我國預防接種疫苗需求預測及最適化分配模式之建立

郭建吾[a]　邱瑞科[b]　詹前隆[c]　顏哲傑[d]

[ab]天主教輔仁大學資訊管理學系所　[c]元智大學資訊管理所　[d]疾病管制局預防接種防治組

boris@im.fju.edu.tw

摘要

我國衛生主管機關以往在決定全國性預防接種疫苗需求量時，由於電腦化及決策制定相關的資訊不足，無法以較為客觀且科學化的模式及方法來進行推估或預測其需求量，易發生疫苗數量過剩或不足以及管理上的困難，更造成國內醫療成本的負擔。另外，對於實際執行疫苗接種的各地方衛生所亦無法提供正確的單/多劑量疫苗需求分配量。

本研究提出合理且科學化的推估程序來制定單/多劑量疫苗需求量及最適化分配模式之研究。過程中分別應用時間序列-ARIMA 及倒傳遞類神經網路進行預測下一年度「疫苗總施打數」與「新生兒出生數」，之後推估出下一年度疫苗總需求量，並配合單/多劑量疫苗分配比例的計算，以得到縣市各衛生所「最適數量」及「最適成本」的兩種疫苗分配量，之後進一步加入考量單/多劑量疫苗的購買價格，以推估出下一年度疫苗購買成本的參考。

經實證結果，本研究可依地方衛生所為導向，建立準確的年度疫苗需求量推估及進行單/多劑量疫苗最適化的分配，如此必能對疫苗的採購、庫存進行有效的控管，並可由此降低採購及庫存成本，以避免醫療資源的浪費。

關鍵字：疫苗管理，需求預測，時間序列，類神經網路，最適化分配

Abstract

When the Department of Health in Taiwan estimates the vaccine demands, it doesn't use an objective and scientific method. Because it lacks enough computerized systems and information for making these decisions. Therefore it does cause waste or lack of medical treatment resources and it also makes management more difficult and increases the unnecessary cost. In addition, the district health centers also cannot provide correct information of demands and distribution about single-dose and multi-dose vaccines.

This research attempts to build a demand forecasting and optimal distribution model for purchasing single-dose and multi-dose vaccines through estimating procedures. This research uses ARIMA and Neural Network respectively to predict "total volume of injection" and "total volume of newborn baby" next year, and tries to estimate the total demand volume of vaccine. The last stage estimates the next year's optimal distributional volume and purchase cost of vaccine for different district health centers based on the total demand volume and distribution ratio obtained from the optimal volume and optimal cost of each kind of vaccine in the next year.

According to the experimental results, this research indeed provides a precise estimating model of purchasing vaccine volume and establishes an optimal distribution model for single-dose and multi-dose vaccine. Therefore, the model will help manage effectively for purchasing and stocking national vaccine, and reduce the cost to avoid wasting the medical resources.

Keywords: Vaccine Management, Demand Forecast, Time Series, Neural Network, Optimal Distribution.

壹、前言

我國疾病管制局預防接種防治組以往在決定全國性預防接種疫苗需求量時，由於電腦化及決策制定相關的資訊不足，無法以較為客觀且科學化的模式及方法來進行推估或預測其需求量，而是概略以經驗及過去供應量，並配合人口成長趨勢來決定每年各項疫苗需

求量。然而疫苗依劑量可區分為單劑量及多劑量，單劑量表示疫苗的盛裝為一份劑量的注射器，只可施打一人次，衛生人員執行預防接種作業過程將因此方便且快速；多劑量表示疫苗的盛裝為多份劑量的瓶裝，可給予多人施打，然而因此衛生人員執行預防接種作業過程必須先以空容量的施打針管於多劑量瓶中抽取適當疫苗量再來幫民眾施打，一旦同時間現場待接種人數眾多，如此將使得作業過程緩慢且易於浪費疫苗。例如一般卡介苗為三十劑一瓶，但此疫苗瓶一旦開啟，在開啟保存期限內若無施打完畢，疫苗即失去效用而造成浪費。但是多劑量因為包裝的關係，相對的成本因此低廉許多。也就因此，在無法有效管控的情形下，易發生疫苗數量過剩或不足以及管理上的困難，更造成國內醫療成本的負擔。另外，對於實際執行疫苗接種的各地方衛生所亦無法提供正確的單/多劑量疫苗需求分配量。因此，以客觀且科學化的方式來制定我國預防接種單/多劑量疫苗需求量及最適化分配，應可以改善上述疫苗需求量及分配不佳的一項嘗試。

貳、相關文獻探討

一、影響疫苗需求量因素之探討

疫苗需求量的計算，本身即是一個複雜的問題，經訪談國內疾病管制局預防接種防治組管理人員後，其表示考慮疫苗需求量時所需用到的變數可能有新生兒出生數、疫苗耗損率、疫苗消耗情形等，另加以輔助人口成長趨勢的影響來決定每年各項疫苗需求量，但在此情形下還是容易造成疫苗數量過剩或不足的狀況，尤其單劑量及多劑量的疫苗消耗難以管控，浪費了不少醫療成本。

國內的研究報告中對於疫苗需求量的研究目前只有陳盛儀[2]提出了全國性預防接種疫苗最適化採購預測模式建立之研究，其研究中對於影響疫苗需求量的因素曾參考了 Alexander[4]對於烏克蘭國家在評估疫苗用量時所使用的因素，包括：疫苗可預防疾病的趨勢、疫苗的公開防治效用程度、預防接種時程及疫苗施打完成率、目標人口大小、耗損率等。而陳盛儀的研究曾另外經過我國專家學者評選來確立相關可行的影響變數，它除了需考慮 Alexander 所建議的疫苗施打完成率、目標人口數、疫苗耗損率等因素之外，另加入地區淨遷徙人口數及以往歷年的疫苗實際使用量來輔助預測年度疫苗採購量。但此一採購量的預估並未分別考慮單/多劑量比例、供應商來源及市場佔有率，因此在整體預估值確實有改善的空間及必要。

二、疫苗需求量的計算

近年來國外對於疫苗需求量的研究報告中最多被文獻引用的即是世界衛生組織（World Health Organization, WHO）於 2002 年公布疫苗成本推估模式[5]，如式 1。

$$N=\frac{B\times C\times T\times(1+R)}{1-W}-S \qquad (1)$$

其中

N＝ 下一年度疫苗總需求量

B＝ 下一年度新生兒出生數預測值

C＝ 預期下一年度的疫苗預防接種完成率

T＝ 一位新生兒施打某疫苗需總劑次

R＝ 疫苗保留量，即對總需求量之比率

W＝ 疫苗耗損率

S＝ 當年度疫苗結存量

在式 1 中，若為新疫苗採購的第一個年度沒有結存量，因此 S＝0，但本研究探討的疫苗皆為現行法定政策推行的預防接種疫苗，因此 S 需計算進去。疫苗需求量的決定，必須考量此疫苗在一段期間內預期的施打人數，另外亦必須考量過去疫苗耗損率的經驗值，補充產生耗損的疫苗數量，最後亦需加入保留量（保留庫存）的考量，才能建構完整的疫苗需求量基本模式。

本研究依 WHO 方式提出了另一種決定需求量方式，如式 2，疫苗總施打數，D。

$$N=\frac{D\times(1+R)}{1-W}-S \qquad (2)$$

其中 $D=B\times C\times T$ ，因為正常來說，疫苗預防接種完成率，C，為已接種人數在應接種人數中所佔的百分比，而新生兒出生數，B，應即為此完成率期間的應接種人數，因此倘若兩者相乘後得到的已接種人數再乘與一位新生兒施打某疫苗需總劑次，T，即可取得年度疫苗總施打數，D。我國預防接種作業中的工作量報表即為疫苗總施打數的記錄。

本研究嘗試分別以式 1 及式 2 來推估年度疫苗總需求量，而其中將分別對於下年度新生兒出生數及疫苗總施打數進行預測，並經比較選擇與我國實際狀況最為接近的預測結果，以作為疫苗分配模式中的總分配量基礎。

三、主成份分析

主成份分析法（Principal Component Analysis）是由 Pearson 首先提出，再由 Hotelling 加以發展的一種統計方法。分析資料的階段中，常碰到必須處理許多彼此有相關性存在的變數，如何將這些變數予以縮減，使其改變為較少數量的互相獨立線性組合變數，是件重要的工作。主成份分析乃將少數幾個變數予以線性組合，經由線性組合而得到的成份，其變異數最大。換句話說，即在不同成份能顯示出最大的個別差異[1]。也就因此，由於影響疫苗需求量因素眾多，本研究可利用主成份分析法的特性，找出與已知主要疫苗總施打數及新生兒出生數影響不大的變數，並予以刪除。

四、時間序列

本研究選取時間序列-ARIMA 進行預測的原因在於以往國內疾病管制局預防接種防治組在推估下一年度的疫苗購買量及分配量時，是以當年度新生兒出生數為依據，而當年度疫苗預防接種的工作量則作為疫苗量多買或少買的參考值，因此主要以新生兒出生數作為推估標準的方式在本研究中即為單變數的預測方式，又時間序列-ARIMA 僅需考慮過去資料本身之序列即可作為預測未來發生的狀況，在多項統計的單變數預測方法中有不錯的表現[3]，加上每年疫苗預防接種的工作量的是呈季節性時間趨勢的狀況，因此這些原因及特性將使得本研究選取時間序列-ARIMA 作為預測方法之一。

五、類神經網路

本研究選取類神經網路-倒傳遞類神經網路（Back Propagation Neural Networks, BPN）的原因在於文獻蒐集中得到多項影響疫苗需求量的因素，這些因素彼此之間或許有互相影響的因果關係，若以類神經網路將這些因素作為輸入變數經由網路訓練及試驗，將可得到經這些因素潛在互相影響新生兒出生數及疫苗預防接種工作量為主的輸出變數預測值，而根據以往文獻表示類神經網路在這多變數的預測有相當不錯的結果表現[6]，因此這些原因及特性將使得本研究選取類神經網路-倒傳遞類神經網路作為預測方法之一。

參、研究架構與程序

本研究透過四階段推估程序制定單/多劑量疫苗需求量及最適化分配之研究，詳細研究架構與程序如圖 1。

第一階段將根據歷年地方衛生所疫苗需求量相關影響因素，經主成份分析法得到「疫苗總施打數」與「新生兒出生數」的主要相關影響決定因素。

第二階段將根據歷年疫苗總施打數及新生兒出生數之主要相關影響決定因素實際值，應用時間序列-ARIMA 進行單變數預測及應用類神經網路-倒傳遞類神經網路進行多變數預測，以預測下一年度「疫苗總施打數」與「新生兒出生數」。

第三階段則將根據 WHO 訂定的年度疫苗總需求量計算方式及本研究提出的計算方式，代入第二階段所得到的預測值以推估出下一年度疫苗總需求量，之後選取適用於我國疫苗實際使用狀況的計算結果。

第四階段則將對於縣市各地方衛生所進行下一年度單/多劑量疫苗需求量最適化分配及成本推估，先經由第三階段得到的總疫苗需求量配合單/多劑量疫苗量分配比例的計算，可得到縣市各衛生所的單/多劑量疫苗分配量，之後進一步加入考量單/多劑量疫苗的購買價格，以推估出下一年度疫苗購買成本。

本研究對於單/多劑量疫苗分配比例的計算方式，考慮到了數量最適化分配及成本最適化分配。經本研究與我國主管預防接種業務之疾病管制局預防接種防治組管理人員討論此研究概念後，預防接種防治組管理人員依經驗提出數量分配的建議，本研究合理成本的單位劑量，t，亦表示一劑單劑量價格等於多少劑多劑量價格，可取區間來視為單/多劑量疫苗數量的分配比例。預防接種防治組管理人員表示施打劑數若大於合理成本單位劑量多 2 劑，即 $t+2$，則建議此衛生所的單/多劑量疫苗為 1/3：2/3 的分配比例；施打劑數若介於合理成本單位劑量以及 $t+2$ 之間，則建議此衛生所的單/多劑量疫苗為 1/2：1/2 的分配比例；施打劑數若小於合理成本單位劑量則建議此衛生所的單/多劑量疫苗為 1：0 的分配比例。

至於疫苗依成本最適化分配方面，本研究延伸疫苗單位成本的劑量，t，之想法，由一劑單劑量價格等於多

少劑多劑量價格的單/多劑量成本比例作為分配量的比例。經疫苗單位成本的劑量，t，的計算方式轉換可得到，一劑多劑量價格：一劑單劑量價格 = 單位成本的劑量：多劑量一瓶總劑量。因此若以成本來計算分配數量比例，應即為 QS：$QM = t/(t+L)$：$L/(t+L)$。

肆、實驗與結果分析

為了讓本研究模式可以適用在大部份不同類型的衛生所，所以本研究挑選人口最多的台北縣為研究縣市對象，以擬作為全國需求預測及分配模式的實驗代表縣市。在研究疫苗種類的選取上，本研究的疫苗對象則限定白喉百日咳破傷風混合疫苗（DPT）、麻疹腮腺炎德國麻疹混合疫苗（MMR）兩項不同疫苗進行實證研究。

一、預測模式之建立

經由主成份分析後，本研究分別得到影響 DPT 疫苗的「疫苗施打工作量」各相關決定變數包括新生兒出生數、疫苗應施打數、疫苗已施打數、育齡婦女一般生育率、有偶婦女一般生育率；影響 MMR 疫苗的「疫苗施打工作量」各相關決定變數包括新生兒出生數、育齡婦女一般生育率、有偶婦女一般生育率；以及影響「新生兒出生數」各相關決定變數包括育齡婦女一般生育率、有偶婦女一般生育率。此結果將做為倒傳遞類神經網路實驗時的輸入變數之依據。

確定可分析變數之後，本研究分別以時間序列-ARIMA 及類神經網路-倒傳遞類神經網路對於民國八十三年~九十年疫苗總施打數（DPT、MMR）、新生兒出生數進行預測下一年度預測值，並與民國九十一年實際值做誤差率比較。經過預測模式實驗，其研究實驗結果的各預測模式的預測的結果及誤差率如表 1 所示。由表 1 可得知，就預測模式準確性，本研究以 ARIMA 模式預測而得的 DPT 疫苗總施打數為 103,351 劑（誤差率 4.9%），倒傳遞類神經網路模式所預測而得的 MMR 疫苗總施打數 31,124 劑（誤差率 1.12%）、ARIMA 模式所預測而得的新生兒出生數為 33,619 人（誤差率 8.8%）等最為準確，將以此進行推估下一年度疫苗總需求量。

二、疫苗總需求量推估

除了疫苗總施打數、新生兒出生數的預測值外，在疫苗預防接種完成率方面，本研究取最近 3 年的預防接種完成率平均值來作為代入值，其中 DPT 為 95.62%，MMR 為 94.78%。一位新生兒施打某疫苗需總劑次方面，新生兒需施打 DPT 疫苗 4 劑、MMR 疫苗 1 劑。疫苗保留量的部份，由於我國政策規定是以一年疫苗總劑量的平均三個月可用劑量來作為保留量，因此此值定為 25%。而疫苗耗損率因為現階段難以評估，本研究以 WHO 公布的平均值約 25%來暫時代入此值。至於當年度疫苗結存量，本研究蒐集資料結果顯示至民國九十年 12 月底，台北縣 DPT 疫苗單劑量尚有 75,459 劑、多劑量尚有 173,700 劑，共 249,159 劑；MMR 疫苗單劑量尚有 14,457 劑、多劑量尚有 120,830 劑，共 135,287 劑。

將以上數據代入 WHO 所訂的疫苗需求量計算方式及本研究另外提出的計算方式，發現我國民國九十年 12 月底的疫苗結存量太大使得推估出的民國九十一年的疫苗需求量呈現負值，因此本研究在此排除民國九十年 12 月底的結存量數值，以依據新生兒必需接種的新疫苗的需求用量來做為各地方衛生所分配用量的推導，並假設推導出的疫苗分配用量適當，在民國九十一年 12 月底不致有大量結存的狀況存在。

經修正 WHO 與本研究的計算並比較後，因為考慮到結存量存在的影響，本研究選取計算結果較小者作為在民國九十一年度疫苗總需求量的推估結果：民國九十一年的 DPT 疫苗可採用本研究方式修定後計算而得的 172,252 劑，MMR 疫苗可採用本研究提出的方式修定後計算而得的 51,874 劑。

三、疫苗最適化分配及成本推估

在最適化分配模式之中，本研究分別以「最適數量」的單/多劑量疫苗分配，以及「最適成本」的的單/多劑量疫苗分配兩方向進行評估。

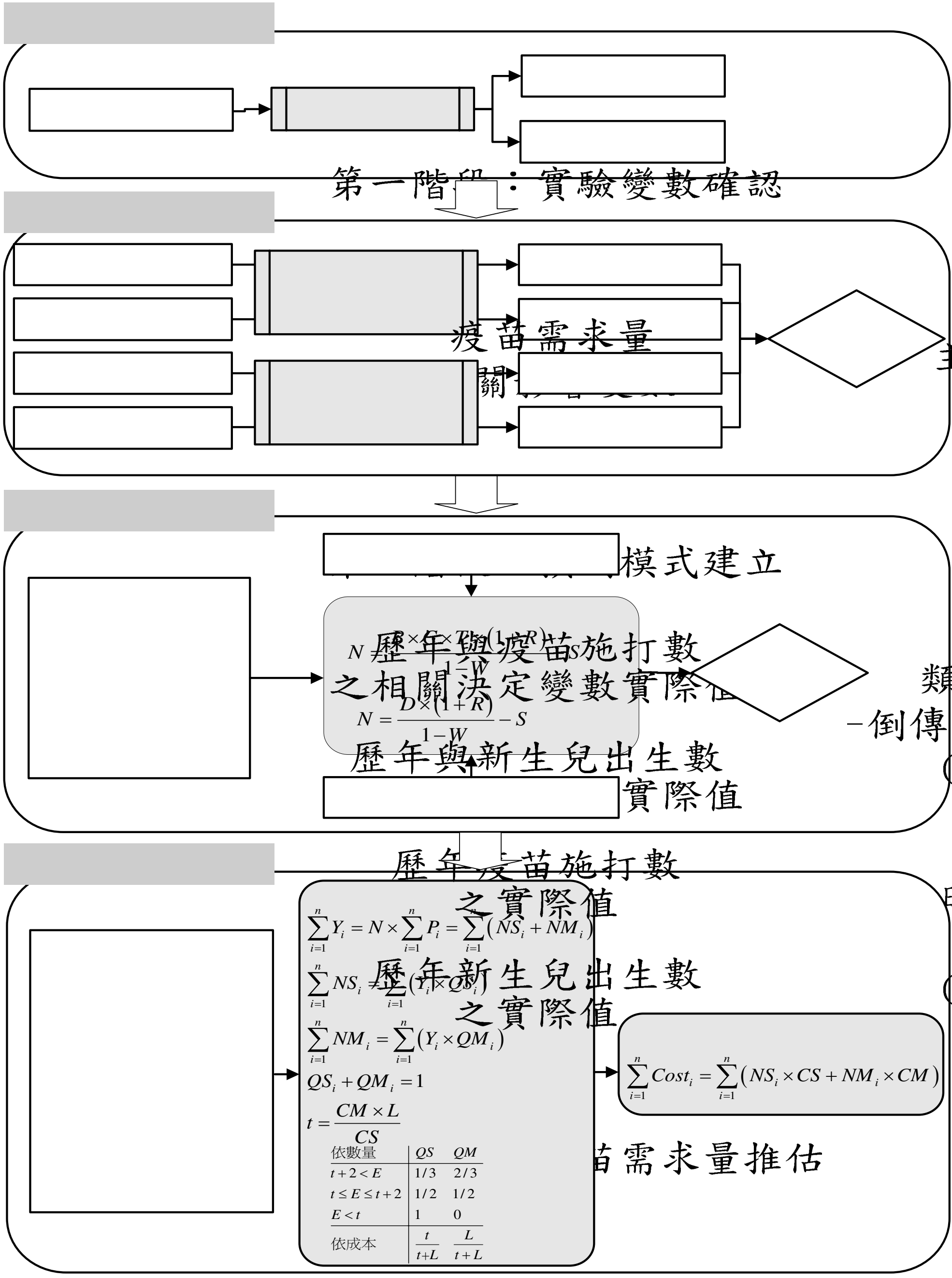

圖 1：本研究架構與程序

表 1：本研究實驗得到各預測模式的預測結果及誤差率

預測模式	下一年度疫苗總施打數		下一年度新生兒出生數
	DPT	MMR	
ARIMA	$ARIMA(2,1,2)(1,0,1)_{12}$ **103,351 劑** **誤差率 4.9%**	$ARIMA(2,1,0)(1,0,0)_{12}$ 29,715 劑 誤差率 5.9%	$ARIMA(1,1,1)(1,1,1)_{12}$ **33,619 人** **誤差率 8.8%**
倒傳遞類神經網路	網路架構{5-9-7-1} ：學習速率為 0.7 111,822 劑 誤差率 13.45%	網路架構{3-5-4-1} ：學習速率為 0.9 **31,124 劑** **誤差率 1.12%**	網路架構{2-3-3-1} ：學習速率為 0.1 40,483 人 誤差率 9.82%

經依台北縣各地方衛生所分配計算得到的結果顯示，民國九十一年台北縣依「最適數量」DPT 疫苗採購成本共 2,719,755 元（單劑量共為 1,885,327 元，多劑量共為 834,428 元），依「最適成本」DPT 疫苗採購成本共 2,071,322 元（單劑量共為 1,035,291 元，多劑量共為 1,036,031 元）。而民國九十一年台北縣依「最適數量」MMR 疫苗採購成本共 5,548,164 元（單劑量共為 3,039,400 元，多劑量共為 2,508,764 元），依「最適成本」MMR 疫苗採購成本共 5,412,951 元（單劑量共為 2,706,300 元，多劑量共為 2,706,651 元）。另外由台北縣民國九十年 12 月底的疫苗實際結存記錄表示疫苗結存成本，DPT 疫苗共 3,659,476 元，MMR 疫苗共 12,073,508 元。由結果可得知，民國九十年的疫苗結存成本竟然遠大於本研究推導出民國九十一年的需求成本，可見民國九十年的疫苗採購成本浪費甚鉅。因此本研究分別以實際需求的疫苗數量以及節省最低的購買成本為出發點，將可有效獲得疫苗採購決策以及分配制定的參考範圍，以作為衛生主管機關在年度總預算編列的有效參考依據。

伍、結論與建議

本研究經模式建立並進行需求量及分配量的推估，研究結果顯示本研究實驗過程確實可順利推估出單/多劑量疫苗的地方衛生所最適化分配及年度採購成本的評估。其中本研究對於下一年度疫苗總施打數以時間序列-ARIMA 模式預測與實際值的誤差率僅有 4.9%，以類神經網路-倒傳遞類神經網路模式預測與實際值的誤差率更僅有 1.12%。另外對於下一年度新生兒出生數以時間序列-ARIMA 模式預測與實際值的誤差率亦僅有 8.8%。其結果皆顯示本研究預測模式對於下年度疫苗需求量的決策過程，實能提供有力的參考數據並給予準確的判斷，進而配合本研究提出的年度疫苗總需求量計算方式，或參考 WHO 訂定的方式，皆可順利推估出年度疫苗總需求量，加上本研究提出的單/多劑量疫苗分配比例計算方式，對於縣市各衛生所的年度單/多劑量疫苗需求更能給予合理的參考。

然而本研究過程中仍有遇到不少問題與限制，其一是本研究因為無法直接以全國的衛生所做為研究對象，因此只以台北縣的衛生所為代表性研究對象，未來若能取得多個縣市的資料進行分析比較，將可瞭解預防接種狀況在不同縣市間的差異性。

其二是疫苗需求量的計算方式中的疫苗耗損率本研究是以 25%作為 DPT 及 MMR 的一般耗損率，然而據實際的瞭解，不同疫苗的耗損狀況也不同，每年的狀況也不同。未來的後續相關研究，應致力對於我國各疫苗耗損率狀況進行深入瞭解，以消除其不確定性的限制。

其三是本研究雖然已推導出符合本研究目的之地方衛生所單/多劑量疫苗最適化的分配，然而因為研究資料的不足卻無法與實際民國九十一年台北縣各地方衛生所 DPT 單/多劑量疫苗及 MMR 單/多劑量疫苗的狀況做比較，只能經由專家確認其模式可行性。至於是否真能作為我國疫苗分配的「最適化」模式，乃須經由衛生主管機關進一步衡量此分配模式與我國政策的配合程度，才能確立其模式的價值性。

綜合本研究結果，預防接種單/多劑量疫苗需求量預測模式及最適化的分配的建立，將協助我國在預防接種疫苗的管控上更為有效，若未來能針對本研究限制之不足之處進行深入探討與研究，相信將使得需求預測及最適化分配模式能更為完善，期以加惠國人醫療品質的提昇及作為衛生決策制定的有利依據。

參考文獻

1. 林清山(1991)，多變量統計分析方法，台北：東華書局。
2. 陳盛儀(2003)，<u>全國性預防接種疫苗採購預測模式建立之研究</u>，輔仁大學資訊管理學系所碩士論文。
3. 謝邦昌(2001)，資料採礦入門及應用，台北：資商訊息顧問股份有限公司。
4. Alexander, T(2000), “The National Immunization Program of Ukraine: An Assessment of Performance, Financing and Resource Allocation Options, Ukraine Country Assessment Report.”
5. WHO(2002), “Guidelines for Estimating Costs of Introducing New Vaccines into the National Immunization System,” WHO.
6. Lippmann, R.P.(1987), “An Introduction to Computing with Neural Nets, April,” pp.4-22.