

台灣地區鯖鱈圍網漁獲之年際變化 及相關氣候變化特性

蔡清彥¹ 陳昭銘² 孫金華³

¹ 行政院科技顧問組

² 中央氣象局科技中心

³ 國立台灣海洋大學應用經濟研究所

(中華民國九十年十月二十二日收稿；中華民國九十年十一月十六日定稿)

摘 要

本文研究台灣地區鯖鱈圍網漁獲之年際變化及相關大氣-海洋系統之氣候變化特性，鯖鱈圍網漁獲於每年 9 月到次年 1 月達到盛產期，此時主要漁區位於台灣東北海域(121°E-125°E, 25°N-27°N)。本文以 9 月-1 月之平均每網次漁獲量(CPUE, catch per unit effort)為分析對象，該漁獲量於 1982-98 年之年際變化與台灣-日本間長方形海域(122°E-130°E, 22°N-34°N)之海溫變化具有高度關聯性，將此海域依台灣-日本二地聯線(122°E, 25°N 聯到 130°E, 32°N)劃分為西北、東南二區，當西北海域偏暖、東南海域偏冷或西北海域較東南海域偏暖時，有利於漁獲增加，反之當海溫南北對比為相反狀態時，則漁獲傾向減少。若取此二海域海溫區域平均值之溫差(西北-東南)，該海溫溫差值與 CPUE 二者時間序列之相關係數高達 0.5，顯現此溫差值可供做為診斷漁獲變化之參考指標。

於與漁獲變化相關之台灣-日本間海域，其海洋-大氣系統變化主要係由海洋主導，以多產年為例，當北方海域偏暖、南方海域偏冷時，北方暖洋面促進水汽向上蒸發，增加潛熱通量向上傳送進入大氣，大氣系統對應形成低壓、輻合距平中心，而南方偏冷洋域則形成高壓、輻散距平中心。在此南北分佈狀態下，風場與輻散風距平均由南向北吹，不僅降低北區冬季東北季風強度，亦將熱帶水汽往北傳送，讓北方海域之大氣總含水量增加，藉由輻合距平之舉升機制，降水量亦隨之增加，而水汽遞出之南方海域則是二者皆減少。

台灣-日本間海域冬季海溫距平北暖南冷為漁獲多產年之主要變化特徵，由於海溫變化具有緩慢持續性，此變化特徵於該年春季與夏季即可發覺，因此可適當應用海溫南北變化特徵做為預報漁獲變化之可能因子。

關鍵詞：鯖鱈圍網漁獲、年際變化、氣候變化

一、前言

大氣-海洋系統顯著變化所導致之異常氣候，常會引發洪水或乾旱，不僅對生態環境造成巨大衝擊，亦常導致人命、財產的明顯損失。例如 1982-83 年之聖嬰現象，其相關災害便造成全球二千餘人及八十餘億美元的經濟損失，而 1997-98 年有史以來最強之聖嬰現象，不僅讓 1998 年成為有史以來最熱的一年，另外該年單單中國長江流域大洪水，經濟損失估計高達新台幣數兆元，遠遠逾越 1982-83 聖嬰年全球估計之損失規模(許，1998)。近年來，氣象及海洋學家對大氣與海洋的觀測技術與其相互關係的瞭解均有顯著進展，使得短期氣候預報及預報的可用度大幅提升。雖然目前短期氣候預報技術，最可靠的預報能力係建立在「聖嬰現象」預報基礎上。我們知道在季節至年際時間尺度範圍內的短期氣候變化，常直接衝擊農業、漁業、水資源規劃、能源規劃及商品運輸規劃等重要經濟活動，因此「經濟效益」一詞常如影隨形的和「短期氣候預報」一同被提出來討論。有鑑於氣候異常變化對社會經濟的明顯衝擊，研究氣候變化現象，已不再是單純的學術議題，如何將氣候相關研究轉化為產經社會方面有效資訊，已是逐漸受到重視的課題。

在海洋方面，受其變化直接衝擊之產業當屬漁業，由於當今觀測海洋變化多以海水表面溫度(sea surface temperature, SST)為分析對象，因此研究 SST 變化對漁獲之影響便吸引相當多的研究興趣。就北太平洋海域而言，其冬季 SST 自 1950 迄今呈現明顯的十年際變化(decadal oscillation)(e.g., Graham, 1994; Trenberth and Hurrell, 1994)，此 SST 變化連帶影響太平洋沿岸漁獲呈現對應之十年際變化，例如當北太平

洋中緯度區 SST 十年際變化分量為正距平時(1960-1970 年代)，阿拉斯加鮭魚漁獲與台灣地區鯖鱈圍網(Mackerel Purse Seine)漁獲均為相對低量產值，但美國本土西岸鮭魚漁獲則為相對高量產值(Francis and Sibley, 1991; Beamish and Boullion, 1993; Mantua et al., 1997; 呂, 1999)。當上述 SST 距平轉為負值時(1980-1990 年代)，各區之漁獲也均呈現相反的變化。除了太平洋 SST 十年際變化之外，聖嬰現象亦被發現與台灣鯖鱈圍網漁獲具有相關性，陳(2000)指出當東太平洋熱帶 SST 變暖後的十四個月，台灣地區鯖鱈圍網漁獲之月平均每網次漁獲量轉為下降。

從上述過去研究可看出台灣地區鯖鱈圍網漁獲與 SST 變化具有某種關聯性，但此關聯性之特性與細節若能進一步釐定，便可提供產業界更具參考價值之資訊。本文嘗試利用大氣-海洋系統之氣候變化特性來了解其與台灣地區鯖鱈圍網漁獲年際變化間之關係。主要目的，即是以台灣地區鯖鱈圍網漁獲為分析對象，進一步研究影響該漁獲之 SST 年際變化特性，並探討海洋-大氣交互作用與 SST 變化關係，藉此尋找可供預報漁獲變化之參考因子。

本文之內容概述如下：第二節介紹本文分析所用之資料，第三節概述台灣地區鯖鱈圍網漁業之特性。第四節分析台灣地區鯖鱈圍網漁獲與 SST 變化之關係，第五、六節分別探討與 SST 變化相關之海洋-大氣交互作用與大氣變化特性，第七節則對預報漁獲年際變化之可能預報方法進行研究，第八節為結論。

二、分析資料

本文所分析之資料計有下列三組，第一組

為海洋大學漁業經濟系收集整理之台灣地區鯖鱈圍網漁獲資料(孫, 1998, 1999; 陳, 2000), 涵蓋區間為 1982 年 4 月-1999 年 3 月, 由於鯖鱈圍網為船團作業, 在過去二十年間, 台灣地區之鯖鱈圍網船團數自一組增加到八組, 因此若直接比較各年之總漁獲量, 因作業船團數量不同, 比較基準失之客觀, 變通方法則是以月為單位, 將該月總漁獲量除以總下網次數, 算出月平均每網次漁獲量(catch per unit effort, CPUE), 便可利用此數值進行比較與分析。

第二組分析資料為 SST 場, 本文使用美國國家環境預報中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP)之最佳內插場資料(Reynolds and Smith, 1994), 該資料乃結合實地觀測資料與衛星反演資料而成, 為解析度 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 之全球網格點資料。

第三組資料為 NCEP/NCAR(National Center for Atmospheric Research)重分析全球網格點資料(Kalnay et al., 1996), 本文將藉由此資料所提供之大氣場資訊, 綜合上述 SST 資料, 探討海洋-大氣交互作用過程。

三、台灣地區之鯖鱈圍網漁業

鯖魚、鱈魚均屬表層魚類, 與鮪魚之生產量合計約佔表層魚類之 50%或世界漁業總量之 15%, 除可供人類食用, 亦可作為餌料, 為主要漁業資源。鯖鱈魚屬沿岸性洄游魚類, 每年南北洄游於日本、台灣、菲律賓間海域, 隨著鯖鱈魚之洄游, 台灣漁船主要作業漁區亦隨之改變, 每年 6 月到隔年 1 月, 作業漁區幾乎集中在台灣東北海域(約在 $121^{\circ}\text{E}-125^{\circ}\text{E}, 25^{\circ}\text{N}-27^{\circ}\text{N}$ 範圍), 但在 2 月到 5 月, 船團除了在東北海域作業外, 台灣西南海域亦普見船團作業(約在

$115^{\circ}\text{E}-120^{\circ}\text{E}, 21^{\circ}\text{N}-23^{\circ}\text{N}$ 範圍), 且東北、西南兩海域之作業比重約略相當。鯖鱈魚之洄游易受到海況複雜變化所影響, 例如水溫、鹽分、營養鹽含量、浮游生物相等因素, 其中似以水溫之影響最為明顯(唐與周, 1990)。有關台灣地區鯖鱈圍網漁業之細節, 可參考孫(1998, 1999)、陳(2000) 與 Sun and Chen (2000)。

就台灣鯖鱈圍網漁獲變化而言, 其月平均每網次漁獲量(CPUE)於 1982 年 4 月到 1999 年 3 月之時間序列(圖 1a)顯示逐年 CPUE 具有明顯差異, 而在同一年內, CPUE 值亦具有季節性變化。為了進一步了解 CPUE 值之變化特性, 我們計算每月 CPUE 值於 1982-99 年之長期平均值, 該值所呈現之季節演變情形(圖 1b)透露 CPUE 平均值於 2-4 月處於低量產期, 量值約在 20-25 公噸之間, 5-8 月略有增加, 平均在 30 公噸左右, 而於 9 月到隔年 1 月達到高量產期, 達到 40-45 公噸之間。9-1 月主要漁獲期其量產約比 2-4 月高出一倍, 也比 5-8 月多出 1/3, 陳等(1978), 王(1981)解釋於每年秋、冬季時, 北方冷水團向南移動, 迫使東海之鯖鱈魚群向南移動到台灣東北海域避冬, 促使台灣地區之鯖鱈圍網漁獲增加, 也造就台灣東北海域於秋、冬季成為鯖鱈魚之主要漁場。

由於 9 月-1 月為主要漁獲期, 本文遂以每年 9 月到次年 1 月之平均 CPUE 值為參考量來比較台灣地區鯖鱈圍網漁獲之年際變化, 應用此做法之主要考量有二: 一為此數值某種程度可反應該年總漁獲量, 比較其年際變化較具代表性; 二為此時期漁獲均集中來自台灣東北海域, 且該區域具有顯著氣候特性, 如東北季風, 這些條件均有助於討論該區漁獲量與海洋-大氣系統變化特性之空間關係。圖 1c 所示為 9 月-1 月平均 CPUE 值於 1982-98 年之時間序列,

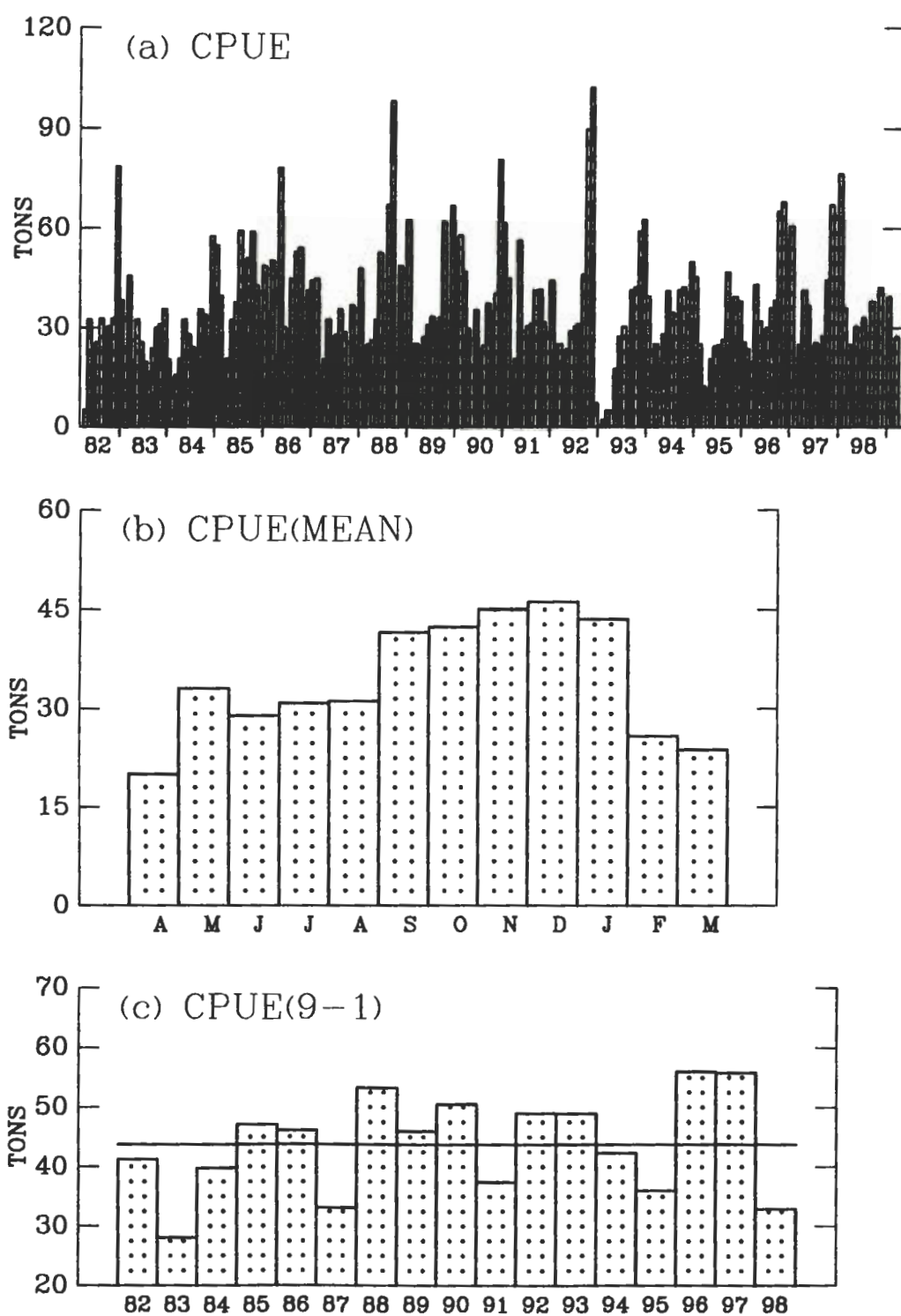


圖 1 台灣地區鯖鱈圍網漁獲之月平均每網次漁獲量(catch per unit effort, CPUE)時間序列：(a)1982年4月到1999年3月之逐月 CPUE 值，(b)每月 CPUE 值於 1982-99 年間之長期平均值，(c)每年 9 月到次年 1 月之平均 CPUE 值於 1982-98 年間之年際變化。

(此處 1982 年係代表 1982 年 9 月到 1983 年 1 月之平均值，餘類推)，此序列總平均值為 44 公噸，標準差(standard deviation)為 8.1 公噸，本文選取 1 個標準差為參考值，凡該年之 CPUE 值較總平均值高出 1 個標準差者，定義為多產年，低於 1 個標準差者為少產年，依此定義，多產年計有 1988、1990、1996、1997 等四年，少產年計有 1983、1987、1995、1998 等四年。此處四個少產年時間，恰好均落後主要聖嬰現象成熟期(即 1982/83、1986/87、1994/95、1997/98 冬季，參閱 Trenberth, 1997)一年左右，此結果與陳(2000)所提台灣鯖鱈圍網之 CPUE 在聖嬰現象後十四個月呈現下降現象之相關特性互相呼應。

四、SST 之相關變化特性

分析台灣鯖鱈圍網漁獲之年際變化特性後，本節將探討該漁獲變化與台灣附近海域 SST 變化之空間關係。我們首先取 1982-98 年每年 9 月到隔年 1 月之 SST 平均場，再以圖 1c 之 CPUE 時間序列為指標，計算該時間序列與 1982-98 年 9-1 月 SST 平均場之即時相關係數。圖 2 相關係數空間分佈圖顯示與台灣鯖鱈圍網漁獲變化關係較密切之 SST 變化集中於中國大陸東岸沿海與西北太平洋海域，亦即位於台灣與日本之間海域，此海域一來涵蓋台灣東北海域主要漁場，二來亦涵蓋鯖鱈魚 9-1 月由日本向南迴游到台灣東北漁場的路徑，因此台灣-日本間海域之海況(如 SST)變化應對台灣冬季鯖鱈漁獲量有明顯影響。為方便後續討論，我們於台灣-日本間取一長方形海域(122°E-130°E, 22°N-34°N，如圖 2 方框所示)，藉此可清楚看出，方框內之西北區域多為正相關係數，東南區域多為負相

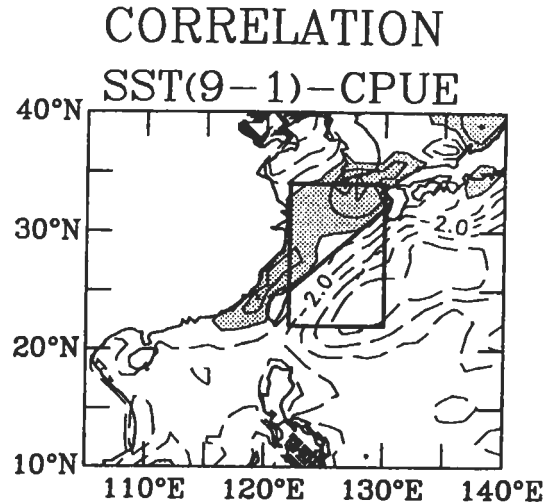


圖 2 以 1982-98 年每年 9 月到次年 1 月之平均 CPUE 值為指標，與同時間 SST 場之相關係數分佈圖，等值線間距 0.1，陰影區表示正值。

關係數，此正負相關係數區域約可由台灣與日本間之聯線劃分(如圖 2 方框內之斜線)，此線之南端點為 122°E, 25°N，台灣東北方主要鯖鱈圍網漁場即位於此斜線與方框交接之處，北端點位於 130°E, 32°N，該聯線位置大致落於鯖鱈魚每年於台灣-日本間南北迴游路徑上。圖 2 之相關係數結果顯示，當台灣-日本間海域之北方洋面偏暖、南方洋面偏冷或北方洋面較南方洋面偏暖時，台灣地區之鯖鱈圍網漁獲有增加之趨勢。

相關係數所歸納之空間關係為一般通性，是否適用於個別案例，尚待檢驗。本文接著分別檢視多產年及少產年各個別年之 SST 變化特性，如圖 3 左欄所示，於 1983、1987、1995、1998 等四個少產年，台灣-日本間海域(如圖中方框所示範圍)之海溫變化呈現東南海域偏暖、西北海域偏冷，或東南海域比西北海域偏暖程度為大。多產年時，如圖 3 右欄所示，其 SST 變化呈現

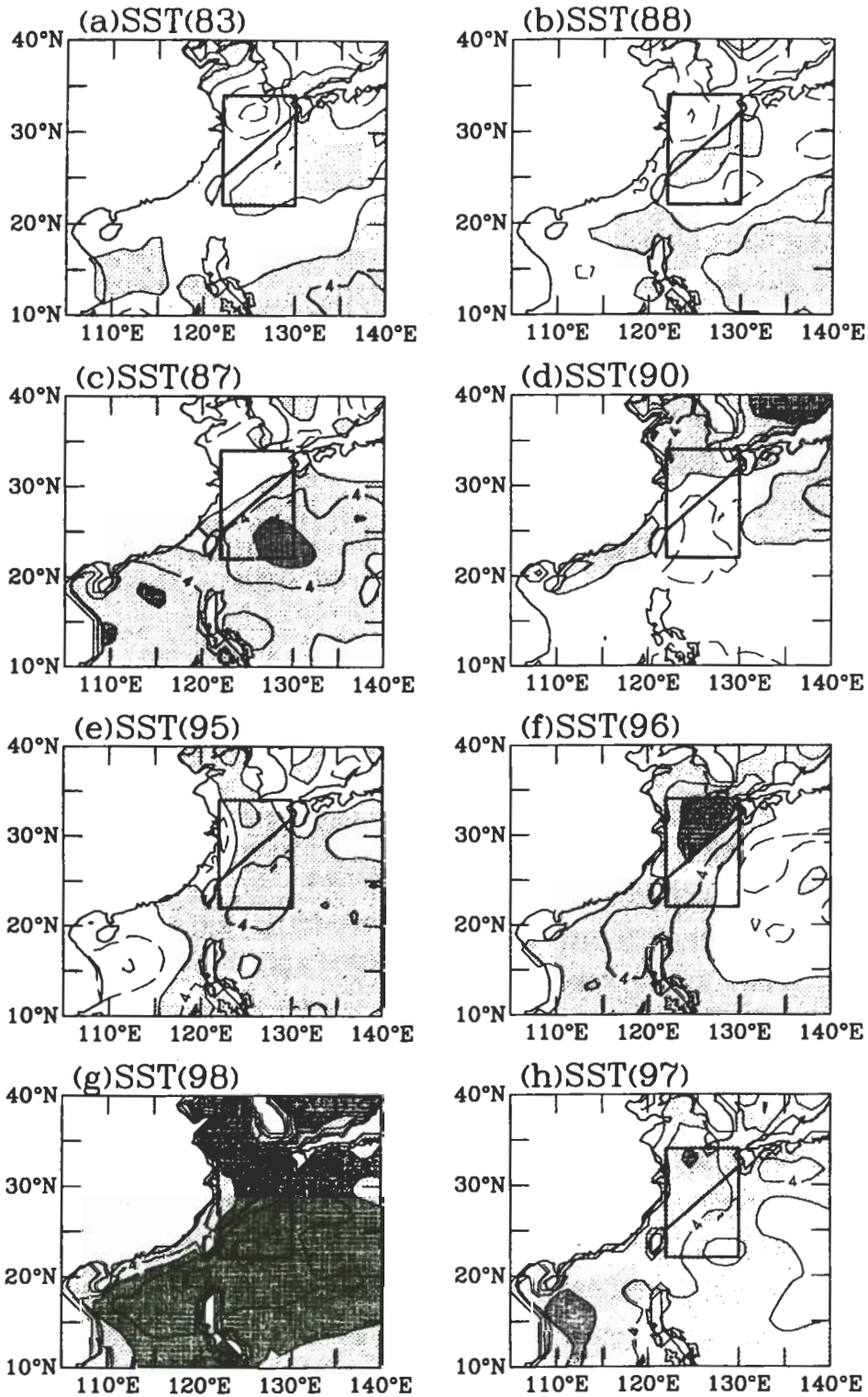


圖 3 對應鯖鱉網漁獲少產年(1983、1987、1995、1998)與多產年(1988、1990、1996、1997)之各年 SST 距平均分佈圖，此處 SST 係 9 月-1 月之平均場，等值線間距為 0.4°C。淺陰影區為 0°C-0.8°C，深陰影區大於 0.8°C。

西北海域偏暖、東南海域偏冷，或西北海域比東南海域偏暖程度為大，1990、1996、1997 均屬此類型，唯一例外者為 1988 年。綜合上述 SST 距平圖，有利台灣鯖鱈圍網漁獲之海溫變化通性為台灣-日本間海域其西北區域之增溫較東南區域為高，相反情形，則不利漁獲，此結果與相關係數之分析結果一致。由於在八個分析個案中有七個適用此南北海溫差對比的通性，也顯示此通性應非特例，而是具有普遍之代表性。

多產年和少產年之相關海溫變化特性，可用合成分析(composite analysis)法進一步歸納，我們取 1983、1987、1995、1998 四年代表少產年，1990、1996、1997 三年代表多產年，1988 年並未納入多產年的合成分析中，主要是考慮到影響漁獲變化的因素甚多，例如每年漁種資源總量變化，其他國家捕魚總量變化等，均可能影響台灣漁獲量，由於本文研究範疇著眼於討論 SST 變化特性與漁獲變化的關聯性，1988 年由於其 SST 空間分佈特性異於其他三個多產年，隱喻其多產是由 SST 以外之因素所促成，故不適合納入本文以 SST 變化為討論對象之合成分析中。合成分析結果顯示在多產年時(圖 4a)，SST 距平之增暖以台灣東北方海域為中心，向北延伸，而冷 SST 距平則是以台灣東側之西北太平洋海域為中心，SST 距平於台灣-日本間海域呈現北暖南冷的分佈特性。少產年(圖 4b)分佈特性則是與多產年約略相反，暖 SST 距平中心位於台灣東側海域，並向東、向北延伸。若取多產年與少產年差值之 1/2(圖 4c)，便可比較多產年相對少產年之分佈特性，此時台灣-日本間海域 SST 變化呈現明顯南北對比，反應當北方海域海溫增暖、南方海域海溫趨冷時，便提供有利台灣鯖鱈漁獲增加之條件。圖 4c 之空

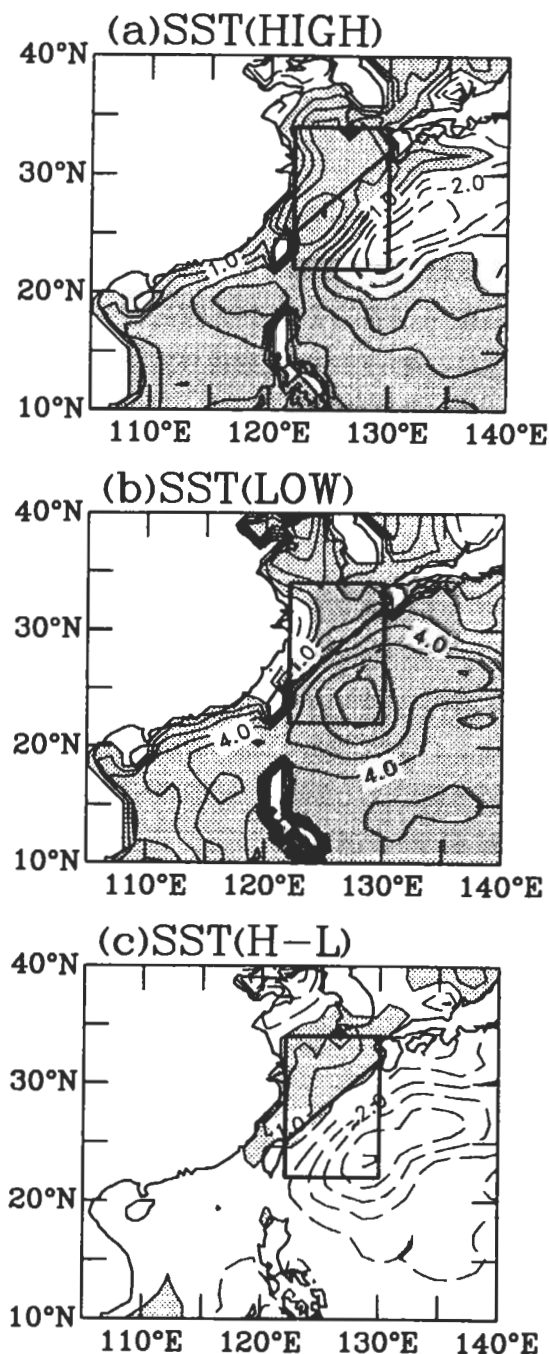


圖 4 9 月-1 月 SST 平均場之合成分析：(a)多產年(1990、1996、1997 三年合成)，(b)少產年(1983、1987、1995、1998 四年合成)，(c)多產年合成與少產年合成之差異 $[(多產年-少產年)/2]$ ，等值線間距均為 0.1°C ，陰影區表示正值。

間分佈與圖 2 相關係數分佈圖相當類似，顯示合成分析所使用之個案具有充分代表性，可適當反應與台灣鯖鱈圍網漁獲變化關係密切之 SST 變化特性。

對海溫變化之研究，除了空間分佈特性外，亦應對其變化量值大小進行討論，我們仍然選取圖 4 方框中台灣-日本間海域為分析對象，並以台灣、日本間之聯線為區隔，定義方框中此線以北區域為西北海域，以南為東南海域，另定義台灣東北主要漁區海域(121°E-125°E, 25°N-27°N)為台灣漁區，先求上述三海域之 SST 區域平均值，再依多產年(1990、1996、1997 等三年)，少產年(1983、1987、1995、1998 等四年)，一般年(1982、1984、1985、1986、1989、1991、1992、1993、1994 等八年)分類，計算各類別年之合成平均值，其結果陳列於表一。從此數值可看出西北海域於多產年時偏暖明顯，東南海域則於少產年偏暖明顯，而台灣漁區於多產年或少產年之 SST 變化值約略相當，透露漁區當地之 SST 變化狀態與漁獲量變化之關係不明顯。另一有趣現象則是，上述三海域於一般年之海溫均呈現偏冷現象，但在多產年或少產年均呈偏暖現象，因此若依個別區域海溫變化情形為依據，實不易推論該年漁獲量之變化趨勢。在此情況下，變通方法則是計算不同區

域之 SST 溫差值，本文取西北海域減去東南海域之值，此值於多產年為 0.4°C，少產年為 -0.47°C，一般年則為 0.11°C(見表一)，此數值於多產年呈現正值，少產年為負值，而一般年時則約略趨近於 0，上述對稱性及規律性的變化特性，使此數值適宜作為推論漁獲變化趨勢之參考指標。為了檢驗此指標之適用程度，我們計算 1982-98 年間 CPUE(9-1 月平均值)時間序列與西北海域、東南海域、台灣漁區、西北減東南海域等 SST 時間序列之相關係數，其結果依序為 0.07、-0.35、-0.04、0.50，此結果明顯指出西北減東南海域之溫差值與 CPUE 年際變化之關係最為密切，高達 0.5，因此該海溫溫差值相當適合作為推論漁獲變化趨勢之參考指標。

五、海洋-大氣交互作用

台灣鯖鱈圍網漁獲與 SST 變化關係已於上節具體討論，然此 SST 變化係自發性發生或被動地受大氣變化導引?仍待探討。根據 Li(2000)之簡化海洋模式所述，影響 SST 變化之主要機制有二，一為海洋洋流三度空間環流運動所導致之溫度平流變化，另一為上方大氣熱源之增減。由於海洋環流並無長期觀測資料可供分析，本文只能分析大氣熱源與 SST 變化之關係，藉

表一 SST 區域平均值於不同海域、不同量產年之變化情形(單位: °C)

類別 \ 海域	西北海域	東南海域	台灣漁區	西北海域 - 東南海域
多產年	0.46	0.06	0.32	0.40
少產年	0.1	0.57	0.30	-0.47
一般年	-0.15	-0.26	-0.23	0.11

此探討海洋-大氣交互作用之相關過程。

地球表面之大氣熱源通常以下式表示：

$$Q = LW + SW + LH + SH$$

上式中 Q 表總熱源量、LW 表向上長波淨輻射量、SW 表向上短波淨輻射量、LH 表潛熱通量、SH 表可感熱通量，此處正值係指從地表或洋面傳向大氣之向上熱源，負值為從大氣傳向地表或洋面之向下熱源。

總熱源量於多產年與少產年之差值[(多產年-少產年)/2]顯示於圖 5，此處多產年與少產年所定義之年份如同 SST 合成分析，圖 5 主要特

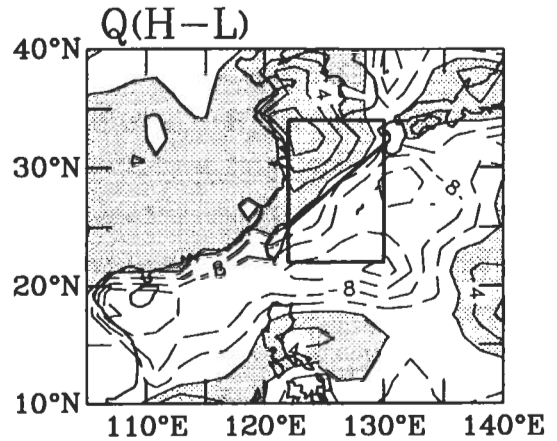


圖 5 如圖 4c 之合成分析，但為地表總熱源於多產年與少產年之差異，正值表示向上(由洋面傳向大氣)淨熱源，等值線間距為 $4w/m^2$ ，陰影區表示正值。

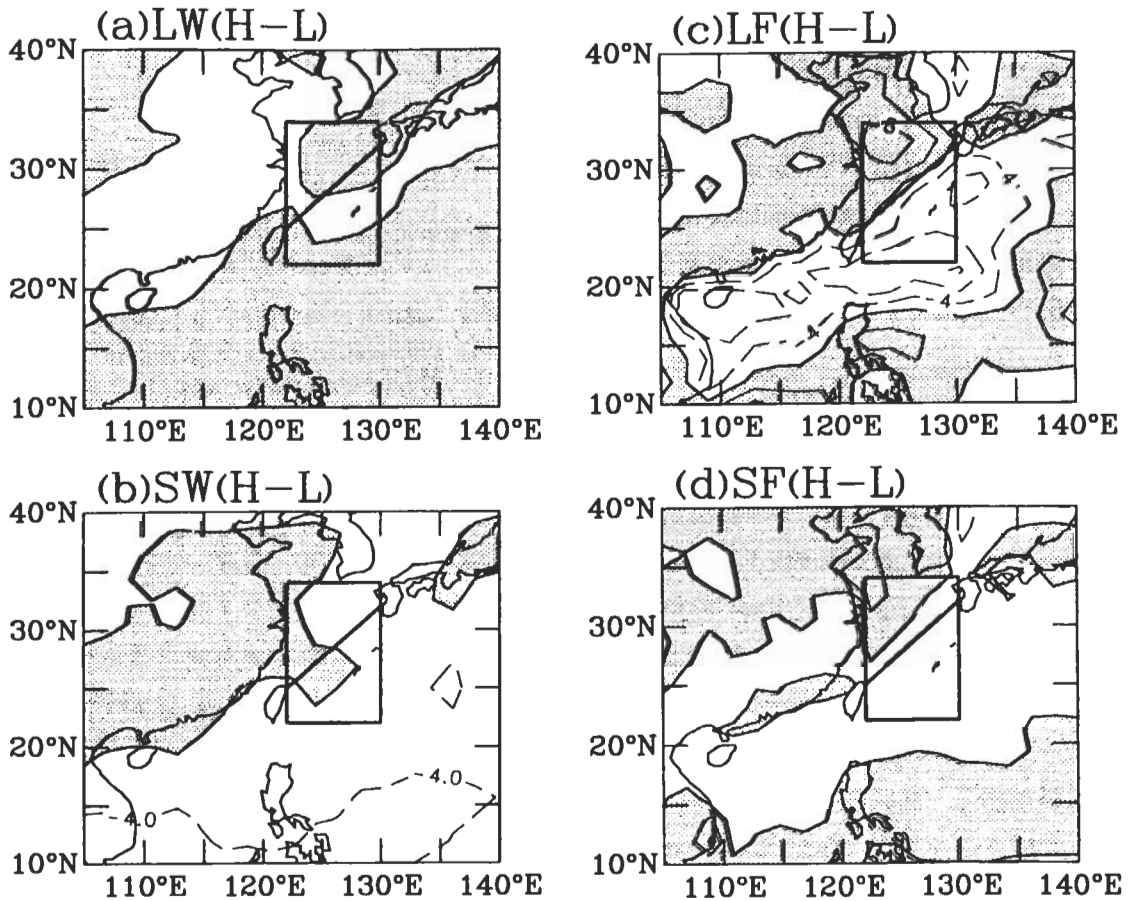


圖 6 如圖 4c 之合成分析，但為地表各熱源分量於多產年與少產年之差異：(a)長波輻射，(b)短波輻射，(c)潛熱通量，(d)可感熱通量，正值表示向上淨熱源，等值線間距為 $4w/m^2$ ，陰影區表示正值。

徵為台灣-日本聯線以北海域多為正值，而日本、台灣到海南島以南海域則多為負值，呈現北正南負分佈特性。就台灣-日本間所框定長方形海域而言，總熱源量與圖 4c 之 SST 差值圖，二者顯現相近空間分佈特性，均為北正南負，表示於該區 SST 偏暖海域，暖洋面將熱源向上傳送到大氣，而在 SST 偏冷海域，冷洋面則吸收大氣向下傳來的熱源，上述關係隱喻本區域地表大氣總熱源量變化係受海洋(或 SST)變化所影響。

洋面總熱源量的變化受到四個物理過程影響：長波輻射、短波輻射、潛熱通量、可感熱通量，每一物理過程於多產年與少產年間所導致熱源的差值，分別顯示於圖 6。就熱源差值的變化量大小而言，潛熱通量(圖 6c)無疑地比其他三個物理量來得大，且潛熱通量之空間分佈特性，不論是在東亞、西太平洋或台灣-日本間海域，均與總熱源變化量相近。比較圖 6 與圖 5 可清楚判定總熱源量於多產年與少產年之改變主要是受潛熱通量之變化所導致。

潛熱通量的變化取決於蒸發量的改變，而影響蒸發量的主要物理因素有二：風速大小與水汽差值(Gill, 1982)，因此須探討影響潛熱通量變化之相關物理過程來進一步分析海洋大氣交互作用。本文取比濕於地表或洋面(q_s)與 2m 大氣處(q_a)之差值($q_s - q_a$)與 10m 處風速大小 [$U = (u^2 + v^2)^{1/2}$]，計算二者於多產年與少產年之變化量。圖 7a 顯示 $q_s - q_a$ 值於台灣-日本間海域呈現北正南負分佈特性，此分佈現象與圖 5 之 SST 分佈特性相近，該結果透露當海溫偏暖時，暖洋面促使水汽蒸發向上傳送到大氣，有利增加向上傳送之潛熱通量。同理可推，冷洋面區抑制向上蒸發，遂有利潛熱通量向下傳送之變化。

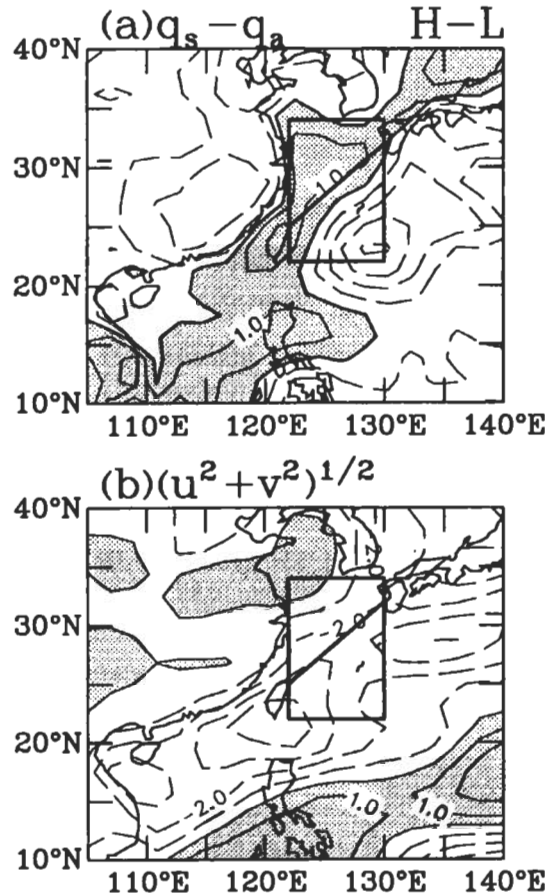


圖 7 如圖 4c 之合成分析，但為與潛熱通量變化相關之物理量：(a)地表(洋面)與大氣(2 m 處)之水汽(以比濕代表)差值，(b)10m 處大氣風速值，等值線間距：(a) $1 \times 10^{-4} \text{ kg/kg}$ ，(b)0.1m/s，陰影區表示正值。

在風速方面(圖 7b)，台灣-日本間海域之風速值均為負距平，風速減少不利水汽由洋面向上蒸發進入大氣，此處之風速變化應是利潛熱通量向下傳送之變化。歸納圖 7a 與 7b 之結果，可知於台灣-日本聯線之東南區域，風速與水汽差二物理因素均傾向導引潛熱通量向下傳送之變化。在西北區域，水汽差有利潛熱通量向上傳送，風速卻會抑制此過程，但最後潛熱通量為向上傳送，表示水汽差為決定性的因素。綜

合二區域之分析結果，水汽差之變化特性均與潛熱通量一致，但風速則不然，因此水汽差應為影響潛熱通量之關鍵因素，由於水汽差、風速之變化分別反應海洋、大氣狀態，因此海洋狀態變化應是決定此區域潛熱通量、洋面總熱源量變化之主因，意謂該區海洋-大氣交互作用主要係由海洋變化所主導。

六、大氣場之相關變化特性

與鯖鱈圍網漁獲年際變化相關之 SST 與海氣交互作用變化特性均已討論，唯大氣系統之相關變化仍待探討。前文述及，多產年相對少產年其風速於台灣-日本間海域呈現減弱現象，其對應之 10m 風場運動方向變化如圖 8 a 所示，透露南風距平自南中國海北吹，經台灣後進入台灣-日本海域北上，此南風距平與冬季盛行之東北季風方向相反，反應東北季風強度減弱。造成東北季風減弱之原因，可由表面氣壓場所顯現之大氣環流變化看出(圖 8b)，此時高壓距平中心位於南方菲律賓群島，低壓距平中心橫跨北方亞洲大陸與日本間海域，呈現南高北低之氣壓距平分佈，有利南風之增強。呼應上述氣壓場分佈，1000mb 輻散場(圖 8c)於南方高壓距平中心附近出現輻散中心，於北方低壓距平中心附近出現輻合中心，使輻散風場亦從南方向北聚集，由於輻散風場運動多與水氣之傳送相結合(Chen et al., 1995; Chen and Chen, 1998)，因此大氣可降水量(precipitable water)(圖 8d)於南方呈現減少或遞出現象，水氣則是往北方聚集增加。隨著水汽向北方傳送，再搭配該處之低壓、輻合距平中心，提供有利水汽舉升機制，因此降水(圖 8e)距平也在北方增加，而在水汽遞出之南方海域降低。

七、可能預報因子

從海洋-大氣交互作用過程來看，與鯖鱈圍網漁獲變化相關之海洋-大氣系統變化，係由海溫先行變化，再經由交互作用促使大氣系統隨之調整，所以海溫變化應是整個系統變化之原始機制，因此尋找預報鯖鱈圍網漁獲變化之可能因子，可由海溫討論起。本文已分析漁獲與 9-1 月海溫變化之即時相關特性，此處則討論前二季(春季、夏季)之海溫變化特性，並評估是否具有實用預報訊息。依循圖 2 相關係數之作法，我們以圖 1c 之 1982-98 年 CPUE 時間序列為指標，計算此時間序列與 1982-98 年夏季(6-8 月)、春季(3-5 月)海溫之相關係數，其空間分佈圖陳列於圖 9。圖 9a 指出，就冬季漁獲多產年而言，其前一季(夏季)海溫變化之主要特性係台灣-日本聯線以北海域為偏暖現象(正相關係數)，以南為偏冷現象(負相關係數)，上述北正南負(或北暖南冷)的分佈特性與圖 2 即時相關係數分佈圖相近，說明有利漁獲多產之海溫變化特性，於前一季即可看出端倪。若時間再往前推進一季，春季相關係數分佈圖(圖 9b)於台灣-日本間海域亦出現北暖南冷之分佈特性，唯其北方偏暖區域之空間分佈較不均勻，於台灣與日本沿海分別出現正相關係數中心，但二者之間則間斷不連續；南方之負相關係數中心則位於台灣東南沿海，而夏季及 9-1 月之負相關係數中心則向東偏移到日本南方之海域。綜合春季、夏季及 9-1 月之 SST 相關係數圖，可推導有利漁獲多產之海溫變化特性，基本上乃於台灣-日本間海域呈現北暖南冷之空間特性，而南方之冷海溫距平中心，春季時位於台灣東南沿海，隨著時間演進朝其東方海域移動；而北方暖海溫距平，則在春季時於台灣沿海及日本沿

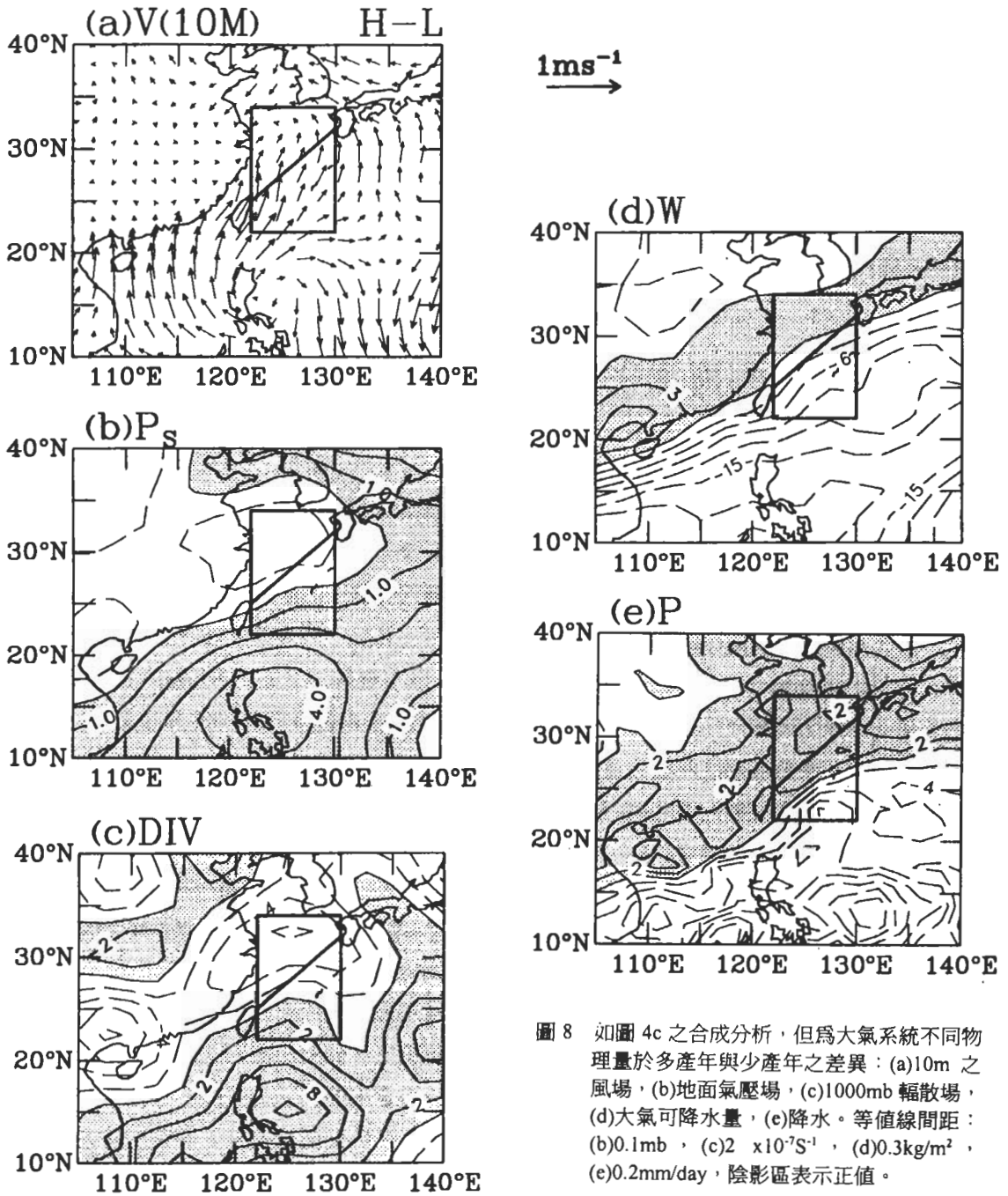


圖 8 如圖 4c 之合成分析，但為大氣系統不同物理量於多產年與少產年之差異：(a)10m 之風場，(b)地面氣壓場，(c)1000mb 輻散場，(d)大氣可降水量，(e)降水。等值線間距：(b)0.1mb，(c) $2 \times 10^{-2}S^{-1}$ ，(d)0.3kg/m²，(e)0.2mm/day，陰影區表示正值。

海分別出現兩個距平中心，而兩者間之海溫距平則從春季之負距平隨著時間演進逐漸增暖，於冬季時便為正距平。上述變化特性可提供有

利漁獲多產時之相關海溫演變特性，依此應可提供預報漁獲變化之有效訊息。

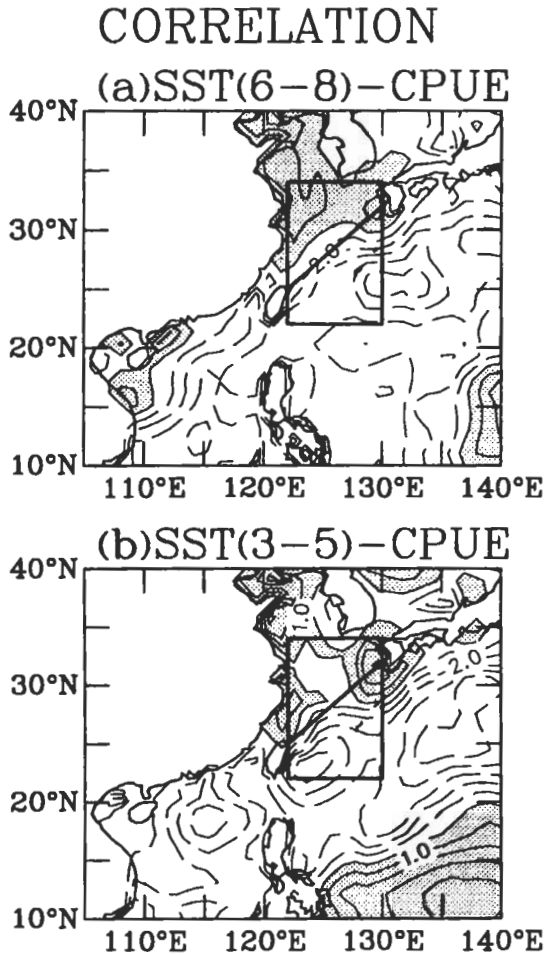


圖 9 以 1982-98 臺灣地區鯖鱈圍網 9-1 月平均 CPUE 值為指標，與(a)夏季(6-8 月)，(b)春季(3-5 月)SST 平均場之相關係數分佈圖，等值線間距為 0.1，陰影區表示正值。

八、結 論

本研究主要目的係探討台灣地區鯖鱈圍網漁獲之年際變化及相關海洋-大氣系統之氣候變化特性，並依研究結果探討預報漁獲變化之可能方法。由於台灣地區鯖鱈圍網漁獲於每年 9 月到次年 1 月達到盛產期，本文於是選取 9-1 月之平均 CPUE(每網次漁獲量)值為分析對象，

比較 1982-98 年漁獲之量產變化，主要研究結果陳述如下。

就海洋變化特性而言：鯖鱈圍網漁獲之年際變化與台灣東北海域主要漁區 (121°E-125°E, 25°N-27°N) 當地海溫(SST)變化幾乎無關聯性，而與台灣-日本間海域(122°E-130°E, 22°N-34°N)之南北溫差呈現高度相關性。於此海域，以台灣-日本間聯線(自 122°E, 25°N 聯到 130°E, 32°N)為分界，當北方海域偏暖、南方海域偏冷，或北方海域比南方海域偏暖時，則有利漁獲增加；在相反之海溫變化狀態時，漁獲傾向減少。

就海洋-大氣交互作用而言：多產年相對少產年時，海溫於台灣-日本聯線以北海域偏暖，對應洋面總熱源正距平，顯示熱源由洋面向上傳送到大氣，且熱源傳送主要係以潛熱通量形式進行，決定該通量變化的二個因素為風速大小與水汽差(洋面減大氣)，由於該處風速變化為減弱，顯示大氣所提供之環境不利海水蒸發，同時抑制潛熱通量向上傳送，但此處水汽差為正值，顯示暖洋面直接驅動水汽向上蒸發，因此此處之潛熱通量變化主要是由海洋因素主導。在台灣-日本聯線以南海域海溫偏冷，對應洋面總熱源負距平，即大氣熱源以潛熱通量形式向下傳遞到洋面，此處風速減弱，水汽差亦為負值，二者皆抑制水汽由洋面向上蒸發，進而助長熱源由大氣向下傳送，因此此處熱源變化係海洋與大氣二者合力完成的結果。

就大氣變化特性而言：台灣-日本間海域於多產年之大氣變化特性為風速減弱，究其成因為此時一個高壓距平中心位於南方菲律賓群島，一個低壓距平中心橫跨中國大陸與日本間

海域，二者導引風場由南向北吹，遂減弱冬季東北季風強度，於是台灣-日本間風速隨之減弱。伴隨南方高壓距平中心者為低層大氣輻散中心，而輻合中心則位於北方低壓距平中心附近，此輻散場導引輻散風由南向北傳送熱帶水汽到北方海域，因此台灣-日本聯線以北海域，其大氣總含水量(可降水量)隨之增加，再搭配該區之低層輻合場，增強水汽輻合向上舉升機制，遂讓該區之降水增加。相對地，台灣-日本聯線以南海域之可降水量與降水均減少。

就預報漁獲變化的可能因子而言：與漁獲變化相關之海洋-大氣系統其原始改變動力來自海溫變化，因此宜用海溫做為預報因子。就多產年相對少產年而言，其冬季海溫主要變化特色為台灣-日本聯線以北海域偏暖、以南海域偏冷，或北方海域比南方海域較暖，此南北溫差對比現象於多產年冬季之前二季(即夏季、春季)即顯現出此種特性，唯其北方暖海溫距平中心分別由台灣、日本沿海隨著時間演進向二者中間海域移動，而南方偏冷海溫距平中心則由台灣東南沿海向東往日本南方海域移動，因此台灣-日本間海域海溫之南北溫差對比，應可提供預報台灣地區冬季鯖鱈圍網漁獲之有效資訊。

本研究指出有利台灣地區冬季鯖鱈圍網漁獲的氣候條件，海溫距平應於台灣-日本間海域呈現南冷北暖變化(見圖 4c)，對應該處表面風場為南風距平(見圖 8a)，上述南方海域偏冷反應可能有冷洋流平流進入或深層冷洋流湧升，若從風場來看，圖 8a 顯示南風距平於台灣東側鄰近海域相當強盛，根據風趨動環流(wind-driven circulation)理論(Pond and Pickard, 1978)，南風距平將驅使該處洋流向東移動，流走之洋流須由西方海域表面洋流流入補充，但該處西側為

台灣，並緊鄰亞洲大陸沿岸，此地理環境形成海岸效應(coastal effect)，造成無適當或足夠表面洋流可往東移入補充，替代補充方法則是深層洋流往上湧升，所以南方海域偏冷之可能成因應是深層冷洋流的湧升。該湧升洋流可帶來較多浮游生物，提供吸引魚群由北向南洄游的有利環境，因此有助魚群游經台灣東北漁區，而使該年漁獲增加，然而上述有關海洋環流、生態系統變化之推論，仍待進一步探討，方能確認。

本文透過自然科學基礎研究之診斷分析，試圖找出可供產業經濟應用的參考資訊，諸如此類跨學門的結合，不僅可擴展基礎科學的研究領域與應用價值，亦對我國經濟發展有正面效益。海洋-大氣系統變化所影響的範圍甚廣，單就降水形態及降水量變化而言，其對台灣經濟活動的影響便包括水源供應、農業耕作、畜產養殖等等。因此如何轉化自然科學研究的適當資訊以利產業經濟的發展，仍有賴國內學者專家的繼續合作與努力。

誌 謝

作者們感謝張智北教授與二位審查委員對本文之建議與指正。

參考文獻

- 王漢泉，1981：大型圍網漁業魚種與量產的初步研究。台灣省水產試驗所試驗報告，33，297-304。
- 呂學榮、李國添、廖正信、張水錯，1999：氣候變遷對我國遠洋漁業影響之評估。八十八年度行政院農業委員會試驗性計劃-氣候變遷對漁業之影響研究執行成果研討會摘

要。

- 唐朝林、周耀然，1990：台灣東北海區鯖鱈圍網漁場之海漁況特性初步分析，*中國水產月刊*，445，27-37。
- 許晃雄，1998：聖嬰與反聖嬰現象。20頁，行政院環境保護署出版。
- 陳宗雄、王克鍊、黃四字，1978：鯖魚漁況與海況關係之研究。台灣省水產試驗所試驗報告，30，281-289。
- 陳敏祥，2000：聖嬰現象對台灣鯖鱈圍網漁業影響評估。96頁，國立台灣海洋大學漁業經濟研究所碩士論文。
- 孫金華，1998：台灣鯖鱈圍網漁業及其加工業經濟效率及其管理決策之分析(I)，八十七年度農委會科技計劃期末報告書。
- 孫金華，1999：台灣鯖鱈圍網漁業及其加工業經濟效率及其管理決策之分析(II)，八十八年度農委會科技計劃期末報告書。
- Beamish, R. J., and D. R. Bouillon, 1993: Pacific salmon production trends in relation to climate. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.*, 50, 1002-1016.
- Chen, J.-M., and T.-C. Chen, 1998: The semiannual variation in the atmospheric hydrological processes. *J. Geophys. Res.*, 103, 3761-3766.
- Chen, T.-C., J.-M. Chen, and J. Pfaendtner, 1995: Low-frequency variations in the atmospheric branch of the global hydrological cycle. *J. Climate*, 8, 92-107.
- Francis, R. C., and T. H. Sibley, 1991: Climate change and fisheries: What are the real issues? *NW Environ. J.*, 7, 295-307.
- Gill, A. E., 1982: Atmosphere-ocean dynamics. Academic Press, 662PP.
- Graham, N. E., 1994: Decadal-scale climate variability in the 1970s and 1980s: Observations and model results. *Climate Dyn.*, 10, 135-159.
- Kalnay, E. and Coauthors, 1996: The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-471.
- Li, T., T. F. Hogan, C. -P. Chang, 2000: Dynamic and thermodynamic regulation of ocean warming, *J. Atmos. Sci.*, 57, 3353-3365.
- Mantua, N. J., S. R. Hare, Y. Zhang, J. M. Wallace, and R. C. Francis, 1997: A Pacific interdecadal Climate oscillation with impacts on salmon production. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 1069-1079.
- Pond, S., and G. L. Pickard, 1978: *Introductory Dynamic Oceanography*. Pergamon Press. 241 PP.
- Reynolds, R. W. and T. M. Smith, 1994: Improved global sea surface temperature analyses using optimum interpolation. *J. Climate*, 7, 929-948.
- Sun, C.-H., and M.-H. Chen, 2000: The value of integrating the El Nino and SST forecasts in analyzing the catches of Mackerel Purse-Seine fishery in Taiwan. *The Annual Meetings of the American Agricultural Economics Association*. Tampa, Florida, USA. 7/30-8/2, 2000.
- Trenberth, and J. W. Hurrell, 1994: Decadal atmosphere-ocean variations in the Pacific. *Climate Dyn.*, 9, 303.
- Trenberth, K. E., 1997: The definition of El Nino. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 2771-2777.

Interannual Variability of Mackerel Purse Seine Fishery of Taiwan and its Associated Climate Changes

Ching-Yen Tsay¹ Jau-Ming Chen² Chin-Hwa Sun³

¹Science and Technology Advisory Group, Executive Yuan

²Research and Development Center, Central Weather Bureau

³Institute of Applied Economics, National Taiwan Ocean University

(Manuscript received 22 October 2001 ; in final form 16 November 2001)

ABSTRACT

The purpose of this study is to examine the interannual variability of the Mackerel Purse Seine fishery of Taiwan and its associated climate changes of the ocean-atmosphere system. Since the major fishery period is between September and January, the averages of CPUE (catch per unit effort) during that period for 1982-98 are used in our analysis. Results show that key condition associated with fishery variability is SST (sea surface temperature) changes over the open oceans between Taiwan and Japan (121°E-125°E, 25°N-27°N). In this region, when its northwestern portion becomes warmer (colder) than its southeastern portion, CPUE tends to increase (decrease). Thus, SST difference between the northwestern and southeastern portions of the aforementioned open oceans between Taiwan and Japan can be employed as an index to survey the fishery variability.

Over the SST index region, air-sea interactions are mainly driven by ocean. During the above-normal production years, warm SST anomalies over the northwestern portion enhance evaporation and upward latent heat flux and force the overlying atmosphere to form anomalous low and convergence centers, Over the southeastern portion, cold SST anomalies are accompanied by anomalous high and divergence centers. Following the above conditions, anomalous southerlies transport water vapor to the north and cause more precipitation over there.

The key condition for the above-normal production year is that SST anomalies over the northwestern portion are warmer than that over the southeastern portion during the winter season. However, such a condition can be detected early in the spring and summer seasons. Thus, this SST condition provides useful information for the forecast of fishery variability for winter.

Key words : Mackerel purse seine fishery , Interannual variability , Climate changes