一個醫療旅遊的數學模型與分析

陳政輝
國立政治大學應用數學系(臺北市文山區指南路二段 64 號)
jhchen@nccu.edu.tw

摘要

醫療旅遊是以醫療護理為主題的旅遊服務，利用醫療與觀光兩產業做異業結合，吸引患者前來接受醫療保健處置，順道旅遊以促進觀光產業發展。由於可觀的經濟利益，許多國家紛紛投入發展。然而在發展醫療旅遊的過程中，也可能對本國的醫療系統產生衝擊，影響國民就醫權利。我國醫療系統完善，醫療人力充沛，但因健保的總額給付制度造成主要科別人力流失，又投入醫療旅遊的資源不足加之法規限制，造成醫療旅遊發展也落後其他國家。本文中提出一數學模型來描述產業營收，討論如何投入資源發展醫療旅遊產業，並以產業營收回饋吸引過剩人力回饋醫療系統，維護國民就醫權利。研究顯示營收函數中兩參數具有關鍵影響，建議主管機關發展此產業時應仔細評估此兩參數，以幫助產業政策制定。

關鍵字：醫療旅遊、數學模型、等候理論。

1. 介紹

根據世界旅遊組織(World Tourism Organization)的定義，醫療旅遊(Medical Tourism)是以醫療護理、疾病、健康與休養為主題的旅遊服務 [1]。國家利用醫療與觀光兩產業做異業結合，吸引患者前來接受醫療保健處置，順道旅遊以促進當地觀光產業發展。

促成醫療旅遊發展除了患者赴醫療技術較先進國家就醫外，有以下兩個主要原因，一是許多發達國家的醫療費用過高，促使患者轉入醫療費用較低且技術優良的國家或地區就醫。另一個重要原因則是某些國家因醫療資源不足與醫療保險制度之設計，造成患者的等待時間過長[20]。舉例來說，在美國因冠狀動脈疾病進行心臟搭橋手術(或稱冠狀動脈繞道手術 coronary artery bypass graft, CABG)需花費約一百八十萬台幣的費用，在英國需花費約一百五十萬台幣，而相同的手術在台灣僅需約二十五至四十七萬台幣，在新加坡約四十八萬台幣，泰國約為三十九萬台幣。其餘諸如膝關節置換、髖關節置換與眼疾治療，英美各國之費用也遠比台灣、新加坡與泰國來的高[2]。另外，又如英國在二戰後通過國民健康服務法案(National Health Service Act)，自 1948 年生效後進入公醫時代，醫師相當於政府公務員，醫療系統財源來自稅收，國民就醫免費且照護完善，然因公營醫療系統性質，有效能低落之現象[3]。又在此醫療體系中，每位國民必須選擇一位一般科別醫師(General Practitioner, GP)註冊為家庭醫師，並為保證醫療資源不致遭到濫用，實施嚴格的轉診制度，除急診外，民眾赴醫療院所就醫需透過 GP 轉介，造成了民眾自由就醫的一定限制，又常因醫療資源不足與前述效能不彰的緣故，導致民眾屬於非警急性轉診等待過久，甚至可達十八週或更長時間[4]。因應這些問題，醫療旅遊成為一解決方法，而隨著不斷的發展，醫療旅遊也由早期以旅遊為主的醫療，逐漸發展至今日由保險公司將病人的醫療照護委外至醫療費用較低廉國家的一種服務型態，即為 Medical Outsourcing [5]。

1.1 亞洲醫療旅遊發展

亞洲醫療旅遊最早起於泰國，主因是 1997 年金融風暴，造成許多泰國的私立醫院經營困難，並導致醫療人力外流至美國 [5][21]。 泰國政府透過與泰國私人醫院合作，選擇牙科與整形外科，吸引患者赴泰國接受治療，解決醫院經營困境[6]。據統計顯示，2018 年泰國的醫療旅遊產值已達泰國 GDP 的 0.4%，醫療觀光的收入達 43 億美金[6]，為發展醫療旅遊國家相當成功的案例[6]。由於可

觀的經濟利益，許多國家也紛紛投入發展醫療旅遊產業。以亞洲國家為例，新加坡、馬來西亞與印度等國家，各自利用醫療費用低廉、醫療管理、醫療技術或多元文化等優勢，發展不同特色之醫療旅遊[6]。

1.2 我國醫療旅遊發展現況

我國醫療水準在亞洲居於領先地位 [7]，在心臟、肝臟，腎臟移植後患者三年存活率與癌症五年存活率較之美國等先進國家亦不惶多讓。在 2007 年瑞士洛桑管理學院的「世界競爭力評比」中，台灣醫療保健基礎建設也被評為全世界第 13 名[8]。然而因健保對醫事機構的給付採總額支付制度[9]，造成醫院經營上的困難，導致醫療院所為了增加營運收入，各自推出了許多自費的醫療服務[7]。政府為了產業的發展與再造，也推出一系列政策來積極推動醫療旅遊產業[10][11][12][22]。

然而我國的醫療水準雖高，但我國醫療旅遊發展卻遠落後於其他國家，為亞洲國家之倒數第三名[13][14]。歸諸原因除醫療旅遊產業需要政府各部門政策予以配合(如簽證申請及停留限制、外資投資規範、醫療糾紛處置與醫療廣告之限制)[5][7][13][14][15]，主因在於投入資源不足，在國際間激烈的的醫療旅遊競爭處於劣勢。以 2015 年以前的新加坡為例，每年投入一億美金預算進行相關海外市場開發、行銷等工作。泰國、韓國等國每年亦投入超過三千萬美元於此產業，又泰國多由私人醫院負責國際醫療，亦允許公司上市，採自由競爭，對供外籍患者病床數未有任何限制。相較之下，我國投入之開發基金較不足，產業發展很多皆仰賴業者單打獨鬥[5][13]，又提供外籍患者病床極其有限，造成我國醫療技術進步優勢無法反映於醫療旅遊產業中[5]。

1.3 醫療旅遊帶來的衝擊

醫療旅遊雖帶來經濟上的利益，但也會對本國醫療系統帶來的負面衝擊。如[10]由國際發展醫療旅遊的經驗中指出，發展醫療旅遊將促使醫療人力流入利潤較高的商業醫療部門，惡化醫療人力的分佈不均及擴大醫療服務體系的階層化等問題。以印度為例[10]，印度原有之公立基層醫療核心專科醫師如外科、婦兒科人力已不足，由於商業部門的存在，更造成人力流失使問題雪上加霜[23]，而在泰國、新加坡、馬來西亞，醫療旅遊也造成醫療的階層化，公營醫院或服務本國民眾的私人院所醫療品質與設備較差[10]。各國雖透過薪資貼補與行政措施來改善問題，但未能完全阻止人力流失，泰國、新加坡、馬來西亞雖利用租稅政策將醫療旅遊盈餘挹注於健保基金，但仍無法阻止醫療服務體系的階層化的問題。

1.4 研究動機

有鑑於醫療旅遊帶來的問題，政府在制定政策時亦希望避免影響民眾就醫權利，例如: 我國醫院設立或擴充許可辦法第 12 條中規定，國際醫療專區病床不得逾急性一般病床十分之一，且辦理國際醫療不得挪用配置於非屬國際醫療病床之醫事人力，並不得有減損我國人民就醫之情事[9]。在討論以專區進行國際醫療時，也有提出繳交特許回饋金來挹注健保的提議。然而，我國因健保制度總額支付制度的的實施，公立醫院中的內外婦兒科人力嚴重流失，被譏為四大皆空，若積極投入發展醫療旅遊，是否會如期他國家使核心醫療人力流失更形雪上加霜？

然而如前所述，我國醫療進步但醫療旅遊發展卻遠落後於其他國家很重要的原因在於投入之資源不足，無法與其他國家競爭。根據資料顯示，與其他國家不同的是，我國醫療人力充足，醫事人員供大於求[24]，如果能投入適當的資源來確保醫療旅遊產業在國際間具競爭力，或許可產生足夠經濟利益揖注健保，吸引過剩醫事人員投入核心科別，使國人就醫權利不受影響，然而，究竟該投入多少資源於此產業中，可同時兼顧產業利益與國人就醫權利? 本文僅先就人力流失考量，暫時不考慮醫療服務體系可能階層化的問題，提出一簡單模型，考量投入資源與產業收益之關聯，並將部分收益回饋於醫療系統，吸引過剩人才投入核心醫事人力，並以排隊理論中的等候時間長短來表達核心醫事人

力是否充足，協助國家醫療人力開放的法規與醫療旅遊產業的政策制定，未來將可一步推廣模型，考慮如何避免醫療服務的階層化。

2. 文獻回顧

如前所述，我國的健保採總額支付制度、醫療系統與其他國家不完全相同，又我國的醫療人力相對充足，醫事人員供大於求，發展醫療旅遊與其他國家遭遇的問題不同，國外模型無法套用，但仍具參考價值。本文參考文獻主要分為以下兩類: (1)關於醫療旅遊發展各國現況、影響與政策論述相關分析與(2)以數學模型分析商業或醫療產業中的競爭現象，尤其是患者具自由移動就醫選擇權對醫療制度與國家醫療給付政策的影響。

第一類文獻簡述如下: 在[24]中, Lee 討論了新加坡的醫療旅遊現況。Chen 和 Pan 調查中國旅客對台灣醫療旅遊的印象[25]。文獻[26]討論醫療旅遊帶來的醫療倫理、風險與相關的好處。關於發展醫療旅遊對患者輸出國與輸入國的影響在[27]中被仔細討論。文獻[28]透過泰國、新加坡和馬來西亞發展醫療旅遊的相關政策，研究其帶來的相關利益與衝擊。第二類文獻簡述如下: 文獻[29]以數學模型討論補貼患者赴私人醫院就醫政策對公立醫院等待時間的影響。Andritsos 和 Tang 以模型研究引入私人醫院的競爭與允許患者出國就醫對歐洲醫療系統的影響[30]。在[31]中，數學模型被用來分析當醫療權被視為社會福利進行時，政府該如何施行貼補與租稅政策與決定醫療系統規模。Brekke 等學者分析當患者被允許出國就醫及醫療系統引入競爭時對醫療院所的影響[32]。文獻[33]研究施行價格控制政策下，引入私立醫院競爭與允許出國就醫對公立醫療院所的影響。

3. 數學模型

為了從投資財務收益與保障國民就醫權利的角度來分析醫療旅遊利弊得失並討論在何種條件下兼顧兩者可行，本節中我們提出數學模型來描述此問題。此模型除了研究醫療旅遊以財務回饋方式來保障國民就醫權利的可行性條件外，當可行性條件能被滿足的條件下，如何規劃資本與醫療人力的運用，使醫療旅遊能得到最佳收益亦被表達成一優化問題，其解答將可提供政策制定參考。

3.1 可行性模型與分析

假設於醫療旅遊產業中，投入產業發展之資金記為 x 與投入之總醫療人力為 y ，函數 $R(x,y)$ 為經由此產業所得之營收。我們假定此函數具有下列形式:

$$R(x,y)=\frac{c_1x}{c_2+x}\cdot\frac{l_1y}{l_2+y}\,. \tag{1}$$

上述營收函數 $R(x,y)$ 為兩個相同型式有理函數 (rational function)的乘積，此型有理函數為兩個一次多項式之商 (Quotient)，下列定理說明其性質與證明:

[定理一] 給定有理函數 $f(x) = ax/(b+x)$ 定義於非負實數所成集合 $R^+\cup\{0\}$ 上，其中常數 a 和 b 皆大於 0，則此函數具下列特性:

(i) $f(0)=0$,

(ii) $f(x)$ 在定義域中為一非遞減凸函數 (convex function),

(iii) $\lim_{x\to\infty} f(x)=a$.

證明: 直接觀察 $f(x)$ 可得 (i) 與 (iii)。 計算 $f(x)$ 之一階微分 $f'(x)=ab/(b+x)^2\ge 0$ 與二階微分 $f''(x)=-2a(b+x)/(b+x)^4<0$ 可得 (ii)。

營收函數 $R(x,y)$ 選用定理一之有理函數乘績原因解釋如下。以資本為例，當 $x=0$ 亦即未投入任何資本於此產業時，創造之營收為 0。當投入資本遞增時，創造之營收亦隨之遞增。然而不論投入多少資本，市場終將飽和，營收無法無限遞增，亦即當投入資本 x 趨近無限大時，有理函數 $c_1x/(c_2+x)$ 趨近其上限值 c_1。 相同地，考量投入產業中之醫療人力創造之營收亦採用有理函數

$l_1 y/(l_2+y)$ 來表達醫療人力與營收產值的關聯。

又假設醫療旅遊之營收取部分作為回饋金，佔營收$100r\%$ $(0 \le r \le 1)$，以回饋金吸引原先未投入公立醫療系統之專業醫療人才，用以補充因投入醫療旅遊產業而減少服務於本國民眾之公立醫療系統人力，定義函數 $s(c)$ 為投入回饋金 c 可獲得 $s(c)$ 單位的補充醫療人力，以下我們假設 $s(c)$ 具有下列形式:

$$s(c)=\begin{cases}\lfloor c/c_{unit}\rfloor & \text{if } c>0\\ 0 & \text{if } c\le 0\end{cases}.$$

(2)

上述函數中，$\lfloor u\rfloor$ 函數為取小於等於 u 但最接近 u 的整數，常數 c_{unit} 代表補充一單位醫療人力所必須付出的成本代價，當 c_{unit} 越大，表示必須付出較大代價才能補充因醫療旅遊流失的人力。因此，c_{unit} 越大代表醫療旅遊必須產生足夠的利潤來彌補流失之人力才有發展的價值。為了表達醫療旅遊對國民就醫權利之影響，以下利用就醫的等待時間作為指標[31]。假設民眾就醫可以等候理論(Queueing Theory) 中的 $M/M/K$ 模型來表達，其中民眾就醫以一卜松過程(Poisson process)表達，就醫率以 λ 表示，而就醫時醫療所須處置時間為指數分布(exponential distribution)，平均時間為$1/\mu$，在醫療人力為 K 單位情形下，患者就醫的等待時間為隨機變數 W。若我們令 $a=\lambda/\mu$，此隨機變數平均值可用以下公式計算[34]:

$$P_0=\{\sum_{j=0}^{K-1}\frac{a^j}{j!}+\frac{a^K}{K!}\sum_{j=K}^{\infty}(\frac{a}{K})^{j-K}\}^{-1}, \tag{3}$$

$$C(K,a)=\frac{a^K}{(1-\rho)K!}P_0, \tag{4}$$

$$E[W]=\frac{1/u}{(1-\rho)K}C(K,a). \tag{5}$$

其中，$C(K,a)$ 稱為 Erlang C 公式。 由等候理論可知，若是就醫率 λ 變大、醫療處置時間$1/\mu$ 變長或醫療人力 K 減少，就醫平均等待時間 $E[W]$ 將變長。

由以上模型與討論可知，在保障國民就醫權利考量下，醫療旅遊產業發展要可行必須滿足兩個條件，一是營收扣除含回饋金的成本後必須有利潤，此外，以回饋金吸引人才補充流失的醫療人力後，就醫平均等待時間必須小於給定的限制。以數學模型表示即為下列定理：

[定理二] 當投入產業發展之資金為 x、投入之總醫療人力為 y、回饋金佔營收$100r\%$ $(0 \le r \le 1)$、未投入醫療旅遊產業前原有醫療人力為 K 與就醫平均等待時間上限為 $W_{\max}$，則醫療旅遊產業利潤為 $(1-r)\cdot R(x,y)-y$，補充醫療人力為 $s(r\cdot R(x,y))$。令 $\overline{K}$ 為原有醫療人力扣除投入醫療旅遊產業人力並透過回饋後補充人力之總醫療人力(亦即 $\overline{K}=K-y\ s(r\cdot R(x,y))$)，則醫療旅遊產業可發展之限制為

(1) $(1-r)\cdot R(x,y)-y\ge 0$ 與

(2) $E[W]=\dfrac{1/u}{(1-\rho)\overline{K}}C(\overline{K},a)\le W_{\max}$

經以上討論，該如何決定投入多少資源於醫療旅遊產業可以表為下列優化問題 (6) :

$$\begin{aligned}&\max_{x,y,r}\frac{(1-r)R(x,y)-y}{E[W]}\\ &s.t.\\ &\quad (1-r)\cdot R(x,y)-y\ge 0\\ &\quad \frac{1/u}{(1-\rho)\overline{K}}C(\overline{K},a)\le W_{\max}\\ &\quad 0\le x\\ &\quad 0\le y\le K\\ &\quad 0\le r\le 1\end{aligned} \tag{6}$$

其中 $E[W]=\dfrac{1/u}{(1-\rho)\overline{K}}C(\overline{K},a)$ 且 $\overline{K}=$

$K-y$ $s(r\cdot R(x,y))$。上述問題若可行解區域(feasible region) 為非空集合則表示可在保障國民就醫權利下推廣醫療旅遊產業，其解即為投入產業發展之資金 x、投入之總醫療人力 y、回饋金佔營收比例 r，目標函數為求取產業之最大利潤並盡可能降低就醫等候時間。

4. 數值結果

我們進行了不同的數值模擬實驗，因篇幅受限，僅列出下列結果，除了說明模型的使用外，主要目的在闡明參數 l_2 與 c_2 重要性。

以下的模擬中，我們採用的參數值說明如下: $l_1\cdot c_1$ 代表投入無窮資源時，營收所能達到的最大值。我國 2017 年外籍人士醫療收入約 147 億台幣[16]，而 2018 年泰國的醫療旅遊的收入達 43 億美金(約 1247 億台幣)，由於我國是在有優良醫療環境但未投入足夠資源下發展醫療旅遊，所以假定投入足夠資源時，產業營收至少可達泰國規模，故假設 $l_1\cdot c_1$=120。又根據[17]醫師公會全國聯合會統計，2017 年地區醫院以上(不含診所)約有 28000 執業醫師，我們以此近似較大型公立醫院醫師總數。為了計算方便起見，我們以 100 位醫師為一人力單位，因此令 $K=280$. 此外，我們考慮醫療使用率相當高的情形，假定 $\lambda/K\mu$=0.9。由衛福部統計[18]， 台灣就醫等待看診時間為 42 分鐘，由公式(5)， 我們令 μ =1/22349 (1/分鐘)。又根據 [33]，受雇台灣醫師平均月薪約 16 萬 4 千元，即年收入約 200 萬，假定當我們用 600 萬的三倍原有新薪資，應有一定吸引力吸引有經驗且非受僱醫師流入核心科別，又因我們以 100 位醫師為一人力單位，即可令 c_{unit} 為 6 億台幣，亦即投入一單位人力至醫療旅遊產業需花費 6 億台幣才可補足原有醫療人力水準。此外我們假設 $W_{\max}$= 42 分鐘，此一假設要求醫療人力投至醫療旅遊產業後，必須補充人力到至少原有水準，使國民就醫權利不受影響。

現行我們規定投入國際醫療床位上限是十分之一[9]，因此我們也假設投入產業人力最多是 K 的十分之一，亦即假定人力 y 為 1 至 28 之間的整數。假設投入產業的資本金額以 1000 萬元台幣為一單位，且投資金額不超過市場飽和時的營收 1200 億，所以變數 x 為 1 至 1200 之間的整數。又我們假定營收回饋的比例 r 為 0 至 1 的小數且為 0.1 的倍數。在以下的模擬實驗中，我們令 l_2 為 28 (y 可能之最大值) 的 q 倍，c_2 為 1200 (x 可能之最大值) 的 q 倍，在使 q 由 0.1、0.2、0.3 逐漸增加至 1，在由上述所列的 x、y 和 r 可能值中，求取使問題 (6)中目標函數的最大值作為該問題目標函數近似的最佳值。我們可以得到以下的結果;

表 1 q =0.1 時，模擬結果

	Optimal Objective	Maximal Revenue	Maximal Waiting Time
y	16	18	1
x	250	752	29
r	0.6	0.5	0.2
value	1.4×10^5	940	42

表 2 q =0.2 時，模擬結果

	Optimal Objective	Maximal Revenue	Maximal Waiting Time
y	17	28	23
x	239	459	66
r	0.4	0.3	0.2
value	8	652	42

若 q 大於或等於 0.3，無可行解(feasible solution)存在。在表 1 q =0.1 時中，目標函數最大值發生 x =239，y =16，r = 0.4，而 x =752，y =18，r = 0.5 時，營收函數最大，而 x =29，y =1，r = 0.2 時，等待時間維持原有的 42 分鐘。在 q =0.2 時，發生目標函數最大值、營收函數最大與等待時間最長之 x、y 與 r 值分列於表 2 中。在以上數值模擬中，當 q 大於或等於 0.3 時，上述所列的 x、y 和 r 可能值中已不可能滿足問題(6)中所列的限制式。此即由醫療旅遊產業提供的回饋金已不足以維持固

有就醫等待時間，保障國民就醫權利。關於此現象我們可以藉由觀察營收函數 $R(x,y)$ 中的成分函數 $l_1 y/(l_2+y)$ 來解釋，當 $y\to\infty$，此函數趨近其上限 l_1，而 $y=l_2$，此函數達到其函數上限值之一半 $l_1/2$。因此，當 l_2 越小表示此函數遞增速度越快，以產業角度而言，投入少量醫療人力即可獲得大量營收，投資報酬率相當高。相同地，當 c_2 越小表函數 $c_1 x/(c_2+x)$ 遞增速度越快，投入少量資本即可獲得大量營收。當 l_2 與 c_2 足夠小，投入資源於此一產業才能產生足夠的營利來回饋醫療系統，保障就醫權利，此產業才有值得發展的價值。

5. 討論

在本文中，我們提出一個醫療旅遊的數學模型，模型描述投入醫療人力與資本後所產生的部分營利用以回饋醫療系統，維護國民既有的就醫權利。由分析中發現，若要產業能產生經濟利益同時維護國民就醫權利，模型中的兩個參數必須適當地小，使得投入適量的醫療人力資源與資本時，即可產生可觀的營利收入，方能在扣除資本成本與回饋流失醫療人力後，仍有產業盈餘，此成果可供政府參考，在制定相關政策前應仔細評估模型之參數，決定投入之資本與人力資源，以期達最大成效。

本研究未來仍有以下發展的方向，一是我們提出的優化問題(6)事實上是屬於混合型整數的非線性優化問題(Mixed Integer Nonlinear Programming Problem)，亦即變數 x 、 y 為整數而回饋比例 r 為實數，然而在我們的模擬實驗中，目標僅是為了說明參數 l_2 與 c_2 重要性，因此簡單假設 r 為 0 至 1 的小數且為 0.1 倍數，亦即將變數離散化，求取最佳值之近似解，未來應針對此問題發展更細緻演算法，求取問題最佳解。

另一個須研究的方向是為了清楚說明我們的想法，我們的數學模型相當簡化，實際應用時必須進一步加以調整。例如，如果政策可以適當配合，模型中 $R(x,y)$ 的上限 l_1 與 c_1 可能可以因此提高。此外，l_1 與 c_1 亦可能隨著景氣波動或競爭者加入而有所不同，可以是時間的函數。此外，在 $R(x,y)$ 的成分函數 $l_1 y/(l_2+y)$ ，當 $y>0$ 時，此函數即大於 0，但實際狀況可能是投入之醫療人力資源必須達到一定規模時，營收才大於 0，亦即存在一常數 l^* ，成分函數修正成具下列形式之 $l(y)$:

$$l(y)=\begin{cases}0 & \text{if } 0\le y\le l^* \\ l_1(y-l^*)/(l_2+(y-l^*)) & \text{if } y>l^*\end{cases}. \qquad (7)$$

而成分函數 $c_1 x/(c_2+x)$ 應也做類似修改。當應用此模型評估投資與政策制定時時，可配合實際需求適當地加以修改，以期能做更準確之預估。

誌謝

陳政輝研究由科技部補助(計畫編號 109-2221-E-004 -003 -)。

參考文獻

1. 劉宜君，「醫療觀光政策與永續發展之探討」，**兩岸政經文教學術研討會**。
2. 黃月芬，台灣發展觀光醫療之可行性研究，碩士論文，中國文化大學，台北 (2005)。
3. 王允翬，「在全民健保之外--各國健康照護制度簡介一」，**陽明醫聲**，第二十一期 (2015)。
4. 王允翬，「在全民健保之外--各國健康照護制度簡介一」，**陽明醫聲**，第二十一期 (2015)。
5. 葉慈薇，泰韓台三國醫療觀光服務產業發展之比較研究，碩士論文，國立政治大學， 台北 (2013)。
6. 衛福部國際合作組，泰國醫療產業市場概況及需求分析，2018，at https://dep.mohw.gov.tw/OOIC/cp-3917-40545-119..html.
7. 王啟秀、陳文郎，陳芃蓒，「台灣發展醫療觀光服務業競爭優勢之研究」，**中華管理評論**，第十四卷，第一期 (2011)。
8. 林鶴雄，台灣發展跨國醫療之構想，2007，at ttps://slidesplayer.com/ slide/ 11058117/.
9. 衛福部中央健康保險署，醫事機

構醫療費用給付規定，2018，at ttps://www.nhi.gov.tw/Content_List.aspx?n=14A4C7A3C107652D&topn=D39E2B72B0BDFA15

10. 吳彥莉、鄭雅文，「醫療旅遊對醫療體系的潛在衝擊」，**台灣衛誌**，第三十二卷，第四期，第303-308 頁 (2013)。
11. 台灣國際醫療全球之訊網，at https://www.medicaltravel.org.tw/Article.aspx?a=18&l=1
12. 台灣醫療服務國際化行動計畫，at http://ciis.cdri.org.tw/ipapa/content.aspx?sid=0B173606761345563819.
13. 何楷平，「醫療觀光亞洲新勢力」，**現代保險**，at https://www.rmim.com.tw/news-detail-7092
14. 何楷平，「拚醫療觀光台灣再加油」，**現代保險**，at https://www.rmim.com.tw/news-detail-15577.
15. 戴肇洋，「推動醫療觀光產業發展前景與問題分析」，**經濟部投資業務處台商 e 焦點**，第一七一卷 (2011)。
16. 去年來台醫療病患逾 30 萬人次 10 年新高，**自由時報**， 2018 at http://news.ltn.com.tw/news/life/paper/1185039.
17. 各鄉鎮市區各類醫療機構執業醫師數，中華民國醫師公會全國聯合會網站， at https://www.tma.tw/stats/files/2017/%E8%A1%A87.pdf
18. 行政院所屬各機關 100 年度民意調查報告摘要表 - 衛生福利部統計資料 https://www.nhi.gov.tw/Resource/webdata/30308_2_100%E5%B9%B4%E5%BA%A6%E6%B0%91%E6%84%8F%E8%AA%BF%E6%9F%A5%E5%A0%B1%E5%91%8A%E6%91%98%E8%A6%81%E8%A1%A8.pdf
19. 勞動部網站 at https://www.mol.gov.tw/media/1380925/bb22.pdf
20. A. A Andritsos and C.S. Tang, " The impact of cross-border patient movement on the delivery of healthcare serices," *International Journal of Production Economics*, **145**, 702-712.
21. S. Wibulpolprasert, "Health Service and FTA," *Third world Network*, 2005, available at http://www.twside.org.sg/title2/FTAs/serices.htm.
22. I. C. Liu, "The research of medical tourism policy network in Taiwan," *Sociology Mind*, **2**, 4, 458-464 (2012).
23. S.K. Satpathy and S. Venkatesh, "Human resources for health in India's national rural health mission: dimension and challenges," *Regional Health Forum*, **10**, 29-37 (2006).
24. C. G. Lee, "Health care and tourism: Evidence from Singapore," *Tourism Management*, **31**, 486-488 (2010).
25. T. J. Pan and W. C. Chen, "Chinese medical tourists e Their perceptions of Taiwan," *Tourism Management*, **44**, 108-112 (2014).
26. N. S. A. Mutalib etc., " Medical Tourism: Ethics, Risks and Benefits," *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research*, **50**, 261-270 (2016).
27. R. Johnston etc., "What is known about the effects of medical tourism in destination and departure countries? A scoping review," *International Journal for Equity in Health*, **9**, 1-13 (2010).
28. N. S. Pocock and K. H. Phua, "Medical tourism and policy implications for health systems: a conceptual framework from a comparative study of Thailand, Singapore and Malaysia," *Globalization and Health*, **7**, 1-12 (2011).
29. Q. Qian, P. Guo and R Lindsey, "Comparison of subsidy schemes for reducing waiting times in healthcare systems," *Production and Operations Management*, **26**, 2033-2049 (2017).
30. D. A. Andritsos and C. S. Tang, "Introducing competition in healthcare services: The role of private care and increased patient mobility,"

European Journal of Operational Research, **234**, 898-909 (2014).

31. Q Qian and W. Zhuang, "Tax/subsidy and capacity decisions in a two-tier health system with welfare redistributive objective," *European Journal of Operational Research*, **260**, 140–151 (2017).
32. K. R. Brekke etc., "Patient Choice, Mobility and Competition Among Health Care Providers," *Developments in Health Economics and Public Policy*, **12**, 1-26 (2014).
33. K. R. Brekke, L. Siciliani and O. R. Straume, "Hospital competition and quality with regulated prices," *Scand. J. of Economics*, **113**, 444–469 (2011).
34. A, Leon_Gracia, Probability and random process for electrical engineering, Addison Wesley, 1994.

A MATHEMATICAL MODEL OF MEDICAL TOURISM AND ITS ANALYSIS

Jeng-Huei Chen
Department of Mathematical Sciences
jhchen@nccu.edu.tw

ABSTRACT

Medical tourism is a tourism service for tourists obtaining medical care overseas. It integrates medical and tourism industries to attract patients receiving medical care treatments and to promote tourism industry simultaneously. Due to the considerable economic benefits many countries have invested enthusiastically in its development. However, its development might also bring negative impact to the country's medical system and might affect citizens' right to seek medical treatments.

Taiwan owns an outstanding medical system. The manpower in medical fields is also abundant. However, due to the global budget payment design in the national health insurance system, the main staffs in its public health system is lost gradually. Moreover, because of insufficient investments and restricted regulations, its medical tourism industry is less competitive to other countries. In this article, a mathematical model is proposed to study the possible promotion of medical tourism industry in Taiwan. It considers to invest resources in developing of the medical tourism industry and the return from this industry is used to attract surplus manpower to compensate for the possible loss of main staffs in public health system due to the promotion of the medical tourism industry. The major goal is to investigate to what degree that the government should promote medical tourism industry without sacrificing citizens' right to seek medical treatment. Analysis shows that two model parameters play crucial roles in answering such a question. The results suggest that the government should carefully evaluate these two parameters while formulating policies to promote this industry.

Keywords: Medical Tourism, Mathematical Models, Queueing Theory.