第三章　氣候預測對臺灣農業之潛在經濟效益
－以聖嬰預測在稻米產業之應用爲例

張靜貞[1,3]　陳吉仲[2]　楊晴雯[3]

[1]中央研究院經濟研究所
[2]國立中興大學農業經濟系
[3]國立台灣大學農業經濟系

摘　　要 ---------- 18
壹、前　　言 ---------- 18
貳、聖嬰對稻米產量的影響 ---------- 21
參、隨機性貿易模型 ---------- 25
肆、聖嬰預測之影響 ---------- 27
伍、結　　論 ---------- 30
陸、參考文獻 ---------- 30
英文摘要 ---------- 32

第三章　氣候預測對臺灣農業之潛在經濟效益
－以聖嬰預測在稻米產業之應用爲例

張靜貞[1,3] 陳吉仲[2] 楊晴雯[3]

[1]中央研究院經濟研究所
[2]國立中興大學農業經濟系
[3]國立台灣大學農業經濟系

摘　要

異常的氣候對農業生產與農民生計往往造成很大的損害，因此氣候預報資訊的準確度與傳播對農民的生產決策具有相當重要的意義。聖嬰－南方振盪現象是一種大氣環流與海氣熱量交換的改變所造成的異常氣候型態，規模強者會造成世界各地的氣候產生許多大幅度之異常現象，也對世界農產品市場的產銷結構產生極大之影響。本研究之目的在分析聖嬰現象對世界稻米生產與貿易之之影響，並進一步探討聖嬰預測所能帶來的經濟價值。初步結果顯示聖嬰對近赤道之西太平洋地區、歐洲與北美的稻米產量有負面影響，對主要出口國印度則有正面影響。反聖嬰對進口國稻米產量的影響普遍爲負面，對主要出口國印度與泰國的影響爲負面，美國則爲正面。發生聖嬰時，準確預測的潛在價值約有 228 億美元；發生反聖嬰時，準確預測反而會產生 5 億美元的損失。

關鍵詞：氣候預報、聖嬰、農業、稻米生產。

壹、前　言

聖嬰-南方振盪現象是一種大氣環流與海氣熱量交換的改變所造成的異常氣候型態，發生於熱帶東西太平洋地區，大約每二至七年發生一次，規模強弱互現，規模強者造成世界各地氣候產生大幅度之異常現象，以 1982/1983 年的超級聖嬰爲例，造成位於東太平洋地區美洲國家水患、西太平洋地區之澳洲、東南亞等地乾

旱與森林大火，除人命財產之損失外，也對世界農產品市場的供需與價格產生極大之影響，甚至造成若干國家之糧食安全問題（汪，1998；許，1998；唐，1998）。

自 1982/83 年嚴重的聖嬰現象後，聖嬰的研究已成爲全球性的研究計畫，研究的角度已經從對現象的描述進展至預測。實際上已經應用氣候預測的國家以南美國家如秘魯、巴西等爲首，1982/83 的聖嬰使巴西北部 154 萬平方公里的農耕區域受乾旱影響，此區域內的 1400 多萬農民損失嚴重，不但造成糧食價格上漲 3 倍，國家債務增加，也影響民生物資供應與企業之經營。之後巴西政府積極宣導聖嬰的乾旱預測資訊，並興建水壩以及管制灌溉用水，最後在 1992 年聖嬰造成當地降水量僅有平常的 23%時，農業生產與平均產量相差無幾，相對於 1987 年的收穫量，這種成果是可觀的。

巴西的鄰國秘魯在 1982/83 聖嬰年後成立 ENSO 特別委員會，由氣候專家、產業代表及政府官員合作，由預期降雨量來決定隔年之農業生產方案，當政策形成後，透過媒體將訊息提供給社會大眾，並協助農民決定適合種植的作物，因而 1986/87 年聖嬰來臨時，其稻米和棉花的產量反而較前一年還來的高。運用同樣的經驗，也在 1997/98 年聖嬰之前就預測會有豪雨侵襲而重新規劃農作物，鼓勵農民選擇種植水稻。Lagos and Buizer（1992）聲稱使用氣象預測來協助農業部門制訂相關決策確實避免秘魯 GNP 的衰退。

除了秘魯與巴西外，日本、中國、澳洲、歐美各國也積極的從事瞭解以及發展對聖嬰現象的預測能力。在澳洲亦有一群氣象與農業科學家與 Queensland 省的農業當局保持密切的合作關係，一方面致力於有關聖嬰現象的預測，一方面則研究輔助的決策軟體。1997/98 年聖嬰發生前半年，美國國家海洋大氣總署（NOAA）已經預測到這個聖嬰現象的發生，並且認爲是超級聖嬰而通知全國戒備，日本、澳洲在接下來的一個月中也發佈了同樣的消息，因此澳洲農民賣掉部分牛隻並改變種植計畫，美國從加州到科羅拉多州都做了防災準備，在北秘魯則因爲預測聖嬰將爲秘魯帶來豐沛的雨水，於是開始廣種牧草以豢養牛隻，並種植水稻及大豆等原本在秘魯北部因乾燥而無法種植的農作物。儘管如此，仍有國家不在意這些預報，如印尼以往聖嬰現象發生時往往發生乾旱，而印尼傳統農業都是放火燒山來取得耕地，沒想到在 1997/98 年，聖嬰引發的乾旱本來就已經使收成不足與糧荒，而印尼人民卻還放火燒山取得耕地，不但大火一發不可收拾，霾害還破壞生態，造成嚴重污染，引發國際間的問題。有此教訓後，印尼政府在 2001 年 3 月 15 日宣布，爲預防 2002 年可能發生的聖嬰現象，今年可能需進口 1.5 百萬噸的稻米以爲預防。

至於在台灣，雖然聖嬰帶來的豪雨也帶來不少農作和財物損失，但藉著準確預報，也讓台灣避免了不必要的損失。1998 年 1 月，台灣省水利處原本準備宣佈休耕，但中央氣象局認爲這次的超強聖嬰會爲台灣地區帶來可觀的春雨，建議管理單

位不用休耕，接下來的豪大雨證明不休耕的決定是對的。這項決定讓政府節省了約二億七千萬元的休耕補助費。台灣電力公司也因此在二、三月的水力發電量增加了八億五千四百萬度，節省燃料費約九億六千萬元。

以稻米主產區的東南亞爲例，聖嬰往往造成亞洲季風延後，失去亞洲季風所帶來的豐沛雨量，迫使稻作耕種期與收穫期也跟著延後，在國內供給匱乏之下，亞洲地區的進口量便會增加。當美國加州、印尼、中國等稻米主要產地受到影響之際，對於西太平洋地區消費稻米爲主的東亞國家來說，糧食安全將受到很大的威脅，因而政府當局該如何做出因應對策，即時調節稻米庫存以確保國內糧食供給無慮，便成爲一個很重要的研究課題。

其次，雖然上述的一些實例顯示若能善用聖嬰現象的預測，做好事前的因應，不但可預防糧食危機，更能增進人類的福祉，但是 1997/98 年的超級聖嬰仍然帶來了極可觀的災害。根據估計全球約 5000 人死亡，總損失超過 100 億美元，各地皆陸續發生糧食不足的問題。根據 FAO 的 Food Outlook 可知，單在 1997 一年就已經造成 31 個國家的糧食供給問題，而到了 1998 年更是增加到 37 個國家。稻米屬熱帶植物，喜好溫暖、濕潤及充足的陽光，聖嬰現象的發生使得各地的雨量、溫度、及日照都會有所改變。在 1997 年聖嬰現象開始時，造成東南亞的乾旱持續一段時間，印尼延後耕種，不但收穫期延後且產量不高外，存糧也急遽下降，故 1998 年必須大量進口以維持國內需求。因此本文以稻米爲主題，從貿易的角度來探討預測聖嬰現象對社會福利之影響及其必要性。

氣候預測的經濟價值在於透過利用預測資訊進行經濟決策後所能增加的社會福利多寡來加以衡量，因此氣象預測的重要性在於所增加的社會福利。以往有關長期性氣候變遷之經濟影響已有不少研究成果，但有關較爲短期性且極端的氣候變化的影響評估則較少見。最近幾年才開始有一些聖嬰預測的研究成果，其結果均顯示準確的預測可以對社會以及農業部門帶來正面的影響，例如：Adams *et al.*（1995）利用 1948-1987 年美國東南部 13 個地區的氣象資料來分析四種農作物的供需，結果發現精確的預測每年約有 1 億 4 千萬美元的價值，而不準確的預測只有 9 千 6 百萬美元的價值。Solow *et al.*（1998）延續上述研究，將範圍括展至美國 54 個地區、10 種作物的估計，並增加氣象變數，以加強氣候面因素的周嚴性，結果精確的預測將產生 3 億 2 千 3 百美元的經濟價值，相較於 Adams（1995）的結果顯然要大得多。而 Mjelde、Penson 和 Nixon 以美國中西部的玉米爲研究對象，發現完全準確的聖嬰預測可以在十年間得到 12 億或 29 億美元的社會福利。

本文的主要結構如下：第二節將分析聖嬰現象對稻米產量的影響，第三節介紹研究方法，即隨機性的世界稻米貿易模型，第四節說明聖嬰現象對稻米貿易結構影響及預測聖嬰現象對社會的潛在貢獻，最後則是結論。

貳、聖嬰對稻米產量的影響

聖嬰現象一詞源於西班牙文 El Niño，意指上帝之子或年幼的基督，因爲在赤道中、東太平洋及秘魯外海，每年年底接近聖誕節時海溫皆會上升，所以南美秘魯及厄瓜多爾一帶的漁民用以稱呼這種現象。然而每隔幾年，海溫就會變得太高，甚至改變氣候型態與生態，造成災害，所以目前「聖嬰」一詞已成爲這種異常現象的代表，而非規律的季節變化（魏及許，1997）。

當聖嬰現象發生時，東太平洋高壓降低，西太平洋低壓也減弱，使得赤道的熱帶東風跟著減弱，於是原來西行的洋流反向東流，逐漸受熱後聚於中、東太平洋，東太平洋因此海溫偏高、海面升高、湧昇流變弱，西太平洋則海溫偏低、海面下降，印度洋及部份大西洋海溫也上升，因此它的影響幾乎是全球性的。由於聖嬰現象發生時，赤道太平洋上方的氣壓場由東高西低變爲西高東低，宛如翹翹板般一上一下，而且又因爲發生在南太平洋，所以稱爲南方振盪（Southern Oscillation）。由於南方振盪與 El niño 有某種程度的關連，所以南方振盪指數（SOI）與海水表面溫度常是聖嬰現象判定的指標，結合聖嬰-南方振盪此一相伴相生之大氣海洋變化現象，稱之爲 ENSO，而國內一般媒體則直接稱作聖嬰現象（魏及許，1997；汪，1998；http://www.ogp.noaa.gov/enso ；http://www.faclty.nthu.edu.tw/~hycheng/）。

過去的資料顯示，聖嬰現象對臺灣的影響雖然不如上述地區劇烈，但對 2、3 月的雨量卻有明顯的影響。雖然同樣受到聖嬰現象影響，春天雨量皆會偏多，但任何兩次聖嬰現象的天氣型態皆不相同：1982 年 2 月的雨量雖然截至目前爲止仍爲最高，但其下雨的型態是持續的、發生對流的頻率較低且氣溫偏冷；而 1998 年卻發生豪大雨、冰雹、龍捲風，顯示對流旺盛，下雨型態是一陣陣的且氣溫偏暖（許，1998）。聖嬰現象發生時，臺灣鄰近海域海水溫度有偏高的趨勢，較暖的海水可提供大氣較多的水汽與能量，臺灣附近的天氣系統也可能因此較爲活躍，發生劇烈對流的機率也比較高；再者赤道太平洋的異常海水溫度所造成的全球大氣環流異動，也可能是造成臺灣 2-3 月多雨的因素之一（許，1998）。此外，根據馬家驎（1998）分析 1950-1990 年臺灣各水資源區之月降雨量的結果，發現聖嬰年通常造成臺灣地區 6 至 8 月降雨量大幅改變、9 至 12 月雨量減少、春雨提早發生（1 至 3 月）且春雨之雨量偏多的情況。

影響稻作生長的氣象條件主要爲氣溫、雨量、及日照，稻作生長所需要的水分通常由降雨及灌溉而來，雖然對於擁有良善灌溉設施的先進國家而言，水分管理成爲影響水稻生長的重要因素，但灌溉用水的來源仍是降雨，因此降雨的多寡、降雨時間的長短、與降雨的時機都成爲影響稻米產量的因素。若在稻作萌芽期氣溫低於攝氏 15 度，則會使稻種萌芽時間增長，而延後插秧期，並使水稻生長落後，導致稻穀收穫量減少；若在抽穗開花時大量降

雨，則可能因爲下雨的天氣伴隨著氣溫的降低，而影響正常的受粉作用，造成結實比例降低（吳，1996）。

由於聖嬰現象造成各地雨量、氣溫等氣候因素的變化，進而影響稻米的產量，因此在估計時，我們設定變數將非氣候因素予以控制，而氣候因素則由殘差項來表示，利用最小平方法，我們的估計式如下：

$$y_t=a+b*Acre(t)+c*Acre^2(t)+d*Year+e(t)$$

式中，y_t代表稻米產量、*Acre*爲種植面積、*Year*爲代表技術變動之時間變數、而e則爲誤差項。上式是根據 Song and Carter（1996）一文而來，Song and Carter 在估計供給函數時，曾以耕種面積爲解釋變數，代表影響產量供給的政策及經濟因素，在該文中政策因素包含有價格支持貸款、價差補貼、與休耕轉作補貼政策，Song 認爲這些政策都會影響到稻農的收益，而在技術不變之下，收益會影響耕種面積，所以將面積視爲隱含政策與經濟面的變數。我們在估計產量時，便以面積變數(*Acre*)來控制政策與經濟因素，以時間趨勢變數(*Year*)來控制技術進步因素，最後未能控制到的部分(e)則是源自不確定的氣候因素。

本研究將全世界劃分爲 22 個區域，每一個區域有 33 年的資料，因此有 22 條估計式，每條估計式會產生 33 個殘差值，再將 33 個殘差值與三種聖嬰現象發生的年份相對應後，分別求出三種氣候狀態(聖嬰年、反聖嬰年、正常年)下殘差值之算術平均數，藉以代表聖嬰現象對各國產量之平均影響。

此外，由於聖嬰現象發生期間可以從九月跨越至第二年的三月，對南、北半球而言，他們產量受到的影響將產生差異：到了九月入秋之後，北半球的稻作種植期陸續結束，此時若發生聖嬰，會一直延續到第二年春天，正值北半球稻米播種期間，因此聖嬰現象對北半球稻作生產的影響將落後一年；南半球則爲相反的情況，受當年度聖嬰的影響。因此在北半球區域，其殘差必須與前一年度聖嬰比對。

表一將爲三種聖嬰造成各國殘差爲正或負的次數佔聖嬰發生總次數的比例分別顯示出來。由於殘差代表的是稻米產量觀察值與平均值的差距，若殘差爲正，表示該年觀察值高於歷年平均值，反之則低於平均值，所以由表一可看出，暖冬對中國、印度、巴西、非洲等國有正面影響的機率較高，暖冬對緬甸、巴基斯坦、菲律賓、北美國家及澳洲則負面影響的機率較高；冷冬則對越南、美國與非洲正面影響的可能性較高，對印尼、北韓、南韓、緬甸、菲律賓、泰國、北美國家、歐洲與澳洲則爲負面機率較高；正常年的情況則較爲平均，除了北韓、菲律賓、歐洲與澳洲仍受正面影響機率較高外，其餘國家並無明顯的分佈。

再者，可由殘差的平均值來瞭解聖嬰對產量影響的幅度，將每一個國家的 3 種聖嬰的殘差值予以平均，若平均殘差爲正，表示平均而言，聖嬰使該國增產，反之使該國減產，茲將產量增（減）加量佔該國平均產量

的百分比列於表二與表三，比例越高，表示　　聖嬰對該國稻米生產的影響越大。

表一、正、負殘差值所佔比例

區　域	暖　冬		冷　冬		正常年	
	+(%)	-(%)	+(%)	-(%)	+(%)	-(%)
孟加拉	56	44	43	57	38	62
中國	67	33	57	43	44	56
臺灣	56	44	57	43	44	56
印度	78	22	43	57	44	56
印尼	44	56	29	71	56	44
日本	56	44	57	43	63	37
北韓	56	44	29	71	69	31
南韓	44	56	14	86	56	44
緬甸	33	67	14	86	63	37
巴基斯坦	22	78	57	43	50	50
菲律賓	22	78	14	86	69	31
泰國	56	44	14	86	63	37
越南	56	44	71	29	44	56
其它亞洲國家	33	67	71	29	44	56
美國	56	44	71	29	56	44
其它北美國家	22	78	29	71	37	63
歐洲	44	56	29	71	69	31
前蘇聯	56	44	57	43	50	50
巴西	78	22	57	43	47	53
其它南美國家	44	56	57	43	65	35
非洲	67	33	71	29	35	65
澳洲	33	67	29	71	71	29

資料來源：本研究計算整理

註：1961-1993 年之間，暖冬共發生 9 次，冷冬 7 次，正常年 13 次。

殘差值所佔比例=（聖嬰年殘差值爲正（負）次數/聖嬰發生次數）*100%

如孟加拉在 9 次的暖冬中，殘差值爲正的次數共有 5 次，故暖冬造成殘差值爲正的比例約爲 56%。

表二、進口國平均產量變動情形 單位：%

	聖嬰現象		
	暖　冬	冷　冬	正常年
孟加拉	1.15	-1.66	0.17
中國	0.99	-0.62	0.11
印尼	-0.69	-1.21	1.25
日本	0.45	-0.99	1.54
北韓	5.20	-15.43	3.72
南韓	1.45	-3.22	1.13
菲律賓	-2.51	-4.79	3.50
其他亞洲國家	-1.20	1.37	-0.25
其他北美國家	-1.74	-3.20	2.28
歐洲	-1.29	-4.75	2.62
前蘇聯	0.50	-0.71	0.58
巴西	2.06	-4.68	1.02
非洲	0.49	-0.56	-0.10

資料來源：本研究結果

表三、出口國平均產量變動情形 單位：%

	聖嬰現象		
	暖　冬	冷　冬	正常年
臺灣	0.24	1.29	-1.02
印度	1.99	-1.19	-1.07
緬甸	-1.39	-5.55	3.06
巴基斯坦	-1.45	0.22	-0.33
泰國	0.19	-3.92	2.06
越南	-1.44	1.46	0.17
美國	-1.68	2.39	-0.05
其他南美國家	1.00	-0.12	-0.68
澳洲	-3.74	0.84	1.38

資料來源：本研究結果

以進口國來說，除了其他亞洲國家及非洲外，正常年的平均殘差值大都爲正，以中國（0.11%）增加的比例最低、北韓（3.72%）及菲律賓（3.50%）最高，表示在非暖冬、非冷冬的年份裡，多數進口國仍維持一定的高產量；相較於正常年，冷冬顯然有較負面的影響，大多數國家的平均殘差爲負，即多數國家因冷冬而減產，產量減少的比例大都高於正常年增產的比例，如北韓冷冬將減產 15.43%，遠高於正常年增產 3.72%，巴西在冷冬減產 4.68%，正常年增產 1.02%，所以冷冬造成進口國家稻米減產的程度相當嚴重；相較於冷冬，暖冬的情況則較爲緩和，以進口國而言，只有東南亞的印尼、菲律賓、其它亞洲國家與北美、歐洲的平均殘差值仍呈現負值，且這些負值並不如冷冬來得大。

以上結果與前文所述之聖嬰（暖冬）會造成熱帶西太平洋發生乾旱有關，因爲乾旱造成印尼與菲律賓稻米減產。至於反聖嬰（冷冬）爲氣候所帶來的衝擊，在現有的資料中未見有詳細討論者，因此我們尚無法驗證爲何冷冬對多數國家所造成的衝擊會大於暖冬，不過稻米本屬於熱帶作物，性喜高溫濕潤，因此較冷的氣候型態，的確較容易降低稻作的產量。

至於出口國則沒有出現較一致的影響，緬甸（-5.55%）與泰國（-3.92%）受冷冬負面影響幅度較大；而印度受暖冬正面的影響，具有相當程度的增產（1.99%），受冷冬負面影響而減產（-1.19%）；越南與美國受暖冬的影響，前者發生乾旱，產稻區的美國加洲及南部則遭洪水肆虐，因此兩國大幅減產，而冷冬卻爲他們帶來相反的結果；澳洲也是因暖冬發生乾旱而大幅減產（-3.74%）。

至於臺灣的部分，在正常年時，臺灣的產量即低於平均量約 1.02%，暖冬與冷冬則分別造成產量高於平均量 0.24%與 1.29%，所以無論是暖冬與冷冬皆不會爲台灣稻米生產帶來太大的影響，即使有也大多是正面的。

參、隨機性貿易模型

生產者或消費者在風險下，當獲得氣候預報資訊時，若採取若干因應對策或調適行爲而獲得利益，此利益即氣候預測之經濟效益。在 Solow *et al.*（1998）與 Chen and McCarl（1997）文中，皆利用貝氏風險決策理論來處理這類問題，貝氏理論中是以機率來顯示風險的概念，我們將貝氏風險決策理論運用於空間均衡模型，因此將考慮不確定性的貿易模型稱爲隨機性的貿易模型。

貝氏風險決策理論假設每個個人或整個產業的決策部門所追求的是淨效益期望值的極大，在空間均衡模型中，則是追求福利或者社會淨報償的極大。令 s 代表三種實際的聖嬰現象、$\rho(s)$爲發生事件 s 的機率、y 代表決策變數，在沒有預測的情況下福利的期望值爲：

$$E\left(w\left(y\right)\right)=\sum_{s} w\left(y|s\right)\rho\left(s\right) \qquad (1)$$

在最適的情況下，追求福利極大將產生最

適的決策選擇 y^*，所以最適的決策與福利皆會隨 $\rho(s)$而變動。

接著考慮有預測的情況，令隨機變數 x 代表三種預測的聖嬰現象，因爲預測並不總是正確，所以產生一個事前的條件機率 $\rho(x|s$ ，其意思是在未來會發生事件 s 的條件下，現在預測爲 x 事件的機率，也就是預測準確度的代表。但未來的事無法獲知，所以透過貝氏定理，把事前機率變爲事後機率：

$$\rho(s|x) = \frac{\rho(x|s)*\rho(s)}{\rho(x)} \qquad (2)$$

式中，$\rho(s|x)$爲事後機率，意思是在預測爲事件 x 的條件下，結果發生 s 的機率。若決策者在種植前相信預測的結果，則事後機率即代表實際發生的機率。預測事件 x 的機率可由下式表示：

$$\rho(x) = \sum_s \rho(x|s)*\rho(s) \qquad (3)$$

綜合(1)式到(3)式，則在條件機率下的期望福利變爲：

$$E(w(y|x)) = \sum_s w(y|s)*\rho(s|x) \qquad (4)$$

在追求福利期望值極大下，最適決策將受到事後機率的影響。

綜合上述，在沒有預測時，最適決策與福利受長期以來 s 發生機率的影響：

$$EW_1(y) = \sum_s W_1(y^*|s)*\rho(s) \qquad (5)$$

而有預測時，最適決策與福利則受事後機率及預測本身的影響，在條件機率下，期望福利爲：

$$EW_2(y^*|x) = \sum_s W_2(y^*(x|s))*\rho(s|x) \qquad (6)$$

最後去除預測條件 x，以涵蓋所有可能的預測，則上式成爲：

$$TEW_2 = \sum_x \left(\rho(x)*\sum_s W_2(y^*(x|s))*\rho(s|x) \right) \qquad (7)$$

若預測完全準確，則 TEW_2 將與 $EW_2(y^*|x)$ 相同，因此當預測完全準確時，預測的經濟價值爲 $EW_2 - EW_1$，當預測本身即具有不確定性時，預測的經濟價值爲 TEW_2-EW_1。

依上述的貝氏風險決策定理及預測完全正確之假設下，我們將稻米貿易模型設定如下(式 8)：

式中，$\rho(s)$代表不同聖嬰現象的事後機率，s 則代表三種不同的聖嬰現象：即暖冬、冷冬、及正常年；t_{ij} 則爲單位商品的運輸成本；SQ_{is} 及 SQ_{js} 則分別爲出口國與進口國因聖嬰所導致的產量變動，若爲正即增產，若爲負即減產。X_{ij} 爲由出口國 i 至進口國 j 的貿易量、M_j 爲進口國 j 的總進口量、E_i 爲出口國 i 的總出口量式中，A_{ij} 爲出口國 i 的猜測變量，B_{ij} 爲進口國 j 的猜測變量。

$$
\begin{aligned}
Max \quad & \sum_s \sum_i \sum_j \rho(s)\left(a_j - \frac{1}{2} b_j \sum_i X_{ijs}\right) X_{ijs} - \sum_s \sum_i \sum_j \rho(s)\left(c_i + \frac{1}{2} d_i \sum_j X_{ijs}\right) X_{ijs} \\
& - \sum_s \sum_i \sum_j \rho(s) * \frac{1}{2} b_j X_{ijs}^2 \left(1 + A_{ij}\right) - \sum_s \sum_i \sum_j \rho(s) * \frac{1}{2} d_j X_{ijs}^2 \left(1 + B_{ij}\right) \\
& - \sum_s \sum_i \sum_j \rho(s) * t_{ij} X_{ijs} \\
st. \quad & - \sum_i X_{ijs} + M_{js} + SQ_{js} \le 0 \\
& \sum_j X_{ijs} - E_{is} + SQ_{is} \le 0 \\
& X_{ijs}, E_{is}, M_{js} \ge 0
\end{aligned} \tag{8}
$$

肆、聖嬰預測之影響

爲了解預測聖嬰現象會對稻米貿易市場產生何種影響，本研究將針對隨機貿易模型進行兩種模擬：第一種是在沒有預測的情況下，針對聖嬰、反聖嬰與正常年三種情況，分別求解模型，由於不含預測的部分，所以不考慮機率問題，旨在探討三種聖嬰本身所造成的影響，故 $\rho(s)$值爲1。第二種是在完全預測的情況下，以事後機率進行模型求解，所以 $\rho(s)$即爲事後機率。從 1961 年至 1993 年這 33 年來，聖嬰與反聖嬰分別發生了 9 次與 7 次，因此在預測完全準確時時，可假設聖嬰、反聖嬰、與正常年的發生機率分別爲 9/33、7/33、與 17/33。

一、沒有預測的情況

表四與表五比較有無預測的假設下，三種氣候狀態下進口國的進口量及出口國的出口量。在正常年時，世界總貿易量約爲 1 千 9 百多萬公噸，主要的進口國爲印尼、其他亞洲國家、與歐洲；主要的出口國則爲印度，出口量佔世界出口量之46%，其次爲越南（17%）與美國（15%）。

在聖嬰年，世界總貿易量降至 1 千 8 百多萬公噸，比正常年少了 9%。主要的進口國爲印尼（20%）與其他亞洲國家（36%），兩者所佔進口比例，比正常年稍高，表示這兩個主要進口國會因爲暖冬而需要進口比平常更多的稻米，而歐洲（6%）則比正常年下降許多。至於主要出口國爲印度（29%）與泰國（33%），印度出口所佔比例較正常年爲低，泰國反而比正常年高出 30%左右，巴基斯坦也較正常年升高（由 1%升高至 11%），越南則明顯降低（由 17%降至 1%），表示聖嬰發生時，進出口結構已發生改變。

當反聖嬰發生時，由於各進口國減產情形相當嚴重，世界總進口量高達 3 千 4

百萬公噸，比正常年及聖嬰年高出許多。此外反聖嬰時，各進口國進口的比重較爲平均，主要的進口國爲歐洲（19%）、其他亞洲國家（16%）、與菲律賓（15%），至於印尼則降爲 13%，較正常年及暖冬均少，非洲則因冷冬而大增爲 12%；而出口國方面，主要出口國仍爲印度（27%）與泰國（30%），而美國（17%）也佔有一定比重。

表四、進口國之均衡總進口量　　單位：公噸、%

	未做預測模型			完全準確預測隨機模型		
	暖　冬	冷　冬	正常年	暖　冬（預測暖冬）	冷　冬（預測冷冬）	正常年（預測正常年
孟加拉	908930 (5.05)	831625 (2.45)	364023 (1.83)	162612 (0.62)	539324 (1.80)	128700 (0.28)
中國	1784101 (9.91)	2584465 (7.61)	1546183 (7.78)	1836805 (6.96)	2205505 (7.35)	1836805 (3.98)
印尼	3530295 (19.61)	4330658 (12.74)	3083797 (15.52)	3129654 (11.87)	3892551 (12.98)	3129654 (6.78)
日本	… (0.00)	183352 (0.54)	… (0.00)	155089 (0.59)	17875 (0.06)	183352 (0.40)
北韓	731168 (4.06)	653869 (1.92)	210876 (1.06)	563307 (2.14)	563307 (1.88)	563307 (1.22)
南韓	… (0.00)	4025 (0.01)	… (0.00)	638 (0.00)	6379 (0.02)	638 (0.00)
菲律賓	294351 (1.63)	4936125 (14.53)	29435 (0.15)	4663555 (17.68)	6223701 (20.75)	345655 (0.75)
其他亞洲國家	6455348 (35.85)	5377533 (15.83)	6973826 (35.10)	6571430 (24.91)	6107456 (20.36)	5922360 (12.84)
其他北美國家	1569572 (8.72)	2369922 (6.97)	401621 (2.02)	1604477 (6.08)	1615325 (5.39)	1604477 (3.48)
歐洲	1096098 (6.09)	6576322 (19.35)	6576322 (33.10)	1974453 (7.49)	1893812 (6.31)	2845225 (6.17)
前蘇聯	262513 (1.46)	1103608 (3.25)	29638 (0.15)	750414 (2.85)	696884 (2.32)	23385387 (50.69)
巴西	957075 (5.32)	879778 (2.59)	240379 (1.21)	971289 (3.68)	1705500 (5.69)	2194838 (4.76)
非洲	414829 (2.30)	4148309 (12.21)	414829 (2.09)	3992383 (15.14)	4524480 (15.09)	3992383 (8.65)
合計	18004280 (100.00)	33979591 (100.00)	19870974 (100.00)	26376106 (100.00)	29992099 (100.00)	46132781 (100.00)

資料來源：本研究結果

註：括弧內數值爲該國進口量佔世界總進口量之百分比

表五、出口國之均衡總出口量　　單位：公噸、%

	未做預測模型			完全準確預測隨機模型		
	暖冬	冷冬	正常年	暖冬（預測暖冬）	冷冬（預測冷冬）	正常年（預測正常年）
臺灣	185688	18569	73113	205949	205949	205949
	(0.99)	(0.11)	(0.37)	(0.46)	(0.51)	(0.38)
印度	5512302	4711981	9216310	24200164	15894231	32432207
	(29.40)	(26.84)	(46.38)	(53.53)	(39.40)	(59.32)
緬甸	391591	…	994753	418315	2687747	418315
	(2.09)	(0.00)	(5.01)	(0.93)	(6.66)	(0.77)
巴基斯坦	1996539	1929503	185220	1940767	2188223	2002300
	(10.65)	(10.99)	(0.93)	(4.29)	(5.42)	(3.66)
泰國	6197922	5337280	619792	8976765	9723329	8976765
	(33.06)	(30.40)	(3.12)	(19.86)	(24.10)	(16.42)
越南	229720	1496859	3447047	3036594	2990054	4927360
	(1.23)	(8.53)	(17.35)	(6.72)	(7.41)	(9.01)
美國	2859271	2936573	3027500	4211890	4719605	4211890
	(15.25)	(16.73)	(15.24)	(9.32)	(11.70)	(7.70)
其他南美國家	865881	865872	1847950	1774116	1499647	1015453
	(4.62)	(4.93)	(9.30)	(3.92)	(3.72)	(1.86)
澳洲	510850	260581	459297	443947	429768	486358
	(2.72)	(1.48)	(2.31)	(0.98)	(1.07)	(0.89)
合計	18749764	17557218	19870982	45208507	40338553	54676597
	(100.00)	(100.00)	(100.00)	(100.00)	(100.00)	(100.00)

資料來源：本研究結果

註：括弧內數值爲該國出口量佔世界總出口量之百分比

表六、社會淨報償　　單位：百萬美元

	沒有預測模型			準確預測隨機模型
	暖冬	冷冬	正常年	
社會淨報償	10587	33835	21141	33344

資料來源：本研究結果

二、準確預測的情況

表四與五也列出在準確預測下之貿易結構。在聖嬰年，世界總進口量降至 2 千 6 百萬公噸，較正常年下降 43%，此時的主要進口國爲其他亞洲國家（25%），其

次爲印尼（12%）、菲律賓（18%）、與非洲（15%）；主要出口國則依然是印度（54%）與泰國（20%），變動不大。

反聖嬰年世界總進口量約爲 3 千萬公噸，較正常年下降 35%，此時的主要進口國爲菲律賓（21%）與其他亞洲國家（20%），其次爲非洲（15%）與印尼（13%），菲律賓與印尼在冷冬所佔進口比重較暖冬稍高，而前蘇聯仍只佔 2%，比正常年少許多；至於主要的出口國仍然是印度（39%）與泰國（24%），然而印度在反聖嬰年所佔的比重較正常年與聖嬰年爲低，泰國則較高，其餘出口國變動不大。

綜合以上所述，在完全準確預測之下，暖冬與冷冬皆會使貿易量下降。在貿易量變化的同時，貿易結構也有所改變，正常年的主要進口國—前蘇聯，在聖嬰年的進口量大減，反而是印尼、菲律賓、與非洲等國的進口比重增加，反聖嬰年貿易結構與聖嬰年的情況相同，沒有太大差異。

三、準確預測的潛在經濟價值

根據 Adams *et al.*（1995）、Chen and McCarl（1997, 1999）、Solow *et al.*（1998）的說法，所謂預測的經濟價值，即代表預測前後福利的變化，如表六 1 所列。未預測模型中，暖冬、冷冬、與正常年的社會總報償分別爲 105 億美元、338 億美元、與 211 億美元，而在準確預測下，社會總報償爲 333 億美元。因此對稻米而言，發生暖冬時，準確預測的潛在價值約有 228 億美元；發生冷冬時，準確預測反而會產生 5 億美元的損失。

伍、結　論

聖嬰現象造成全球氣候發生異常變化，已對農業生產造成衝擊，而全世界約有 110 個國家在生產稻米，有一半以上的世界人口以稻米爲主要的熱量供給來源，稻米對人類的重要性可見一般，倘若聖嬰現象爲稻作生產帶來衝擊，則糧食安全的問題將令人擔憂。

鑑於聖嬰現象所造成的氣候變化是全球性的，並不侷限於某一區域，因此以世界稻米貿易市場的觀點來討論聖嬰效應，要比侷限於單國市場更能充分反應聖嬰的影響。本研究的主要目的在於以稻米貿易市場爲例，建立一個隨機貿易模型，分析聖嬰對稻米貿易的影響，並進一步探討聖嬰預測所能帶來的經濟價值。

初步發現聖嬰對近赤道之西太平洋地區（如印尼、菲律賓、越南、澳洲）、歐洲與北美的稻米產量有負面影響；對主要出口國印度則有正面影響。反聖嬰對進口國稻米產量的影響普遍爲負面，且減產幅度相當大；對主要出口國印度與泰國的影響爲負面，美國則爲正面。發生聖嬰時，準確預測的潛在價值約有 228 億美元；發生反聖嬰時，準確預測反而會產生 5 億美元的損失。

陸、參考文獻

汪中和。1998。「談聖嬰現象」。中央研究院週報。677：7-10。

唐存勇。1998。「聖嬰與海洋」。行政院國科會主辦之聖嬰現象-福？禍？研討會。

台北，8 月。

吳慧瑛。1996。「溫室效應對稻米產量影響之跨國分析」。臺北：中央研究院經濟研究所。

許晃雄。1998。「冰雹、聖嬰現象與氣候變遷」。全球變遷通訊雜誌 17：28-29。

馬家驎。1998。「聖嬰現象對台灣地區雨量之影響」。台北，經濟部水資源局。

魏國彥、許晃雄。1997。「全球環境變遷導論」，臺北：臺灣大學全球變遷中心。

Adams, R. M., K. J. Bryant, B. A. McCarl, D. M. Legler, J. J. O'Brien, A. R. Solow and R. Weiher. 1995. "Value of Improved Long-Range Weather Information." Contemporary Economic Policy 13: 10-19.

Chen, C.-C. and B. A., McCarl. 1998. "Spatial Equilibrium Trade Model in Imperfect Competitive Markets." Working paper, Department of Agricultural Economics, Texas A&M University.

----------. 1999. "The Value of ENSO Forecasts to U.S. and International Agriculture: An Integrated Sector and Trade Analysis." Working paper, Department of Agricultural Economics, Texas A&M University.

Lagos, P. 1992. and J. Buizer. "El Nino and Peru: A Nation's Response to International Climate Variability." Natural and Technological Disasters: Causes, Effects and Preventative Measures. S.K. Majumdar, G.S. Forbes, E.W. Miller, and R.F. Schmaltz, eds., pp. 223-238. Easton PA: Pennsylvania Academy of Science.

Mjelde J. W., H. S. J., Hill and J. F. Griffiths. 1988. "A Review of Current Evidence on Climate Forecasts and Their Economic Effects in Agriculture." American Journal of Agricultural Economics 80: 1089-1095.

Mjelde J. W., J. B., Penson and C. J. Nixon. 1997. "Dynamic Aspects of the Impact of the Use of Improved Climate Forecasts in the Corn Belt Region." Final Report, Office of Global Programs, National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington DC.

Solow, A. R., R. M. Adams, K. J. Bryant, D. M. Legler, J. J. O'Brien, B. A. McCarl and W.I. Nayda. 1998. "The Value of Improved ENSO Prediction to U.S. Agriculture." Climatic Change 39: 47-60.

Song, J. H. and C.A. Carter. 1996. "Rice Trade Liberalization and Implications for U.S. Policy." American Journal of Agricultural Economics 78: 891-905.

Chapter 3 The Potential Economic Values of Climate Forecast to Taiwan's Agriculture - The Case of ENSO Forecast on Rice Sector

Ching-Cheng Chang[1,3], Chi-Chung Chen[2], and Chin-Wen Yang[3]

[1]Institute of Economics, Academia Sinica

[2] Department of Agricultural Economics, National Chung Hsing University

[3]Department of Agricultural Economics, National Taiwan University

ABSTRACT

Weather anomalies frequently cause significant damages to agricultural production and revenue losses for farmers. Therefore, the accuracy and dissemination of weather forecast are very important to farmers' decision making. El Niño (also known as the ENSO) is a change in the ocean-atmosphere system in the Eastern Pacific Ocean which contributes to significant weather changes around the world. Among these changes are increased rainfall across the southern region of the U.S. and in Peru and severe drought in the West Pacific, affecting Australia, Indonesia, and their neighboring countries. Production, consumption, exports, imports and welfare around the world change as crop yields are influenced by ENSO phases. The purpose of the present study is to investigate the value of improved ENSO forecasts to rice producers and consumers around the world. Preliminary results show that most of the west pacific region, Europe and North America are likely to receive negative impacts from the warm event. The production impacts on the exporting countries are more diversified-positive during the warm episode but negative during the cold. The potential economic value of ENSO forecast during the warm event is about 22.8 billion US dollars, but negative during the cold event.

Key words: Weather forecast, El Niño, Agriculture, Rice production.