_A+v_B)$ ，三件商品 ABC 組合的價值則是  $v_{ABC}=(1+\alpha)^2(v_A+v_B+v_C)=$

4 本文大致依照臺灣 2013 年第一波 4G 釋照政策情境建立模擬拍賣模型，故選用此組評價範圍，詳見第四節。

$1.21(v_A + v_B + v_C)$ 。

以投標者 F1 為例，由表 1 個別商品評價資料可算出 AB 組合之價值是  $v_{AB} = 1.1 \times (13 + 38) = 56.1$ ，ABC 組合價值為  $v_{ABC} = 1.21(13 + 38 + 87) = 167.0$ 。同法算出所有組合對六位投標者之價值呈現於表 2。

表 2：組合商品價值，綜效係數  $\alpha = 0.1$

	AB	AC	BC	ABC
F1	56.1	110.0	137.5	167.0
F2	27.5	85.8	100.1	117.4
F3	36.3	139.7	160.6	185.1
F4	17.6	39.6	55.0	61.7
F5	53.9	35.2	45.1	73.8
F6	42.9	124.3	121.0	158.5

在商品有正綜效的情況下，投標者如果成功買到組合商品可以獲得更高價值，但是如果僅能對組合之部分得標，其價值則大為降低。試想以下情況：F1 希望標到 AB 組合所以在 SMRA 制度下設定標價  $b_A = 14$ ， $b_B = 39$ 。如果以此標價成功購得 AB 組合，F1 的報酬會是  $v_{AB} - (b_A + b_B) = 56.1 - (14 + 39) = 3.1$ 。但是如果沒有標到完整的 AB 組合而只標到 B 商品，則 F1 會發生虧損，因為  $v_B - b_B = 38 - 39 = -1$ ，這就是前述曝險問題。為了避免發生虧損，投標者可以設定「商品標價不得高於評價」的原則，但是此種投標方式無法顯示商品間的正綜效關係，有可能會降低商品分配效率。

為了降低曝險問題對分配效率的不利影響，並且讓投標者有較大自由組合其需要的頻譜，SMRA 制度設計有允許投標者對暫時得標區塊「撤標」<sup>5</sup>之規定，也就是各回合的暫時得標者可以主動放棄其暫時得標地位。如上例之 F1 如果未能標到完整的 AB 組合，而被套牢在價值不高的 B 區塊上，可能會發生虧損，故 F1 可以決定對 B 商品撤標。此設計使得投標者有機會擺脫

5 見 Weber (1997: 530)。

價值不高的部分商品，可協助降低曝險問題。

撤標細節規定需要謹慎設計，因為拍賣最重要的基礎是所有標單都必須是有約束力的承諾（binding agreement）；如果投標者可以任意投下虛假標單並且不承擔責任，則整場拍賣之進行會變成無意義。故 SMRA 制度規定：如果拍賣結束時被撤標商品沒有釋出或釋出價格低於原撤標價格，則原撤標之投標者還是必須以撤標時之價格標下商品。可撤標次數也有上限規定，以避免拍賣過程耗時太久。

CCA 則是近年來除了 SMRA 之外，國際間最常用的另一拍賣機制。學者設計 CCA 制度的主要目的是為了讓投標者可以投組合標，以便更有彈性地表達其需求。在組合拍賣中上述 F1 投標者就可以表達他對 A 商品最多願付價格 13，對 B 商品最多願付價格 38，但是對 AB 組合之最高願付價格則是 56。丹麥與瑞士 2012 年、英國 2013 年以及加拿大 2014 年等釋照案例都採用 CCA 制度進行頻譜釋照。本文第三節將以英國為例說明採用 CCA 制度釋照之政策經驗。

這兩種拍賣機制最基本的差別是，在 SMRA 制度下投標者是以價格對個別單件商品競標，標單  $(P_A, P_B, P_C)$  說明投標者對各商品之願付標價，各回合內對商品出價最高者取得暫時得標地位。而 CCA 制度的基礎則是眾所周知的英式拍賣（English auction），其操作方式是拍賣者在各回合宣布價格  $(P_A, P_B, P_C)$ ；投標者則是以數量競標，例如標單  $(q_A, q_B, q_C) = (1, 1, 0)$  表示投標者願意在拍賣者宣布的價格下購買 1 單位 A 商品及 1 單位 B 商品，也就是購買 AB 組合的標單。

為配合頻譜區塊間可能具有正綜效之特性，CCA 制度下所有標單都被視為組合標單。例如某回合拍賣者宣布商品價格為  $(P_A, P_B, P_C) = (15, 30, 60)$ ，則 CCA 制度下標單  $(q_A, q_B, q_C) = (1, 1, 0)$  之意義是投標者願意付出  $15 + 30 = 45$  的價格標購 AB 組合；標單若為  $(q_A, q_B, q_C) = (1, 1, 1)$  表示投標者願意付出  $15 + 30 + 60 = 105$  的價格標購 ABC 組合。<sup>6</sup>

英式拍賣的一項缺失是隨著價格上升、需求量減少的過程，可能導致商

6 對單一商品之需求則以類似  $(q_A, q_B, q_C) = (1, 0, 0)$  之標單表達。

品未能完全售出。仍以上例說明：假設商品價格為  $(P_A, P_B, P_C)=(15, 30, 60)$  時，所有投標者對商品需求量加總為  $(Q_A, Q_B, Q_C)=(2, 1, 1)$ 。<sup>7</sup> 此時 A 商品仍有超額需求，故拍賣者在次回合宣布價格為  $(P_A, P_B, P_C)=(16, 30, 60)$ 。A 商品價格上升會使需求量減少，如果原來需求 1 單位 A 商品的兩位投標者在價格上升後需求量都下降為零，則三件商品的總需求量成為  $(Q_A, Q_B, Q_C)=(0, 1, 1)$ ，故有可能拍賣結束時 A 商品未能售出。

為改善此缺失，CCA 制度以兩階段方式進行商品分配。首先進行動態價格鐘回合，這只是一個價格發現 (price discovery) 過程，並不進行商品分配。此階段內超額需求會使價格持續上升，當價格上升到所有商品的超額需求都消失時，價格鐘階段結束，然後 CCA 進入附加競標回合 (supplementary round)。此回合內投標者有一次機會可以投下多個密封組合標。本例三件商品可以構成七個組合，所以此回合內 F1 可以投出類似表 3 的標單。

表 3：補充競標回合標單

組合	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
標價	12	37	86	55	109	137	166

投標者在第一階段動態價格鐘各回合中已經投下許多組合標，故拍賣者最後需要用每位投標者曾經投過的所有標單來彙整出一張最終標單，其中各組合的標價是投標者所有曾經投下標價之極大值。例如 F1 曾經對 AB 組合投下 28、36、...、52 等標價，其極大值是 52，故拍賣者會以 F1 投下標價  $b_{AB}=52$  進行決標計算。

拍賣者最後將所有投標者整理後的標單納入決標計算，首先求解贏家決定問題 (winner determination problem, 簡稱 WDP)，依照「極大化總價值」原則進行商品分配。操作 WDP 程式決定商品分配之後，拍賣者還需要由另一支電腦程式算出得標者所需支付的價格。<sup>8</sup> CCA 制度所定義的成交價格稱為

7 大寫  $Q_A$  表示所有投標者對 A 商品之總需求量，B、C 商品亦同。

8 見 Maldoom (2007)。



最近核心價格 (Vickrey-nearest-core price, 簡稱 VNC 價格), 此價格需要經過數個步驟的計算才能得出, 本文下一節將詳細介紹設計理念及計算過程。

## 參、拍賣制度比較

本節將就學術研究與政策經驗兩方面比較 SMRA 與 CCA 兩種拍賣制度, 並簡單介紹臺灣頻譜釋照經驗。

### 一、SMRA 學術研究

經濟學者經由理論分析與實驗研究設計出 SMRA 制度, 各國操作 SMRA 制度進行頻譜釋照之經驗又提供更多資料讓學者可以持續研究, 以便能更確切瞭解制度細節對拍賣結果之影響。Weber (1997) 與 Cramton (1997; 1998) 等文獻分析 FCC 早期拍賣經驗後提出以下看法: SMRA 制度之動態過程是重要的資訊揭露過程, 隨著各期價格改變, 投標者可以在不同的標的間自由移轉, 有助於效率分配。雖然釋照收入並不是重要政策目標, 但是電信業者付出之高標金表示市場評估頻譜具有高價值, 如果不經由拍賣過程, 政府實在難以得知頻譜的市場價值。大部分拍賣結果是類似商品得標價格相差極小, 拍賣後短期內也幾乎沒有頻譜次級交易發生, 這些情況都顯示拍賣達成效率分配。早期 SMRA 操作曾經發生業者以標價最後幾位數目字作為傳訊, 目前 SMRA 設計則多採用提高標金單位 (例如標金以百萬美元為單位) 或是以下拉式選單選取投標金額, 就可以避免此缺失。

學術分析也指出 SMRA 可能發生以下潛在缺失: 首先需求多單位商品的投標者可能會展現減少需求 (demand reduction) 的投標行為。Weber (1997)<sup>9</sup> 以極端例子說明此現象: 假設拍賣者出售三件同質商品, 商品對兩位競標者價值相同, 一件商品價值 100, 兩件商品價值 200。如果兩人都希望標到兩件商品, 則價格會趨近 100, 競標者的報酬則會趨近於零。但是如果其中有一位競標者採取減少需求行為, 改成只對一單位商品投標, 則拍賣可以在很短

9 見 Weber (1997: 531)。

期間內結束，雙方都以接近底價的價格買到商品。與誠實競標比較，減少需求投標行為可以大幅提高投標者利潤，也使拍賣的結果成爲一個低價均衡。

Weber (1997) 與 Cramton (1998) 發現早期 FCC 釋照經驗中曾經發生過需求減少情況。後續也有學術研究分析需求減少現象，例如 List and Lucking-Reiley (2000) 與 Ausubel et al. (2014) 分析靜態密封標拍賣之需求減少；Brusco and Lopomo (2008) 以理論模型分析動態拍賣中預算限制可能造成需求減少與降低分配效率；Goeree et al. (2013) 則是以實驗方法比較動態上升標與靜態拍賣之效率，該文發現當現存廠商與新廠競標時，現存廠商可能在動態上升標拍賣中先積極投標，試圖逼退新廠，但後期則展現需求減少行為以提高報酬。

## 二、SMRA 政策經驗

就理論分析而言，拍賣賽局中的確可能發生需求減少與低價均衡，另一個重要面向則是探討各國政策經驗以便瞭解理論上可能存在的需求減少是否實際構成嚴重問題。德國之釋照拍賣一向採取 SMRA 制度，以下即觀察德國釋照拍賣經驗。1999 年 10 月時德國釋出 10 單位 2G 頻譜區塊，當時有四家廠商競標，兩家現存大廠以及兩家新廠。SMRA 操作結果是拍賣三回合即結束，由兩家現存大廠各取得 5 單位頻譜區塊並達成低價均衡。<sup>10</sup>乍看之下此政策案例十分吻合文獻中所描述的需求減少現象，但是仔細研究當時德國電信業的情況，卻可以發現市場結構與頻譜供需才是低價均衡的主要原因。

1992 年時德國無線通訊產業是爲雙佔市場，只有兩大業者：T-Mobil 以及 Mannesmann Mobilfunk，前者是國營的德國電信之子公司。GSM 技術成熟後，監理機構爲促進競爭，故核發頻譜執照給兩家新業者——1994 年發給 E-Plus 與 1998 年發給 Viag Interkom。兩大現存廠商在 900 MHz 頻段各擁有  $2 \times 12.5$  MHz 的頻譜，而監理機構在 1800 MHz 頻段分配給每家新業者  $2 \times 22.5$  MHz 的頻譜。雖然新廠擁有數量較多的頻譜，但是其市場份額依然不大，兩大廠各佔約 40% 市場，而 E-Plus 與 Viag Interkom 則各自擁有 15% 與 5%。

10 關於 1999 年德國 2G 釋照情況，參見 Grimm et al. (2003)。

兩家新廠因爲原核配頻譜數量頗大，所以在 1999 年釋照時並無頻譜需求。另一重要因素是 1999 年拍賣 GSM 執照時德國政府已經規劃將於 2000 年釋出 3G 執照，後者使用 UMTS 技術標準之傳輸速率遠高於 GSM 技術，此因素也使得廠商對 1999 年釋出頻段之需求不強勁。以上資料顯示市場對頻譜需求疲弱以及技術面因素應該是拍賣出現低價均衡的主要原因。

2000 年德國 3G 釋照依然使用 SMRA 制度但結果卻大不相同。<sup>11</sup> 2000 年 7 月 31 日起，七家業者競標 12 個  $2 \times 5$  MHz 的頻譜區塊。監理機構設定得標下限 2 區塊，上限 3 區塊，故得標電信廠商數目可能是四家到六家。拍賣進行到 126 回合時一家廠商退出，但其他廠商依然需求 3 區塊，故拍賣繼續進行，價格持續上升。147 回合時四家小廠商各自只需求 2 區塊，但是兩家大廠仍然需求 3 區塊，故價格持續上升。直到 173 回合拍賣結束，六家廠商每家得標 2 區塊。就商品分配而言，126 回合已經達到「六家得標，每家 2 區塊」的結果，但是電信業者之間的激烈競爭使得拍賣又繼續進行 47 回合，也使得當年之釋照價格達到國際高標，減少需求的情況顯然在此次釋照經驗中並未發生。

在 2010 年與 2015 年德國兩次多頻段釋照經驗中，同樣並未出現需求減少現象。2010 年德國在四個頻段釋出總計高達 360 MHz 的 41 個頻譜區塊，有四家廠商參與競標。此次釋照拍賣規模龐大，Cramton and Ockenfels (2017) 之分析結論是：雖然理論上 SMRA 制度可能發生低價均衡，但是此問題在該次釋照並未發生；整體而言廠商有夠強的競爭行爲，最終也達成頻譜的效率分配。

2015 年時德國電信產業已經整合爲只有三家廠商<sup>12</sup> 的寡佔產業。拍賣前業界觀察家認爲三家廠商互相配合可使大家都得利，故預期會發生需求減少現象，但事實卻是該年釋照競標更爲激烈。拍賣共進行 16 天 181 回合，總標金高達 50.81 億歐元。有趣的是三家廠商得標區塊數量與 34 回合完全相同，而當時的總標金只有 19.93 億歐元。也就是此次釋照拍賣最後 147 回合並未

11 見 Grimm et al. (2001)。

12 三家電信業者分別是：Telecom、Telefonica 與 Vodafone。有關德國 2015 年釋照的討論，參見 Koboldt and Ihle (2015) 與 Zehle (2015)。

改變頻譜分配結果，只是使電信廠商負擔的總標金提高 30 億歐元。

綜合以上討論，我們認為就理論研究的角度而言，需求減少現象與低價均衡的確是可能出現的均衡。但是觀察各國頻譜釋照政策經驗，只要電信產業廠商之間有正常競爭關係並且對頻譜有強勁需求時，低價均衡出現的機率並不高。

### 三、CCA 學術研究

SMRA 制度下投標者只能對單一商品投標而沒有組合標設計。投標者可能願意為組合商品付出更高標價，但卻無法表達此意願。假設投標者為了避免得標後發生虧損，故以各商品評價為其標價上限。當商品間有正綜效時，SMRA 制度下此種投標行為會降低分配效率。我們首先說明如何衡量此效率降低幅度，接著再介紹為改善此缺點而設計之 CCA 制度。

對於表 1 範例評價組，「標價不超過評價」之投標行為所實現的分配是 A、B、C 三件商品分別分配給 F6、F1 與 F3，此分配實現的總價值是  $21+38+120=179$ 。拍賣文獻常將社會總價值稱為剩餘 (surplus)，故將此結果寫成符號  $Sur_S=179$ ，下標  $S$  表示這是在 SMRA 制度下實現之剩餘。如果商品間沒有綜效關係，SMRA 拍賣結果也就是效率極大的分配。

但是商品間有正綜效則會使得 SMRA 拍賣結果效率降低。同樣假設  $k$  件商品組合價值是  $(1+\alpha)^{k-1}$  乘上個別價值加總，當綜效係數  $\alpha=0.1$  時，表 4 顯示七件商品組合對所有投標者的價值。

表 4：組合商品價值，綜效係數  $\alpha=0.1$

	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
F1	13	38	87	56.1	110.0	137.5	167.0
F2	6	19	72	27.5	85.8	100.1	117.4
F3	7	26	120	36.3	139.7	160.6	185.1
F4	1	15	35	17.6	39.6	55.0	61.7
F5	20	29	12	53.9	35.2	45.1	73.8
F6	21	18	92	42.9	124.3	121.0	158.5

對表 4 資料計算效率解的過程頗為複雜。考慮 A 商品可以分配給 F1 ~ F6 中任意一人，故有六種可能分配方法，B 商品、C 商品同樣都有六種可能分配方法；故六人三商品拍賣總計有  $6^3=216$  種分配方法。我們需要由這 216 種分配中找出總價值（總剩餘）極大者才是最有效率的分配，寫成符號  $Sur_M$ ，下標  $M$  表示極大（maximal）。

表 4 評價組的效率分配是將 ABC 組合分配給 F3，故效率解之極大總剩餘是  $Sur_M=185.1$ 。對照 SMRA 實現之總價值  $Sur_S=179$ ，可以算出 SMRA 所達成的效率比 ER（efficiency ratio）是  $ER=\frac{Sur_S}{Sur_M}=\frac{179}{185.1}=0.9670$ 。

雖然效率解是將 ABC 組合分配給 F3 以實現  $v_{ABC}=185$ ，但是對 F3 而言個別商品的價值卻只有  $v_A=7$ ， $v_B=26$ ， $v_C=120$ 。假設 F3 為了避免虧損而不會令標價高於個別商品價值，則 SMRA 制度下 F6 與 F1 會分別標到 A、B 商品，F3 沒有成功標到 A、B 使得商品分配沒有實現 ABC 組合的綜效，故造成 SMRA 之效率降低。

如果綜效係數變大，則 SMRA 制度下效率降低的幅度也會變大。表 5 顯示綜效係數  $\alpha=0.2$  時的組合商品價值。此情況下效率解仍然是將 ABC 組合分配給 F3， $\alpha$  變大使得極大總價值提高為  $Sur_M=220.3$ 。SMRA 實現之總價值仍然是  $Sur_S=179$ ，故效率比降低為  $ER=\frac{Sur_S}{Sur_M}=\frac{179}{220.3}=0.8125$ 。

以上分析顯示 SMRA 無法投組合標可能造成效率降低，CCA 正是為了改善此缺失而設計的新制度。雖然對此缺失做出補強，但是完美的拍賣制度並不存在，CCA 制度也有其問題，首先就是其複雜性。CCA 制度之決標運

表 5：組合商品價值，綜效係數  $\alpha=0.2$

	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
F1	13	38	87	61	120.0	150.0	198.7
F2	6	19	72	30	93.6	109.2	139.7
F3	7	26	120	40	152.4	175.2	220.3
F4	1	15	35	19	43.2	60.0	73.4
F5	20	29	12	59	38.4	49.2	87.8
F6	21	18	92	47	135.6	132.0	188.6

算包含兩部分，商品分配是以 WDP 程式決定，其原則和 VCG 制度相同，是在所有可能的商品分配中找出能使標價總值極大的分配。CCA 採用 XOR 投標語言，也就是投標者所投下的所有組合標中，最多只有一個組合標會成爲贏家。在本文三商品拍賣架構下競標者可對七個組合投標，複雜度並不太高。但是實際釋照政策情境下，投標者可選擇的組合標數目十分龐大，會使投標者決策之困難度大爲提高。

除了商品分配之外，CCA 制度計算 VNC 價格之方法更爲複雜。Cramton (2013) 以數字例說明 VNC 價格之設計理念以及計算方法，以下簡單說明其概念。<sup>13</sup> 拍賣者在收到所有標單之後，首先依照機會成本概念算出得標頻譜區塊之 Vickrey 價格。但是 Vickrey 價格並不具備核心 (core) 所要求的穩定分配性質，故部分得標者有可能可以組成聯盟改變其標價而使聯盟成員得到伯瑞圖改進 (Pareto improvement)，因此接著必須計算核心價格 (core price)。但是可能有無窮組價格都滿足核心條件，故必須在其中選取最小核心價格 (minimal core price)，這是能使賣方收入極小的核心價格。此步驟仍然可能得到多組價格，故還需要最後一步，必須在所有最小核心價格中，依照「與 Vickrey 價格距離最近者」標準決定出拍賣價格的唯一解，這就是 Vickrey 最近核心價格 (Vickrey-nearest-core price，以下簡稱 VNC 價格)。

在 Cramton (2013) 的簡單數字範例中，VNC 價格的各個步驟都有其重要經濟意義，但是近來一些文獻則提出不同看法。Goeree and Lien (2016) 指出 CCA 制度採用更複雜的 VNC 價格來取代 Vickrey 價格，故 VNC 價格已經無法誘發出誠實投標行爲。並且 VNC 價格是由極小化賣方收入得出，而得標者標價是賣方收入的一部分，所以壓低標價可以降低最小核心價格，故投標者可能有誘因會壓低標價。Gretschko et al. (2012) 也用數字例子顯示誠實投標並不是投標者在 CCA 價格鐘回合的壓倒策略，並且投標者還可以利用價格鐘回合的投標行爲來抬高其他投標者需付價格，同時也不使自己需付價格提高，故 CCA 制度下可能設計出很複雜的投標策略。Janssen and Karamychev (2016) 認爲在自己報酬相同的情況下，投標者會希望提高對手成本，在此假

13 參見 Cramton (2013: 177-179)。

設下投標者在 CCA 制度中可以發展出數種不同的複雜投標行為。拍賣研究的一項重要考慮是希望設計出能誘發誠實投標的機制，而以上數篇理論研究都指出 CCA 制度下可能存在複雜的策略性投標行為而不會誠實投標。

在實驗研究方面，Kagel et al. (2010) 觀察到 CCA 在實驗中大致可以達到效率分配，但是受試者只在全部有利潤的投標組合中選取一小部分投標，並且以此投標形式進行模擬時，他們發現「可選擇組合很多而實際投標組合很少」的現象會導致效率較低的分配。Scheffel et al. (2012) 同樣發現 CCA 制度下受試者在所有利潤組合中，只對一小部分組合投標，此現象可能導致效率較低。Bichler et al. (2013) 則是直接比較 CCA 與 SMRA 並發現 CCA 效率較低，原因也和上述文獻相同。CCA 提供給受試者充分的彈性與自由度來選擇要對哪些組合投標，但上述文獻顯示投標者並未充分利用此自由度，故可能造成效率降低。Bichler et al. (2014) 則是從投標語言 (bid language) 與價格規則 (payment rule) 兩方面來探討拍賣制度。該文之實驗研究發現投標語言越簡單效率就越高，價格規則越簡單則拍賣收入就越高。而 CCA 所使用的是複雜的 XOR 投標語言、複雜的 VNC 價格規則，所以在收入及效率面表現都不佳。

#### 四、CCA 政策經驗

CCA 在政策實務面也遭到一些質疑，首先是 CCA 運算之複雜度問題，在上述 Cramton (2013) 之五人二商品例子中，CCA 之商品分配及價格計算的設計意義與操作方法都很清楚。但是對於頻譜拍賣實際政策情境，可供選擇的組合標數目可能高達數百萬。例如 2012 年瑞士多頻段拍賣，理論上存在 2.8 百萬種組合標可供投標者選擇，如此大的數量當然造成運算困難，故實務上限制投標者在附加回合可投標數量最多為 3,000。幅員廣大的國家又往往區分全國性執照與地區性執照，故問題更為複雜，例如澳大利亞可有 1,680 億個組合標，加拿大之組合標數目更可說是天文數字。<sup>14</sup> 為避免曝險問題，CCA 制度允許買方投組合標，但這也使得投標的複雜度提高。對於參與頻譜

14 加拿大有 3,700 萬億種組合標。關於此三國家組合標數目，見 Ihle and Maldoom (2012)。

拍賣的投標者而言，以動態規劃求解 WDP 的過程以及計算 VNC 價格的各步驟都是龐大且複雜的數學黑洞，投標者看到拍賣結果後並無法瞭解求解過程和均衡解之意義。

英國採用 CCA 經驗始於 2008 年兩次重要性較低的拍賣，<sup>15</sup> 經由此二次拍賣讓業者熟悉複雜的 CCA 制度如何操作並獲取意見回饋後，2013 年英國舉辦重要的 4G 釋照時也採用 CCA 制度。當年英國政府在 800 MHz 與 2.6 GHz 兩頻段釋出總計 250 MHz 頻譜區塊，七家廠商參與競標，最終五家廠商得標。

此次拍賣過程順利，總標金也超過原先預期。英國審計部在拍賣後分析業者投標資料，發現 Vodafone 在價格鐘回合與附加回合是對相同的組合投標，這表示 Vodafone 在價格鐘階段的確有誠實投標。但是 EE 與 Three 這兩家業者在價格鐘回合與附加回合卻是對不同的組合投標，英國審計部認為此二業者在價格鐘回合隱匿其偏好而未表達真實需求。<sup>16</sup> CCA 設計中價格鐘回合應該是重要的價格發現過程，這也是 CCA 能達成效率分配的重要前提。但是英國 4G 釋照過程中部分投標者在價格鐘階段沒有表達其真實偏好，所以英國審計部的結論是無法確定 CCA 制度是否達成頻譜之有效率分配。Levin and Skrzypacz (2016) 分析數個國家採用 CCA 政策的經驗後，也指出實際政策經驗中包含多種投標行為，而不僅僅是理論分析所預期的誠實投標。<sup>17</sup>

英國審計部也認為 2013 年英國 4G 釋照之分配結果似乎並不穩定，投標行為之微小改變會造成頻譜分配結果之顯著改變。以電信業者 O2 為例：實際釋照結果是 O2 以 550 百萬英鎊在 800 MHz 頻段標到 20 MHz 頻譜區塊，在 2.6 GHz 頻段 O2 則未得標。但是審計部在拍賣後利用 Ofcom 發布之電腦程式進行試算，卻發現如果 O2 對 800 MHz 頻塊組合之標價降低 28 百萬英鎊，或是對 800 MHz 加上 2.6 GHz 組合標之標價提高 28 百萬英鎊，就可以在 2.6 GHz 頻段購得 10 MHz 區塊。<sup>18</sup> 此結果是由電腦程式進行複雜運算後得出，難以用直覺解釋其原因，也不知是否合理。審計部表示，正如 O2 之例顯示，拍

15 10-40 GHz 頻段以及 L Band 拍賣，見 Levin and Skrzypacz (2016)。

16 National Audit Office (2014: 22)，paragraph 2.20。

17 例如奧地利 2013 年 CCA 釋照拍賣中就會出現侵略性投標 (aggressive bidding) 行為。

18 National Audit Office (2014: 20)，paragraph 2.16。



賣規則太過複雜使得業者難以規劃投標策略，個別業者在拍賣中幾乎無法建立投標策略與拍賣結果之連結性，使得業者幾乎無法預期拍賣成果，不確定性甚高。

Ofcom (2015) 規劃進行 2.3 GHz 與 3.4 GHz 頻譜釋照時即決議不採用 CCA 制度。<sup>19</sup> 基本原因固然是該次釋出的兩頻段之間互補性較弱，所以曝險問題的嚴重性較低，但政策文件中也列出 CCA 制度之缺點如下：<sup>20</sup> 1. 投標者很難設計投標策略並在業者本身機構內部得到批准；2. 直到拍賣結束、電腦程式完成計算後，投標者才知道自己需要付出的價格，在這之前投標者無法估計要為得標區塊付出多高價格；3. 開標結果可能讓投標者覺得吃驚和不公平 (surprise bidders and may therefore be perceived as unfair)。

CCA 的另一重要特性是 VNC 價格並不符合單一價格法則，而是會算出因人而異的價格。例如瑞士 2012 年採用 CCA 制度進行頻譜拍賣之結果是兩家業者標到相似的執照組合，但其付出的價格分別是 482 百萬與 360 百萬瑞士法郎，前者高達後者的 1.34 倍。<sup>21</sup> 支持 CCA 制度者認為差別定價可以誘發誠實投標，並且不會有個別及群體背離誘因，故可達成重要政策目的；但是批評者指出此種定價方法會讓付出不同價格的競標者覺得不公平。

違背單一價格法則還會帶來其他困擾。CCA 制度只算出得標者為其得標組合需付價格，但是拍賣結束後卻依然沒有各頻段頻譜區塊單位價格的重要資訊。在進行後續政策規劃時，政府往往需要知道頻譜單位價格，CCA 卻無法提供此資訊。例如英國政府決議對將屆期之 2G 執照不採用收回頻譜重新釋照的作法，而是換發技術中立執照。在規劃換照政策時，需要參考 2013 年 4G 釋照標金來重新調整 900 MHz 與 1.8 GHz 頻譜之年度執照費 (annual licence fees, 簡稱 ALF)，此時監理單位就必須利用 CCA 釋照結果中組合標的價格來設法估算出不同頻段頻譜區塊之單位價格。

但是估算頻譜商業價值之困難度極高，Ofcom (2014) 利用三種方法估

---

19 Ofcom 此次釋照決議改採 SMRA 制度，但是 Ofcom 此次設計之 SMRA 制度與一般常見的 SMRA 制度有甚大差異，我們將另文討論。

20 見 Ofcom (2015: 88)。

21 見 Bichler et al. (2014: 618)。

算，800 MHz 頻譜單位價值從 31.2 到 38.4 百萬英鎊，高低差距達 23%；2.6 GHz 頻譜單位價值從 4.55 到 7.35 百萬英鎊，變動幅度更高達 61%。<sup>22</sup> 此案例顯示 CCA 制度下拍賣結束後政府單位依然不知頻譜單位價值之窘境。

## 五、臺灣頻譜拍賣經驗

以下我們簡單介紹臺灣頻譜拍賣經驗。到 2016 年為止，臺灣總共舉辦過四次釋照拍賣，都是以 SMRA 制度進行。2002 年臺灣首次以拍賣方式釋出 3G 執照，政策情境是一家廠商只能標到一張執照，故拍賣模型相對簡單。當時交通部電信總局採用 SMRA 制度順利釋出五張執照，遠致電信（現遠傳）、聯邦電信（現威寶）、台灣大哥大與中華電信四家在 2100 MHz 頻段各取得一張執照，亞太電信得標執照則位於 800 MHz 頻段。

2007 年時爲了配合整體工業政策，成立僅一年的國家通訊傳播委員會（以下簡稱通傳會）釋出 2600 MHz 頻段之 WiMAX 執照。當時 WiMAX 技術與設備都尚未成熟，也沒有明確的商業模式。WiMAX 釋照負擔了支持資通訊設備產業發展以及鼓勵新科技的重責巨任，因此通傳會設計較爲特殊的拍賣制度，限制 SMRA 制度最多只能進行 10 回合。但是在審查過程排除部分有意投標廠商後，實際上 WiMAX 釋照是以單回合方式進行，詳細分析見樊沁萍（2013）。

2013 年臺灣舉行第一波 4G 釋照，在 700 MHz、900 MHz 以及 1800 MHz 三個頻段釋出總量高達 270 MHz 的頻譜區塊，這也是臺灣第一次舉辦多頻段釋照。通傳會曾經宣布要採取 27 個小區塊釋照，<sup>23</sup> 此規劃和以前大區塊釋照差異很大，可能隱含拍賣制度的改變。但是社會各界提出許多疑問後，此次釋照仍然採用和 3G 釋照大致相同的大區塊 SMRA 制度。因爲各家業者都希望搶先提供 4G 服務，故競爭十分激烈。最終六家業者<sup>24</sup> 付出高達 1186.5 億元的總標金，此金額是底價的 3.3 倍。

22 資料來源：Ofcom（2014: 21），表 2.4。

23 見國家通訊傳播委員會（2012），通傳會新聞稿。

24 得標廠商爲：中華電信、遠傳、台灣大哥大、國碁、亞太與台灣之星。後新進業者國碁與亞太合併，故目前臺灣有五家 4G 電信業者。

2015年臺灣舉辦第二波4G釋照，收回原為WiMAX使用的2600MHz頻段後，以SMRA制度釋出六張執照。雖然此次釋照總量亦高達240MHz，但是因為2600MHz頻段性質屬於「容量頻段」(capacity band)，主要用途是供業者擴充網路容量，故此頻段單價較低，釋照總標金收入為279.25億元。電信三雄之一的台灣大哥大甚至在中途就退出拍賣，放棄競標此頻段區塊，故只有其他四家4G業者得標。

2017年臺灣舉辦第三波4G釋照，在2100MHz與1800MHz兩頻段釋出總計120MHz頻譜區塊。此次釋照仍然以SMRA方式進行，但是因為2100MHz頻段是原3G業者使用之頻段，為了避免拍賣後移頻造成社會成本，故採取兩階段SMRA：第一階段標售無指定位置之虛擬頻譜區塊數量，第二階段再決定得標區塊之確切位置。1800MHz頻段的情況則較為特殊，因為2013年第一波4G釋照已經在此頻段釋出90MHz頻譜區塊，此次釋出的30MHz頻譜區塊位於此頻段的最側邊，緊鄰區塊擁有者是中華電信。因為連續的頻譜區塊價值較高，故此次釋出頻譜區塊對除中華電信之外的其他業者而言，價值不大。競標結果也符合此情況，中華電信取得與其現使用區塊相鄰之10MHz頻譜區塊，<sup>25</sup>其餘20MHz無人投標，故未釋出。

## 肆、模擬分析

當商品間有正綜效時，SMRA制度的一項主要缺失是投標者無法投組合標，而只能對個別商品投標。此制度下標價可能無法反映真實頻譜價值，致使拍賣結果效率降低。以往文獻多以實驗方法評估拍賣制度之效率，但是實驗研究受限於時間及經費等限制因素，往往無法取得大量資料。本文則將以電腦程式模擬投標行為，希望能夠較清楚地描述出綜效大小與SMRA效率降低幅度之關係。

本節拍賣模型設定有六位投標者F1～F6，參與競標A、B、C三件商品。如上所述，臺灣的三次4G釋照經驗中，第一波4G釋出頻段最多，故綜效因

---

25 因為通傳會對電信業者持有頻譜有上限規定，故中華電信也無法對更多區塊投標。

素最可能是重要考量。因此本節模擬基本情境大致參考 2013 年臺灣第一波 4G 釋照經驗。除五家現有業者（中華電信、遠傳、台灣大哥大、亞太與台灣之星）之外，再考慮可能有新業者加入拍賣，故設定為六位投標者參與競標。2013 年釋照時 700 MHz、900 MHz 以及 1800 MHz 三個頻段頻譜區塊之平均單價分別是每 MHz 6.78 億元、3.11 億元以及 13.24 億元。因此我們首先將基本 PV 組之 A、B、C 三件商品最高價值比例設為 1 比 2 比 4；投標者評價對此三商品將分別由 (0, 30)、(0, 60) 以及 (0, 120) 區間中隨機抽出。模擬分析中我們考慮兩種綜效結構：全綜效（full synergy）與部分綜效（partial synergy）。

## 一、全綜效模擬

全綜效架構表示 A、B、C 三種商品之間都有正綜效，定義同本文第二節， $k$  件商品組合價值是  $(1+\alpha)^{k-1}$  乘上個別價值加總，故  $v_{AB}=(1+\alpha)(v_A+v_B)$ ， $v_{ABC}=(1+\alpha)^2(v_A+v_B+v_C)$ 。

第二節表 1 顯示一組隨機抽出之評價，當綜效係數  $\alpha=0.1$  時此組評價在 SMRA 制度下可達成之效率比是 0.9670。但是此效率比值是根據表 1 之特定評價組算出，不具一般性。故我們在相同商品價值範圍內，隨機抽出五千組評價，對每組評價都進行類似第三節的分析，就可以得到五千個效率比，並整理出敘述性統計及盒鬚圖如表 6。

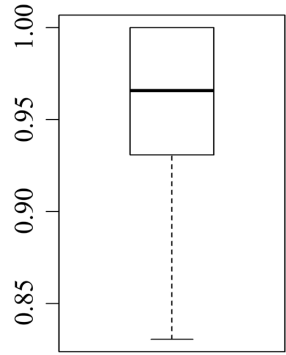
符號  $Q_i$  表示第  $i$  個四分位數，四分位距  $IQR=Q_3-Q_1$  範圍內包含 50% 的資料。表 6 中圖形的縱軸是效率比， $Q_1$  及  $Q_3$  是盒子的邊界，盒子內部的粗線則是中位數。依照一般定義，盒鬚圖中鬚鬚往盒子上下各延伸  $1.5 \times IQR$  長度，此範圍外的資料則被視為離群值。

因為效率比數值介於 0 到 1 之間，而  $\alpha=0.1$  五千組評價效率比之平均值 0.9581 已經很接近上限 1，所以表 6 盒鬚圖形狀與一般稍有不同。 $Q_3=1.00$  已達效率比上限，所以上方之鬚鬚並不存在，且四分位距  $IQR=Q_3-Q_1=0.0692$  的數值很小，所以下方鬚鬚長度  $1.5 \times IQR=0.1038$  也不大。小於  $Q_1-1.5 \times IQR=0.8270$  之效率比會被視為離群值，若有離群值將在圖中以黑點表示。表 6 之  $\alpha=0.1$  的五千組評價效率比並不存在離群值。

第三節範例分析顯示綜效係數越大會使 SMRA 制度達成之效率比越低。

表 6：全綜效， $\alpha=0.1$  五千組評價效率比敘述性統計

統計量	數值
平均數	0.9581
標準差	0.0403
$Q_1$	0.9308
中位數	0.9657
$Q_3$	1.0000
$Q_1 - 1.5 \times IQR$	0.8270



爲了清楚瞭解綜效係數與效率比之關係，對於綜效係數  $0.00 \leq \alpha \leq 1.00$ ，我們以 0.01 爲區間共進行 101 組模擬分析，每個  $\alpha$  值都抽出五千組隨機評價。圖 1 整理出各綜效係數之盒鬚圖，圖形清楚顯示綜效係數越大則 SMRA 可達成之效率比就會越低。例如綜效係數  $\alpha=0.16$  時，效率比會下降到大約 90%。

圖 1 畫出 101 組模擬結果之盒鬚圖以便觀察綜效係數與效率比之全面關

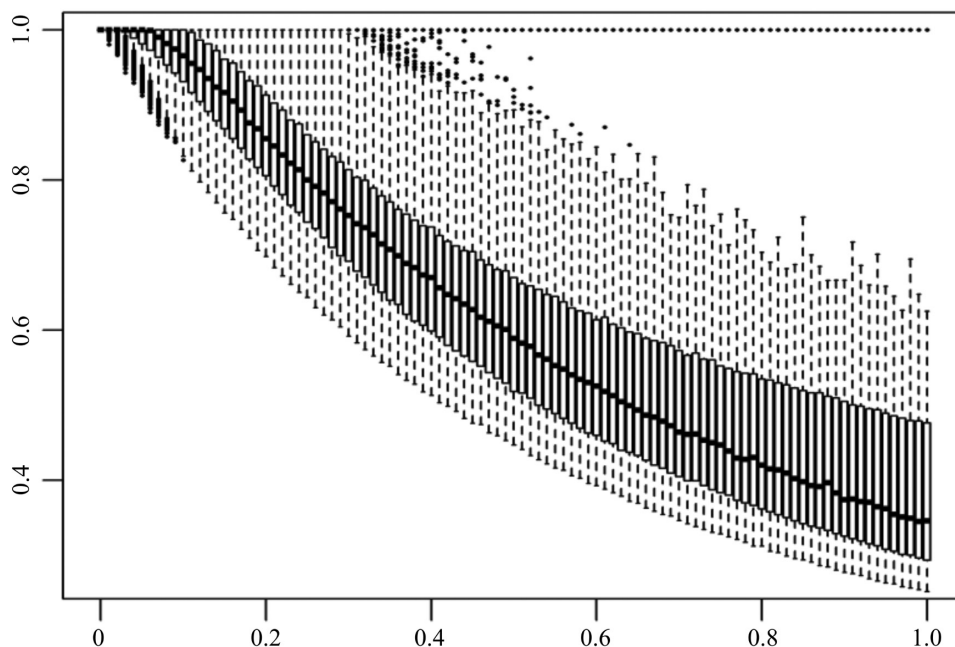


圖 1：全綜效架構之綜效係數與效率比， $0.00 \leq \alpha \leq 1.00$

係，但是就頻譜政策實務而言，綜效係數數值應該不會太高。以表 1 投標者 F1 的資料為例， $v_A=13$ ， $v_B=38$ ，如果綜效係數  $\alpha=0.8$ ，則 AB 組合價值會遠高於 A 與 B 價值加總，因為  $v_A+v_B$  只有 51，而  $v_{AB}=(1+0.8)\times(13+38)$  卻高達 91.8，此數值似乎並不合理。

假設綜效係數合理範圍落在  $0.00\leq\alpha\leq0.20$  區間，下表 7 顯示此範圍內 SMRA 效率比之平均數、中位數與標準差。

表 7 顯示當綜效係數  $\alpha$  小於 0.11 時，SMRA 制度達成效率比平均數都超

表 7：全綜效架構之綜效係數  $\alpha$  與效率比， $0.00\leq\alpha\leq0.20$

$\alpha$	平均數	標準差	中位數
0.00	1.0000	0.0000	1.0000
0.01	0.9995	0.0017	1.0000
0.02	0.9982	0.0046	1.0000
0.03	0.9961	0.0081	1.0000
0.04	0.9930	0.0123	1.0000
0.05	0.9889	0.0170	1.0000
0.06	0.9843	0.0219	0.9992
0.07	0.9787	0.0266	0.9902
0.08	0.9719	0.0317	0.9816
0.09	0.9656	0.0359	0.9743
0.10	0.9575	0.0406	0.9652
0.11	0.9487	0.0457	0.9549
0.12	0.9401	0.0499	0.9469
0.13	0.9310	0.0544	0.9350
0.14	0.9217	0.0581	0.9237
0.15	0.9127	0.0607	0.9162
0.16	0.9035	0.0645	0.9048
0.17	0.8922	0.0670	0.8928
0.18	0.8793	0.0698	0.8759
0.19	0.8712	0.0730	0.8680
0.20	0.8601	0.0746	0.8549

過 0.95，故在此範圍內，SMRA 大致上應該還是可以達成效率分配，直到  $\alpha$  提高到 0.17 時，效率比平均值才下降到 0.90 以下。完美的拍賣制度並不存在，電信監理機關最終是要選取一個最可接受的制度。如上述 CCA 也有其執行面缺失，如果監理機關判斷 CCA 制度不利影響之幅度超過表 7 顯示之效率比下降影響，則 SMRA 制度相較之下仍然是較佳選擇。

## 二、部分綜效模擬

本研究將部分綜效定義為 A、B、C 三件商品中，AC 組合與 BC 組合有正綜效，但是 AB 組合並沒有綜效關係。以臺灣 2013 年 4G 釋照為例，當年在 700 MHz、900 MHz 與 1800 MHz 三個頻段釋出頻譜。頻譜區塊之間具有正綜效的重要原因之一是高低頻搭配，故可合理推斷 700 MHz 與 1800 MHz 之間有正綜效，900 MHz 與 1800 MHz 也有正綜效，但是 700 MHz 與 900 MHz 同為 1G 以下頻段，物理性質類似，故二者間應該不存在綜效。以此架構為背景，我們假設 ABC 組合的價值是兩商品組合之較大者再加上未與 C 組合之商品 A 或 B 價值，也就是  $v_{ABC} = \max\{(v_{AC} + v_B), (v_{BC} + v_A)\}$ 。對於表 1 隨機評價組，部分綜效  $\alpha=0.1$  時組合商品價值如表 8 所示。

表 8 評價之效率分配是將 A 分配給 F6，BC 組合分配給 F3，效率解  $Sur_M = 21 + 160.6 = 181.6$ ，SMRA 分配總價值仍然是  $Sur_S = 179$ ，故效率比  $ER = \frac{179}{181.6} = 0.9857$ ，比全綜效架構略微提高。當綜效係數  $\alpha$  提高到 0.2 時，組合商品價值則如表 9 所示，效率分配同樣是將 A 分配給 F6，BC 組合分配給 F3，但是

表 8：部分綜效， $\alpha=0.1$ ，組合商品價值

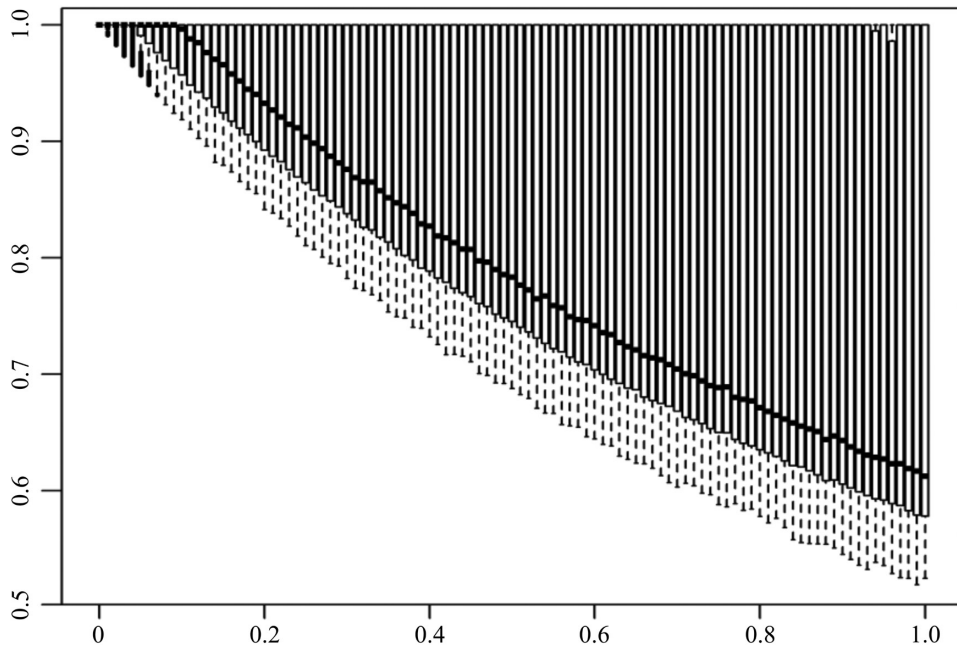
	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
F1	13	38	87	51.0	110.0	137.5	150.5
F2	6	19	72	25.0	85.8	100.1	106.1
F3	7	26	120	33.0	139.7	160.6	167.6
F4	1	15	35	16.0	39.6	55.0	56.0
F5	20	29	12	49.0	35.2	45.1	65.1
F6	21	18	92	39.0	124.3	121.0	142.3

表 9：部分綜效， $\alpha=0.2$ ，組合商品價值

	A	B	C	AB	AC	BC	ABC
F1	13	38	87	51	120.0	150.0	163.0
F2	6	19	72	25	93.6	109.2	115.2
F3	7	26	120	33	152.4	175.2	182.2
F4	1	15	35	16	43.2	60.0	61.0
F5	20	29	12	49	38.4	49.2	69.2
F6	21	18	92	39	135.6	132.0	153.6

因爲綜效係數變大，所以效率解總價值也提高爲  $Sur_M=21+175=196$ ，SMRA 分配所達成的效率比降低爲  $ER=\frac{179}{196}=0.9133$ 。對照表 5 全綜效架構  $\alpha=0.2$  時效率比只有 0.8125，可知部分綜效架構下 SMRA 造成之效率下降幅度較小。

對於部分綜效架構，我們同樣以 0.01 爲區間對於綜效係數  $0.00\leq\alpha\leq 1.00$  共進行 101 組模擬分析，每個  $\alpha$  值都抽出五千組隨機評價，模擬結果呈現於圖 2。

圖 2：部分綜效架構之綜效係數與效率比， $0.00\leq\alpha\leq 1.00$



對比圖 1 與圖 2，模擬分析顯示當商品間呈現部分綜效架構時，效率比平均值下降幅度大為減少。即使在  $\alpha=0.5$  時，效率比平均值仍然超過 0.80，而在全綜效模擬結果圖 1 中  $\alpha=0.5$  時，效率比平均值大約只有 0.60。

對於  $0.00 \leq \alpha \leq 0.20$  範圍內之綜效係數，表 10 顯示部分綜效架構下 SMRA

表 10：部分綜效， $0.00 \leq \alpha \leq 0.20$  效率比

綜效係數	平均數	標準差	中位數
0.00	1.0000	0.0000	1.0000
0.01	0.9997	0.0013	1.0000
0.02	0.9989	0.0032	1.0000
0.03	0.9975	0.0058	1.0000
0.04	0.9961	0.0081	1.0000
0.05	0.9936	0.0112	1.0000
0.06	0.9913	0.0140	1.0000
0.07	0.9884	0.0169	1.0000
0.08	0.9853	0.0199	1.0000
0.09	0.9819	0.0225	1.0000
0.10	0.9791	0.0251	0.9963
0.11	0.9745	0.0283	0.9878
0.12	0.9713	0.0313	0.9847
0.13	0.9676	0.0333	0.9760
0.14	0.9635	0.0361	0.9702
0.15	0.9606	0.0384	0.9657
0.16	0.9557	0.0410	0.9577
0.17	0.9516	0.0434	0.9518
0.18	0.9477	0.0454	0.9447
0.19	0.9441	0.0482	0.9403
0.20	0.9394	0.0511	0.9325

制度所達成之效率比的平均數、中位數與標準差。即使當  $\alpha=0.20$  時，效率比之平均值與中位數都超過 0.93。這些數值表示雖然不包含組合標設計，但是 SMRA 制度依然可以達成很接近效率極大解的分配結果。

以上模擬是在 A、B、C 商品價值範圍分別是 (0, 30)、(0, 60) 以及 (0, 120) 架構下進行。選擇此設計是因為這組評價比例大致符合 2013 年臺灣第一次 4G 釋照之評價比例。但是我們還必須考慮一個重要問題：如果改變評價設計，是否會造成模擬結果之大幅波動？為回答此問題，本研究一共設計以下六組 PV 架構並分別進行全綜效以及部分綜效模擬。<sup>26</sup>

(1)基本 PV 組：就是前述模擬架構，A、B、C 商品價值範圍分別由 (0, 30)、(0, 60) 以及 (0, 120) 中隨機抽出。

(2)對照 PV 組：為了瞭解商品評價範圍改變是否會使得模擬結果改變，我們另外選擇 A、B、C 商品價值範圍 (0, 70)、(0, 80) 以及 (0, 100) 作為對照評價組。基本 PV 組中三商品評價範圍差異大而對照 PV 組中三商品評價範圍差異較小。

以上兩組模擬中 F1 到 F6 投標者都是從同樣範圍中抽出商品評價，這表示我們假設所有投標廠商均為同質。但是臺灣電信廠商可以明顯分為大、小兩類。中華電信、台灣大哥大以及遠傳電信合稱電信三雄，就營收與用戶數而言，電信三雄加總大約佔市場總量的九成，兩家小廠商——亞太與台灣之星加總大約只佔一成。<sup>27</sup> 電信業是資本密集產業，若有新廠商加入應該也是小廠商，故以下我們在三大廠三小廠的基本架構下假設數種不同的異質廠商情況。

(3)異質 PV1：此架構假設三大業者之 A、B、C 商品價值範圍是由 (15, 30)、(30, 60) 以及 (60, 120) 中隨機抽出，也就是三大廠商評價範圍是基本組商品評價範圍的最高 50%；而三小廠商商品評價抽取範圍不變，仍然是 (0, 30)、(0, 60) 以及 (0, 120)。

(4)異質 PV2：此架構假設三大廠商評價範圍不變，仍然是 (0, 30)、(0, 60) 以

26 感謝審查人建議。

27 電信三雄合佔行動通訊整體營收的 91%、用戶數的 88%，見國家通訊傳播委員會（2017）。

- 及 (0, 120)，但是三小廠商評價範圍則是基本組商品評價範圍的最低 50%，也就是三小廠商 A、B、C 商品價值範圍分別是 (0, 15)、(0, 30) 以及 (0, 60)。
- (5) 異質綜效：廠商之異質性也可能表現在綜效係數上，此架構採用基本 PV 組商品評價，以  $\alpha$  表示三家低效率業者的綜效係數，並假設另外三家高效率業者的綜效係數是  $\alpha+0.1$ 。
- (6) 異質 PV 及異質綜效：本架構合併異質 PV1 與異質綜效兩因素，故三大業者 A、B、C 商品評價抽取範圍是 (15, 30)、(30, 60) 以及 (60, 120)，並且三大業者效率較高，綜效係數為  $\alpha+0.1$ 。三小廠商評價抽取範圍是 (0, 30)、(0, 60) 以及 (0, 120)，並且效率較低，綜效係數為  $\alpha$ 。

對以上(2)~(6)組 PV 架構我們都進行和(1)基本 PV 組相同的模擬分析，也就是在  $0.00 \leq \alpha \leq 1.00$  範圍內，以 0.01 為區間對每個  $\alpha$  值隨機抽取五千組 PV 值，並分別進行全綜效以及部分綜效模擬。六種評價結構各自 101 個  $\alpha$  值的效率比盒鬚圖呈現於附錄，表 11 及表 12 則列出全綜效及部分綜效之效率比平均值。雖然我們對每種評價架構都進行 101 個  $\alpha$  值的模擬，但是為了較精簡地呈現結果，下二表以 0.05 為區間，僅列出 21 個  $\alpha$  值之效率比。

表 11 顯示在全綜效情況下六種評價架構之效率比平均值波動並不大，故模擬結果堪稱穩定。例如當綜效係數  $\alpha=0.1$  時，效率比平均值都大於 0.90。我們設計的六種評價架構差異頗大，包含不同的 PV 範圍，廠商同質或異質，對廠商之異質性也有四種不同設定。雖然如此， $\alpha=0.1$  時效率比平均數的極小值 0.9149 與極大值 0.9662 差異也不大。

六種評價架構都顯示「綜效係數提高會使效率比平均數降低」的相同趨勢，此下降趨勢在六種評價架構中也沒有太大差異。例如當綜效係數  $\alpha=0.2$  時，效率比平均值大約仍能維持在八成，即使當綜效係數提高到  $\alpha=0.5$  時，效率比平均值也可以達到接近六成的水準。

部分綜效情況下六種評價架構之效率比平均值報告於表 12。我們仍然可以得到類似表 11 的結論：雖然六種評價架構基本假設差異頗大，但是效率比平均值的波動並不大。例如當  $\alpha=0.1$  時，效率比平均值都大於 0.96，極小值 0.9683 與極大值 0.9862 差異也不大。綜效係數提高同樣使得效率比平均數下降，但是在部分綜效架構下降的幅度大為縮小。當綜效係數  $\alpha=0.2$

表 11：六種評價結構之全綜效效率比

$\alpha$	(1)基本 PV	(2)對照 PV	(3)異質 PV1	(4)異質 PV2	(5)異質綜效	(6)異質 PV 及綜效
0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9997	0.9992
0.05	0.9889	0.9912	0.9785	0.9907	0.9865	0.9706
0.10	0.9575	0.9662	0.9243	0.9652	0.9537	0.9149
0.15	0.9127	0.9285	0.8644	0.9285	0.9055	0.8557
0.20	0.8601	0.8824	0.8077	0.8868	0.8554	0.7990
0.25	0.8066	0.8375	0.7591	0.8441	0.8037	0.7514
0.30	0.7612	0.7894	0.7134	0.8018	0.7556	0.7067
0.35	0.7148	0.7426	0.6729	0.7648	0.7155	0.6676
0.40	0.6778	0.7024	0.6386	0.7285	0.6712	0.6337
0.45	0.6407	0.6659	0.6060	0.6999	0.6363	0.5983
0.50	0.6054	0.6301	0.5753	0.6692	0.6010	0.5703
0.55	0.5769	0.5980	0.5482	0.6403	0.5757	0.5408
0.60	0.5475	0.5716	0.5258	0.6148	0.5448	0.5201
0.65	0.5244	0.5454	0.5005	0.5972	0.5214	0.4952
0.70	0.4973	0.5177	0.4747	0.5727	0.4974	0.4762
0.75	0.4787	0.4942	0.4578	0.5550	0.4751	0.4532
0.80	0.4602	0.4759	0.4381	0.5332	0.4548	0.4378
0.85	0.4396	0.4547	0.4247	0.5176	0.4358	0.4191
0.90	0.4240	0.4400	0.4106	0.5041	0.4205	0.4079
0.95	0.4058	0.4212	0.3930	0.4866	0.4080	0.3976
1.00	0.3958	0.4049	0.3792	0.4759	0.3896	0.3809

時，效率比平均值均能超過 0.92，即使當綜效係數提高到  $\alpha=0.5$  時，效率比平均值也可以超過八成。

多頻段釋照政策問題中，的確會發生某些頻段之頻譜區塊可以互補而產

表 12：六種評價結構之部分綜效效率比

$\alpha$	(1)基本 PV	(2)對照 PV	(3)異質 PV1	(4)異質 PV2	(5)異質綜效	(6)異質 PV 及綜效
0.00	1.0000	1.0000	1.0000	0.9998	0.9998	0.9996
0.05	0.9936	0.9956	0.9906	0.9956	0.9925	0.9871
0.10	0.9791	0.9850	0.9712	0.9862	0.9775	0.9683
0.15	0.9606	0.9697	0.9496	0.9733	0.9579	0.9464
0.20	0.9394	0.9541	0.9299	0.9590	0.9374	0.9262
0.25	0.9197	0.9374	0.9108	0.9448	0.9176	0.9068
0.30	0.9008	0.9218	0.8917	0.9315	0.8970	0.8868
0.35	0.8836	0.9050	0.8739	0.9201	0.8815	0.8698
0.40	0.8657	0.8876	0.8571	0.9061	0.8633	0.8585
0.45	0.8529	0.8752	0.8419	0.8913	0.8468	0.8387
0.50	0.8352	0.8591	0.8251	0.8828	0.8312	0.8249
0.55	0.8172	0.8436	0.8155	0.8714	0.8218	0.8102
0.60	0.8059	0.8316	0.7998	0.8635	0.8037	0.7986
0.65	0.7918	0.8207	0.7881	0.8531	0.7955	0.7849
0.70	0.7799	0.8078	0.7766	0.8432	0.7800	0.7769
0.75	0.7683	0.8004	0.7635	0.8371	0.7644	0.7688
0.80	0.7578	0.7838	0.7505	0.8268	0.7558	0.7527
0.85	0.7456	0.7755	0.7420	0.8140	0.7464	0.7404
0.90	0.7374	0.7638	0.7309	0.8119	0.7310	0.7372
0.95	0.7259	0.7520	0.7249	0.8009	0.7268	0.7258
1.00	0.7159	0.7474	0.7155	0.8024	0.7194	0.7121

生正綜效，但並不必然是所有頻段之間都有互補關係，故部分綜效架構應該比較貼近政策情境。以上模擬分析顯示在部分綜效架構下，當綜效係數不超過 0.20 時，SMRA 可以達成很接近最適效率解的分配結果；即使當綜效係數

高達 0.50 時，SMRA 依然可以達成超過 0.80 的平均效率比。

我們最後再考慮兩種不同的全綜效架構。<sup>28</sup> 以上分析之全綜效架構為  $k$  件商品組合，價值是  $(1+\alpha)^{k-1}$  乘上個別價值加總，故  $v_{AB}=(1+\alpha)(v_A+v_B)$ ， $v_{ABC}=(1+\alpha)^2(v_A+v_B+v_C)$ 。但是當組合內商品數目增加時，有可能綜效會發生遞減或遞增的情況。我們也希望瞭解綜效遞減或遞增對本文研究結論是否會造成顯著影響。

對於三商品組合，我們採用的遞減與遞增綜效架構分別是  $v_{ABC}=(1+\alpha)^{1.5}(v_A+v_B+v_C)$  與  $v_{ABC}=(1+\alpha)^3(v_A+v_B+v_C)$ 。<sup>29</sup> 簡單假設每件商品的價值都是 10，對於  $\alpha=0.1$ ，兩件商品組合的價值是  $(1+0.1)(10+10)=22$ ，前文分析之三商品組合價值是  $v_{ABC}=(1+0.1)^2(10+10+10)=36.3$ ，當綜效遞減時三商品組合價值降低為  $v_{ABC}=(1+0.1)^{1.5}(10+10+10)=1.1537 \times 30=34.611$ ，而當綜效遞增時價值提高為  $v_{ABC}=(1+0.1)^3(10+10+10)=1.331 \times 30=39.93$ 。

對於遞減綜效，我們同樣考慮六組 PV 架構，並進行模擬，結果呈現於表 13。

對於遞減綜效，我們發現六種評價架構之效率比平均值波動並不大，故結論與表 11 相同，模擬結果堪稱穩定。只是因為綜效遞減，故 SMRA 可以達成的平均效率比要比表 11 更高。

最後考慮遞增綜效架構，實際政策情境符合此架構之機率不高。例如單件商品價值為 10， $\alpha=0.5$  時，三商品組合價值會提高為  $v_{ABC}=(1+0.5)^3 \times 30=3.375 \times 30=101.25$ ，現實情境中綜效幅度可能不會如此巨幅。但是為了檢定模擬結果之穩定性，我們依然對遞增綜效進行六組 PV 架構模擬，結果呈現於表 14。

因為綜效遞增，所以 SMRA 制度在六種評價架構達成之效率比隨著  $\alpha$  上升而下降之幅度變大。但是綜合比較六種不同的評價架構效率比平均值波動並不大，故模擬結果仍然堪稱穩定。

28 感謝審查人建議此分析架構。

29 因為本文之部分綜效只包含兩商品組合綜效而並未包含三商品組合綜效，商品組合數目沒有變動，故不需考慮綜效遞增或遞減。

表 13：遞減全綜效，六種評價結構效率比

$\alpha$	(1)基本 PV	(2)對照 PV	(3)異質 PV1	(4)異質 PV2	(5)異質綜效	(6)異質 PV 及綜效
0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9998	0.9994
0.05	0.9923	0.9940	0.9877	0.9945	0.9909	0.9833
0.10	0.9741	0.9786	0.9574	0.9813	0.9714	0.9518
0.15	0.9472	0.9554	0.9208	0.9623	0.9437	0.9142
0.20	0.9185	0.9327	0.8812	0.9401	0.9152	0.8734
0.25	0.8860	0.9045	0.8422	0.9164	0.8832	0.8375
0.30	0.8525	0.8748	0.8093	0.8904	0.8503	0.8030
0.35	0.8246	0.8451	0.7759	0.8669	0.8221	0.7717
0.40	0.7914	0.8166	0.7459	0.8410	0.7880	0.7441
0.45	0.7619	0.7917	0.7173	0.8202	0.7599	0.7146
0.50	0.7354	0.7578	0.6962	0.7967	0.7312	0.6911
0.55	0.7080	0.7352	0.6759	0.7740	0.7114	0.6665
0.60	0.6828	0.7132	0.6540	0.7537	0.6831	0.6481
0.65	0.6615	0.6879	0.6331	0.7383	0.6625	0.6270
0.70	0.6452	0.6680	0.6153	0.7183	0.6405	0.6095
0.75	0.6248	0.6455	0.5968	0.7039	0.6213	0.5887
0.80	0.6043	0.6267	0.5830	0.6846	0.6018	0.5754
0.85	0.5859	0.6099	0.5640	0.6727	0.5841	0.5579
0.90	0.5720	0.5942	0.5492	0.6574	0.5704	0.5474
0.95	0.5548	0.5808	0.5347	0.6441	0.5582	0.5388
1.00	0.5452	0.5649	0.5202	0.6337	0.5408	0.5228

表 14：遞增全綜效，六種評價結構效率比

$\alpha$	(1)基本 PV	(2)對照 PV	(3)異質 PV1	(4)異質 PV2	(5)異質綜效	(6)異質 PV 及綜效
0.00	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.9995	0.9984
0.05	0.9754	0.9815	0.9490	0.9766	0.9688	0.9300
0.10	0.9021	0.9219	0.8467	0.9123	0.8921	0.8317
0.15	0.8096	0.8337	0.7591	0.8359	0.8007	0.7445
0.20	0.7266	0.7543	0.6818	0.7621	0.7199	0.6678
0.25	0.6539	0.6788	0.6144	0.6956	0.6469	0.6055
0.30	0.5911	0.6132	0.5600	0.6381	0.5858	0.5488
0.35	0.5401	0.5565	0.5091	0.5901	0.5370	0.5017
0.40	0.4900	0.5082	0.4650	0.5458	0.4852	0.4623
0.45	0.4501	0.4684	0.4256	0.5123	0.4473	0.4223
0.50	0.4141	0.4245	0.3963	0.4777	0.4075	0.3918
0.55	0.3795	0.3952	0.3725	0.4452	0.3793	0.3595
0.60	0.3527	0.3683	0.3439	0.4176	0.3493	0.3397
0.65	0.3261	0.3378	0.3204	0.4015	0.3265	0.3134
0.70	0.3030	0.3162	0.3024	0.3753	0.3040	0.2962
0.75	0.2863	0.2950	0.2811	0.3573	0.2815	0.2740
0.80	0.2669	0.2748	0.2678	0.3363	0.2639	0.2594
0.85	0.2477	0.2576	0.2478	0.3198	0.2470	0.2426
0.90	0.2345	0.2431	0.2331	0.3122	0.2331	0.2338
0.95	0.2217	0.2302	0.2223	0.2930	0.2239	0.2246
1.00	0.2115	0.2183	0.2081	0.2853	0.2073	0.2101



## 伍、結論

頻譜拍賣可能是經濟學理論分析、實驗研究與政策問題緊密結合的最佳例子。1994年 SMRA 制度之設計就是經濟學家成功利用賽局理論來協助制訂政策工具的成功例子。隨著技術快速進步，電信業者對頻譜使用也有更豐富的可能性，釋出頻譜之拍賣方式也配合此情況而日益發展。經濟學家配合政策問題情境之演變而設計出更多種不同的拍賣制度，例如 CCA 就是希望以動態方式達成有效率的組合拍賣。但是沒有一種拍賣制度能夠完美地達成所有政策目標，各國都是針對該次釋照之特定情況來選擇最合適、優點最多的拍賣制度來執行。

對於頻譜釋照這樣影響重大的政策問題而言，針對各該次釋照情境來進行研究是絕對必要的工作。例如臺灣三次 4G 釋照所包含的頻段各不相同，各頻段之間的綜效不同，電信市場當時發展的情況也不同，導致業者採取不同競標策略。例如第一波 4G 釋照時為了爭取 4G 開台先機，業者投標甚為激烈，但是在第二波與第三波的投標行為就大不相同。第二波 4G 釋照中台灣大哥大退出競標，第三波釋照亞太退出競標，且共計有 20 MHz 頻譜區塊未釋出。本文的研究方法是以電腦程式模擬誠實投標行為，並建構不同綜效係數及評價結構模型。本文結論可以視為分析政策問題之基準點，但是對於實際釋照拍賣之政策研究，仍然應該探討該政策情境下釋出頻譜是否具有綜效關係、綜效係數大小為何，以及當時市場情況下的可能投標趨勢。

學術面向之理論分析與實驗研究是理解拍賣制度優劣之起點，但是為了進行全面比較，我們的觀察點絕對不能僅限於學術面向，各國實際執行拍賣制度之成效也提供了重要資料。例如 CCA 制度需計算複雜的 VNC 價格，學者可以對每一步運算過程都提出詳細的理論解釋，但就實務面而言 VNC 價格卻有重大缺點。誠如英國政府對 2013 年 4G 釋照之檢討：CCA 制度下投標者難以設計投標策略，也無法估計要為得標區塊付出多高價格。經濟理論預期投標者在此情況下會誠實投標，但是政策經驗顯示有些業者依然進行策略性投標行為，其行為並不符合理論預期。CCA 制度由電腦程式算出之開標

結果也可能讓投標者覺得吃驚和不公平，對頻譜拍賣這樣金額巨大的重要政策問題而言，此缺失也有其嚴重的負面社會影響。抽象的數學模型分析以及實驗研究都無法顯示 CCA 具有這些缺點，但這些問題在實際政策問題中卻具有重要意義。

完美的拍賣制度並不存在，在政策面較為可行的原則是「選擇缺點較少的拍賣制度」。SMRA 制度操作簡單易懂，但缺點是沒有組合標設計，故在商品間具有正綜效時，SMRA 可能達成較低的分配效率。採用 CCA 制度的主要原因之一正是為了避免此缺點。但誠如上述，CCA 制度也有其本身的缺點。故本文以模擬方式，試圖找出 SMRA 制度下綜效大小與效率降低之關係。模擬結果顯示如果綜效係數小於 0.20，則 SMRA 仍然可以達成接近效率的分配結果，並且實際政策問題中 SMRA 制度可以配合撤標規定以減緩效率降低的幅度，故相對而言，SMRA 應該仍然是較佳的拍賣制度。

# 附 錄

(一)全綜效 101 組  $\alpha$  值效率比盒鬚圖

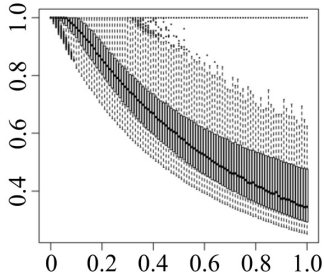


圖 A1：基本 PV

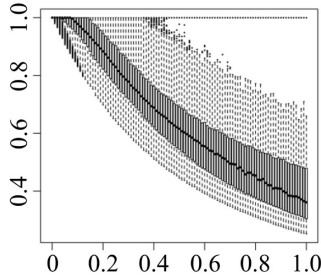


圖 A2：對照 PV

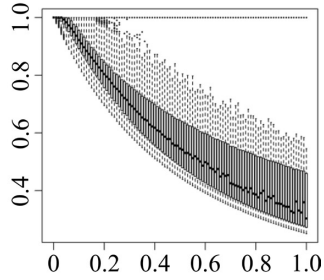


圖 A3：異質 PV1

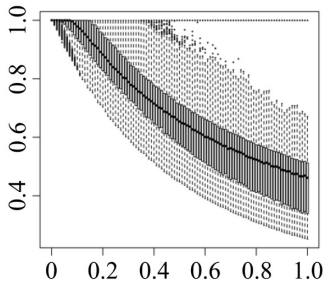


圖 A4：異質 PV2

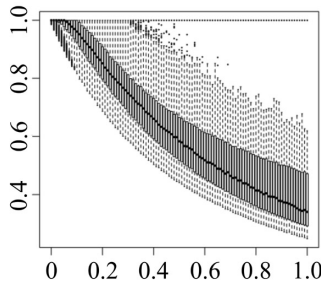


圖 A5：異質綜效

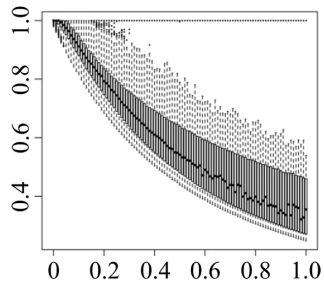


圖 A6：  
異質 PV1 及異質綜效

(二)部分綜效 101 組  $\alpha$  值效率比盒鬚圖

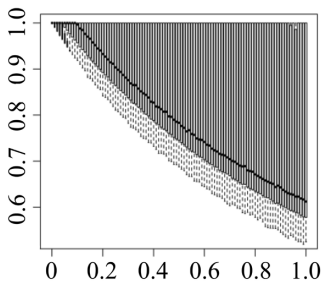


圖 A7：  
基本 PV（部分綜效）

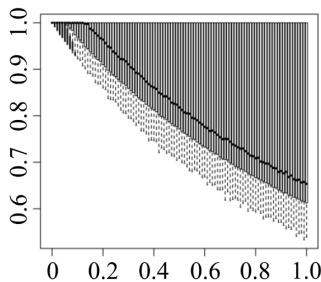


圖 A8：  
對照 PV（部分綜效）

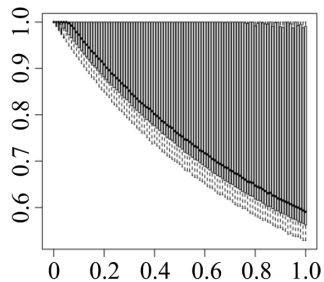


圖 A9：  
異質 PV1（部分綜效）

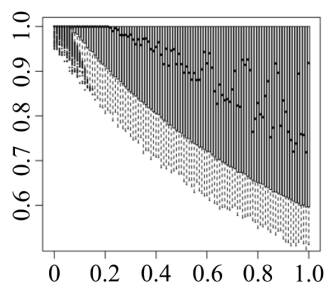


圖 A10 :  
異質 PV2 (部分綜效)

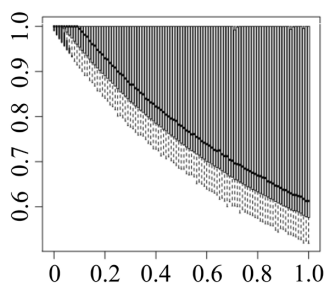


圖 A11 :  
異質綜效 (部分綜效)

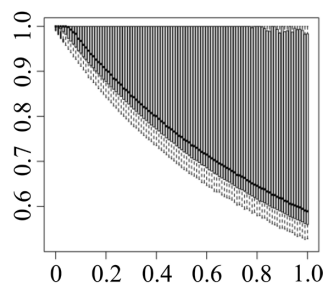


圖 A12 :  
異質 PV1 及異質綜效  
(部分綜效)

## 參考資料

### A. 中文部分

國家通訊傳播委員會

- 2012 〈通傳會規劃於 102 年底釋出行動寬頻業務技術中立執照——歷史資料〉，2014 年 1 月 24 日，取自 [http://www.ncc.gov.tw/chinese/news\\_detail.aspx?site\\_content\\_sn=8&is\\_history=1&pages=17&sn\\_f=25997](http://www.ncc.gov.tw/chinese/news_detail.aspx?site_content_sn=8&is_history=1&pages=17&sn_f=25997) (National Communications Commission, 2012, “Historical Data: NCC Will Release Technology Neutral Broadband Licenses in the End of 2013,” Retrieved January 24, 2014, from [http://www.ncc.gov.tw/chinese/news\\_detail.aspx?site\\_content\\_sn=8&is\\_history=1&pages=17&sn\\_f=25997](http://www.ncc.gov.tw/chinese/news_detail.aspx?site_content_sn=8&is_history=1&pages=17&sn_f=25997))
- 2017 〈2017 年第 1 季 2G/3G/4G 行動通訊市場統計資訊〉，2017 年 6 月 3 日，取自 [http://www.ncc.gov.tw/chinese/files/17070/3773\\_37618\\_170707\\_1.pdf](http://www.ncc.gov.tw/chinese/files/17070/3773_37618_170707_1.pdf) (National Communications Commission, 2017, “Statistics of 2G/3G/4G Mobil Communication Market for the First Quarter of 2017,” Retrieved June 3, 2017, from [http://www.ncc.gov.tw/chinese/files/17070/3773\\_37618\\_170707\\_1.pdf](http://www.ncc.gov.tw/chinese/files/17070/3773_37618_170707_1.pdf))

樊沁萍

- 2013 〈臺灣 WiMAX 執照拍賣設計及其科技政策背景分析〉，《人文及社會科學集刊》25(4): 647-687。 (Fan, Chinn-ping, 2013, “WiMAX License Auction in Taiwan—Technology Policy and Auction Design,” *Journal of Social Sciences and Philosophy* 25(4): 647-687.)

### B. 西文部分

Ausubel, L. M., P. Cramton, M. Pycia, M. Rostek, and M. Weretka

- 2014 “Demand Reduction and Inefficiency in Multi-Unit Auctions,” *The Review of Economic Studies* 81(4): 1366-1400.

Bichler, M., J. K. Goeree, S. Mayer, and P. Shabalin

- 2014 “Spectrum Auction Design: Simple Auctions for Complex Sales,” *Telecommunications Policy* 38(7): 613-622.

Bichler, M., P. Shabalin, and J. Wolf

- 2013 “Do Core-Selecting Combinatorial Clock Auctions Always Lead to High Efficiency? An Experimental Analysis of Spectrum Auction Designs,” *Experimental Economics* 16(4): 511-545.

Brusco, S. and G. Lopomo

- 2008 “Budget Constraint and Demand Reduction in Simultaneous Ascending-Bid Auctions,” *The Journal of Industrial Economics* 56(1): 113-142.

Chaloner, J., A. Dreisin, A. Evans, J. Phelan, and M. Pragnell

- 2014 “Improving Connectivity—Stimulating the Economy,” Mobile Network Operators and the UK Economy, a Report by Capital Economics for EE. Retrieved May 5, 2015, from [http://ee.co.uk/content/dam/everything-everywhere/Newsroom/PDFs/%20for%20newsroom/Capital%20Economics%20Report\\_ImprovingConnectivity](http://ee.co.uk/content/dam/everything-everywhere/Newsroom/PDFs/%20for%20newsroom/Capital%20Economics%20Report_ImprovingConnectivity)

Nov2014.pdf

Clarke, E. H.

1971 "Multipart Pricing of Public Goods," *Public Choice* 11(1): 17-33.

Cramton, P.

1997 "The FCC Spectrum Auctions: An Early Assessment," *Journal of Economics & Management Strategy* 6(3): 431-495.

1998 "The Efficiency of the FCC Spectrum Auctions," *The Journal of Law & Economics* 41(S2): 727-736.

2013 "Spectrum Auction Design," *Review of Industrial Organization* 42(2): 161-190.

Cramton, P. and A. Ockenfels

2017 "The German 4G Spectrum Auction: Design and Behaviour," *The Economic Journal* 127(605): F305-F324.

Fornfeld, M., G. Delaunay, and D. Elixmann

2008 "The Impact of Broadband on Growth and Productivity," A Study on Behalf of the European Commission. Retrieved January 18, 2014, from <http://wik-consult.com/uploads/media/FinalReport-MICUS-BroadbandImpact.pdf>

Goeree, J. K., T. Offerman, and R. Sloof

2013 "Demand Reduction and Preemptive Bidding in Multi-Unit License Auctions," *Experimental Economics* 16(1): 52-87.

Goeree, J. K. and Y. Lien

2016 "On the Impossibility of Core-Selecting Auctions," *Theoretical Economics* 11(1): 41-52.

Gretschko, V., S. Knappek, and A. Wambach

2012 "Strategic Complexities in the Combinatorial Clock Auction," CESifo Working Paper Series, No. 3983. Retrieved January 24, 2014, from <http://ssrn.com/abstract=2171680>

Grimm, V., F. Riedel, and E. Wolfstetter

2001 "The Third Generation (UMTS) Spectrum Auction in Germany," CESifo Working Paper Series, No. 584. Retrieved November 13, 2014, from <http://ssrn.com/abstract=287846>

2003 "Low Price Equilibrium in Multi-Unit Auctions: The GSM Spectrum Auction in Germany," *International Journal of Industrial Organization* 21(10): 1557-1569.

Groves, T.

1973 "Incentives in Teams," *Econometrica* 41(4): 617-631.

Ihle, H. and D. Maldoom

2012 "Big But Not Beautiful," DotEcon Perspective, November 2012. Retrieved November 13, 2014, from <http://www.dotecon.com/publications/big-but-not-beautiful/>

Janssen, M. and V. Karamychev

2016 "Spiteful Bidding and Gaming in Combinatorial Clock Auctions," *Games and Economic Behavior* 100: 186-207.

Kagel, J. H., Y. Lien, and P. Milgrom

2010 "Ascending Prices and Package Bidding: A Theoretical and Experimental Analysis,"

- American Economic Journal: Microeconomics* 2(3): 160–185.
- Koboldt, C. and H. Ihle  
2015 “The German Mobile Broadband Spectrum Auction: Tales of Mystery and Retaliation,” DotEcon Discussion Paper 15/01, September 2015. Retrieved June 3, 2017, from <https://www.dotecon.com/assets/images/dp1501.pdf>
- Levin, J. and A. Skrzypacz  
2016 “Properties of the Combinatorial Clock Auction,” *The American Economic Review* 106(9): 2528–2551.
- List, J. A. and D. Lucking-Reiley  
2000 “Demand Reduction in Multiunit Auctions: Evidence from a Sports card Field Experiment,” *The American Economic Review* 90(4): 961–972.
- Maldoom, D.  
2007 “Winner Determination and Second Pricing Algorithms for Combinatorial Clock Auctions,” DotEcon Discussion Paper 07/01, December 2007. Retrieved November 13, 2014, from <https://www.dotecon.com/assets/images/dp0701.pdf>
- National Audit Office  
2014 “4G Radio Spectrum Auction: Lessons Learned,” Retrieved March 12, 2015, from <http://www.nao.org.uk/wp-content/uploads/2015/03/4G-radio-spectrum-auction-lessons-learned.pdf>
- Ofcom  
2014 “Annual Licence Fees for 900 MHz and 1800 MHz Spectrum: Further Consultation,” Retrieved March 12, 2015, from <http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/consultations/annual-licence-fees-900-MHz-1800-MHz/summary/condoc.pdf>  
2015 “Public Sector Spectrum Release: Award of the 2.3 and 3.4 GHz Spectrum Bands,” Retrieved May 26, 2016, from <http://stakeholders.ofcom.org.uk/binaries/consultations/2.3-3.4-ghz-auction-design/statement/statement.pdf>
- Scheffel, T., G. Ziegler, and M. Bichler  
2012 “On the Impact of Package Selection in Combinatorial Auctions: An Experimental Study in the Context of Spectrum Auction Design,” *Experimental Economics* 15(4): 667–692.
- Vickrey, W.  
1961 “Counterspeculation, Auctions, and Competitive Sealed Tenders,” *The Journal of Finance* 16(1): 8–37.
- Weber, R. J.  
1997 “Making More from Less: Strategic Demand Reduction in the FCC Spectrum Auctions,” *Journal of Economics & Management Strategy* 6(3): 529–548.
- Zehle, S.  
2015 “The German Spectrum Auction: Failure to Negotiate?” Retrieved May 26, 2016, from <http://telecoms.com/opinion/the-german-spectrum-auction-failure-to-negotiate/>

# Theoretical Review, Policy Experience and Simulation Study of Spectrum Auction System

Chinn-ping Fan

Professor

Department of Economics, Soochow University

Jen-chieh Chen

Director

Research and Planning Division, Telecom Technology Center

## ABSTRACT

This paper compares two spectrum auction systems: SMRA (simultaneous multi-round auction) and CCA (combinatorial clock auction). Besides theoretical studies, we also discuss the relative merits of these two systems demonstrated by policy experiences of various countries. SMRA is considered efficient except when there exists a high degree of positive synergy factors. CCA allows bidders to bid on any package that suits their needs. However, the calculation of VNC (Vickrey nearest core) price seems like a black hole for bidders, and also violates the law of one price.

We conduct a simulation to study the relationship between synergy factors and efficiency level. Our simulation covers six valuation structures, and two synergy structures, each with 101 factor levels and 5000 groups of random values. The simulation results show that for synergy factors below 0.20, SMRA can achieve a relatively satisfactory efficiency level, and hence, it is still a satisfactory auction system.

**Key Words:** spectrum auction, simultaneous multi-round auction, combinatorial clock auction, synergy effect