

國立臺灣師範大學
海洋環境科技研究所
碩士論文

黑潮入侵東海之研究

Interannual variability of the Kuroshio intrusion
onto the shelf of the East China Sea

報告者：林永富
指導教授：吳朝榮 博士

中華民國一〇二年二月

摘要

黑潮是北太平洋中最重要的西方邊界流，北赤道洋流由東向西流，遇到民答那峨島分支成南北兩股海流，向北的支流為黑潮，流經菲律賓東岸、呂宋海峽與台灣東部海岸。當黑潮流經台灣東北時，因遇到東西走向的東海陸棚，使得原本向北流動轉而向東流，大約沿著 200 公尺等深線流往日本東岸，黑潮在台灣東北部有季節性擺動的現象，在夏季時，容易向離岸(向東)方向擺動；在冬季時，容易向靠岸(向西)方向擺動，並進而入侵東海陸棚。本研究主要是利用 1993 年至 2010 年的衛星觀測資料來研究台灣東北部海流的時空變化，尤其是黑潮入侵東海陸棚的現象，我們定義經度 121.67°E 至 122.5°E ，緯度 25.5°N 至 26.4°N 之平均流速為黑潮入侵東海陸棚的指標 (Kuroshio Intrusion index, K. I. 指標)，結果發現在年際變化上 K. I. 指標與氣候指標(如 ENSO、PDO 和 PTO 等)有顯著的相關性，在 1997/98 年與 2002/03 年的冬季，當 PDO 與 ENSO 皆呈正向時，入侵量有明顯減少的現象。進一步分析，在 1997/98 年的冬季，是受到熱通量梯度的改變所影響。2002/03 年的冬季則是受到由東向西傳的中尺度渦旋靠近黑潮所影響，反氣旋渦旋容易造成黑潮向東蜿蜒，使得入侵量減少。

關鍵字: 黑潮。

目錄

摘要.....	I
圖目錄.....	IV
表目錄.....	V
第一章、緒論.....	1
1.1 區域介紹.....	1
1.1.2 黑潮.....	1
1.2 文獻回顧.....	2
1.3 研究目的.....	4
第二章、研究工具及方法.....	8
2.1 觀測資料介紹.....	8
2.1.1 AVISO 資料.....	8
2.1.2 QSCAT 風場資料.....	9
2.1.3 NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis 熱通量及風場資料.....	9
2.1.4 傳輸量資料與計算.....	10
2.2 研究方法.....	11
2.2.1 季節定義.....	11
2.2.2 黑潮入侵定義.....	11

2.2.3	熱通量梯度定義.....	12
2.2.4	聖嬰年與反聖嬰年之定義.....	13
2.2.5	PDO 定義.....	13
2.2.6	PTO 定義.....	13
第三章、結果與討論.....		19
3.1	資料驗證.....	19
3.1.1	前人研究與 AVISO 地轉流場驗證.....	19
3.1.2	AVISO 傳輸量驗證.....	20
3.2.1	K. I. 指標、傳輸量與熱通量梯度相關性.....	21
3.2.2	K. I. 指標與 ENSO、PDO 和 PTO 之相關性.....	22
3.3	討論.....	22
第四章、結論.....		37
參考文獻.....		39

圖目錄

圖 1-1	研究全區域	6
圖 1-2	黑潮與台灣東北流場示意圖	7
圖 2-1	風應力平均場圖	15
圖 2-2	氣候平均風應力棍棒圖	15
圖 2-3	K.I. 指標範圍示意圖	16
圖 2-4	熱通量示意圖	17
圖 2-5	Niño3.4 指標 範圍示意圖	18
圖 2-6	各氣候指標範圍示意圖	18
圖 3-1	AVISO 衛星流場圖	25
圖 3-2	AVISO 衛星黑潮平均流速測線示意圖	26
圖 3-3	AVISO 衛星黑潮平均流速時間序列圖	26
圖 3-4	AVISO 衛星黑潮傳輸量與 Hisn et al. (2011)之傳輸量時間序列 圖	27
圖 3-5	黑潮傳輸量與 K.I. 指標年際變化時間序列	28
圖 3-6	熱通量梯度與 K.I. 指標年際變化時間序列	28
圖 3-7	ENSO、PDO、PTO 與 K.I. I 指標年際變化時間序列	29
圖 3-8	ENSO、PDO 與 K.I. 指標年際變化時間序列圖	31
圖 3-9	1997-1998 年冬季風應力異常示意圖	32

圖 3-10	2002-2003 年冬季風應力異常示意圖	33
圖 3-11	K.I. 指標、黑潮傳輸量與熱通量梯度年際變化時間序列圖	34
圖 3-12	PTO 與 K.I. 指標年際變化時間序列圖	35
圖 3-13	PTO 影響西北太平洋效應示意圖	36

表目錄

表 3-1	K.I. 指標與黑潮傳輸量、熱通量梯度和各指標相關表	30
-------	----------------------------------	----

第一章、緒論

1.1 區域介紹

本研究主要區域範圍經度為 121°E 至 126°E ，緯度為 23°N 至 27°N ，包含台灣東北部、東海陸棚南部、沖繩海槽南部、棉花峽谷、北棉花峽谷以及周圍海域，在台灣北部緊鄰東海(East China Sea)，東側有黑潮 (Kuroshio) 通過。由宜蘭海脊向東延伸至西表島為東台灣通道(East Taiwan Channel, ETC)，深度約從 100 公尺至 1000 公尺，往東北有一深達約 2700 公尺的沖繩海槽(Okinawa Trough)，東海陸棚區的深度約為 0 至 200 公尺，以 200 公尺等深線為陸棚邊界(如圖 1-1)。

1.1.2 黑潮

本研究區域的主要海流為黑潮，黑潮是北太平洋中最重要的西方邊界流，由北赤道洋流 (North Equatorial Current, NEC) 分支而來，北赤道洋流由東向西流，遇到民答那峨島分支成南北兩股海流，向北支流為黑潮，向南為民答那峨海流(Mindanao Current)，而黑潮流經菲律賓東岸、呂宋海峽與台灣東部海岸(Nitani, 1972)。

當黑潮流經台灣東北時，因遇到東西走向的東海陸棚阻擋，向北流的黑潮轉而向東，約沿著東海陸棚邊緣 200 公尺等深線往日本東部

外海流去 (Hsin et al., 2011) ，分支則經由北棉花峽谷跨越陡峭的陸棚邊緣進入東海陸棚之上。

分支的西側，有一(反時針渦漩)湧升流區域，位於北棉花峽谷與棉花峽谷之間，冷水是來自遭地形抬升的黑潮次表層水 (Chern and Wang, 1989) ，且全年存在 (Wu et al., 2008)(如圖 1-2)。

1.2 文獻回顧

黑潮主軸有季節性的擺動 (Wu et al., 2008 ; Ichikawa et al., 2008) ，在夏季時，黑潮的主軸較容易向東，偏離台灣東岸，在冬季時，黑潮的主軸較容易向西，往台灣東岸靠近，平均而言，會有支流入侵東海陸棚。

Chao (1991)利用數值模式研究指出在台灣東北的黑潮會受到季風的影響，由於台灣位於季風區，故在不同季節會有不同的季風吹撫，在夏季時會吹西南季風，帶動東南方向的艾克曼傳輸(Ekman Transport)，使的黑潮容易向東邊流，造成黑潮往離岸方向流，但在冬季時會吹著東北季風，並帶動西北方向的艾克曼傳輸，使的黑潮容易向西北流，進而造成黑潮往靠岸方向流，入侵到東海陸棚。

Ichikawa et al. (2008) 利用雷達觀測資料，觀測台灣東北的黑潮

流場變化，發現當黑潮流速變快(變慢)時，黑潮主軸容易向離岸(靠岸)方向擺動，且黑潮夏季流速較快，冬季流速較慢，又利用海平面高度場看到西太平洋向西傳的中尺度渦漩也會影響到黑潮，當氣旋式(cyclonic)渦漩，接觸到黑潮時，會使黑潮流速減慢，當遇到反氣旋式(anticyclonic)渦漩時，黑潮流速會增強。

Wu et al. (2008) 利用模式資料觀察黑潮的擺動情形，在空間尺度上，黑潮的擺動會影響上層湧升流的出現與否，此種影響主要在水深 150 公尺以上，當向東(向西)擺動時，湧升流會變明顯(不明顯)，且在上層 30 公尺處最為明顯。而進一步分析變化週期，主要分為 30 天與 110 天，其中 110 天週期來自向西傳遞的中尺度渦漩與黑潮交互作用，30 天週期可能來自黑潮本身的斜壓不穩定性。

Yang et al. (1999; 2004) 利用衛星觀測資料與 PCM-1 黑潮傳輸量實測資料，研究發現 SSHA(Surface Sea Height Anomaly)與黑潮傳輸量有很好的相關性，接著指出東部海域的海平面高度變化是受到西太平洋中尺度渦漩的影響，而 Zhang et al. (2001) 和 Yang et al. (2004)也指出當反氣旋式渦漩(氣旋式)靠近黑潮時，ETC 的傳輸量會增加(減少)，且容易向東(向西)蜿蜒(meander)。

Oey et al. (2010) 利用數值試驗解釋為何冬季黑潮在台灣東北容

易向陸岸擺動，模擬去除風的影響，只加入季節性的熱通量變化，發現黑潮還是有擺動的現象，指出黑潮擺動與熱通量變化有關。在冬季時，在台灣北部接近陸地的區域冷卻影響較強烈，使得東海陸棚區較外海散失較多的熱量，亦造成向西的密度梯度，加上離岸地形坡度影響，使得黑潮靠陸棚擺動，即為 JEBAR (Joint Effect of Baroclinicity and Relief, JEBAR) 效應，此效應在冬季較明顯。

Hwang 和 Kao (2002) 利用衛星資料，將 SSH 計算出地轉流傳輸量，發現黑潮上游(台灣東南)的傳輸量比下游(台灣東北)來得大，而在年際變化上，與 ENSO 指標做相關，在上游呈現負相關，且延遲 10 個月，在下游呈現正相關，延遲一個月，故下游的區域，當聖嬰年時期，傳輸量會增強，在反聖嬰年時期，傳輸量會減弱。

1.3 研究目的

由於前人利用觀測資料發現，當黑潮入侵至東海時，因受到地形抬升的效應，會將較冷的黑潮次表層水帶至表層，並將豐富的營養鹽帶到東海，進而影響到東海地區的生地化(Chen, 1996)，故研究黑潮的變化就相對的重要，在之前研究發現黑潮在台灣東北部有季節性的擺動現象，夏季(冬季)多為向離岸(靠岸)方向擺動，故冬季時入侵的情況較夏季多，也發現黑潮會受到一些機制的影響(如渦漩)。

雖然也有研究指出黑潮有年際的變化，但在這方面的研究較少，故本研究希望利用 AVISO 衛星觀測資料，時間從 1993 年 1 月到 2010 年 12 月做分析，研究黑潮入侵東海之年際變化，並找出與氣候指標之相關性，以及影響的原因。

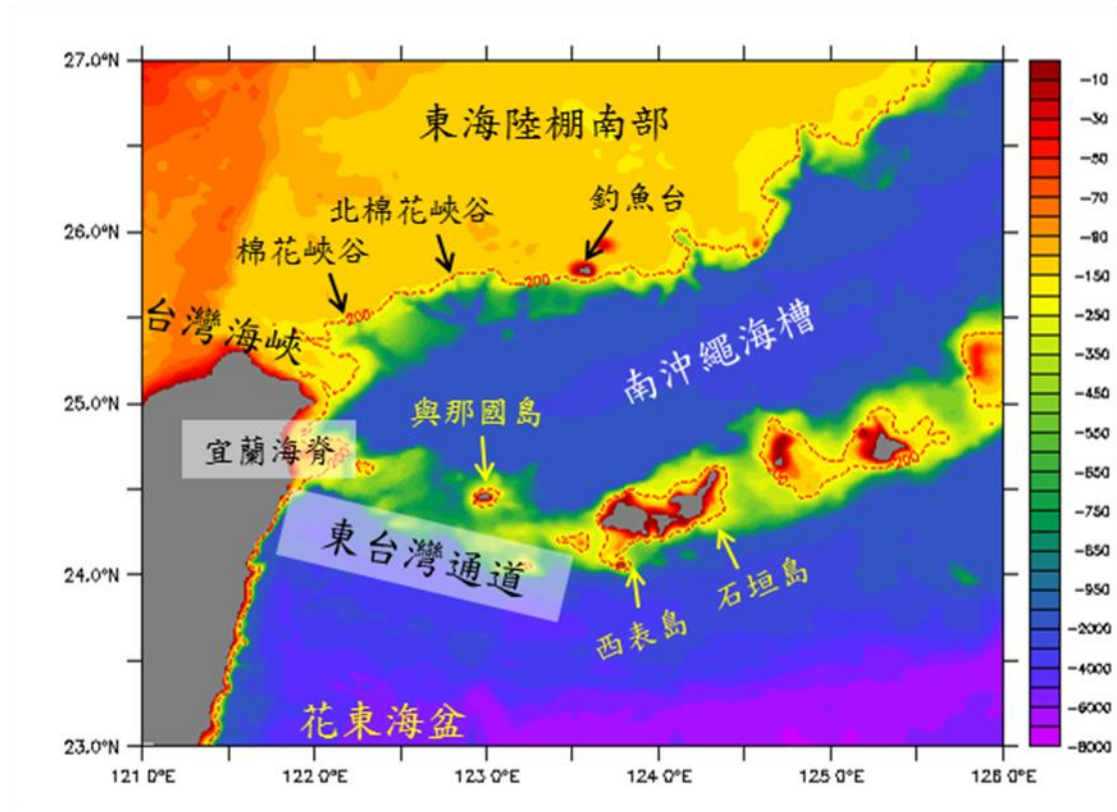


圖 1-1 研究全區域

本研究的範圍，經度為 121°E 至 126°E，緯度為 23°N 至 27°N，包含台灣東北部、東台灣通道、台灣海峽北部、南沖繩海槽、東海陸棚南部、棉花峽谷、北棉花峽谷、釣魚台、與那國島、西表島、石垣島等，底圖顏色為水深(單位:m)，灰色區域為陸地，詳細說明如文 1.1。

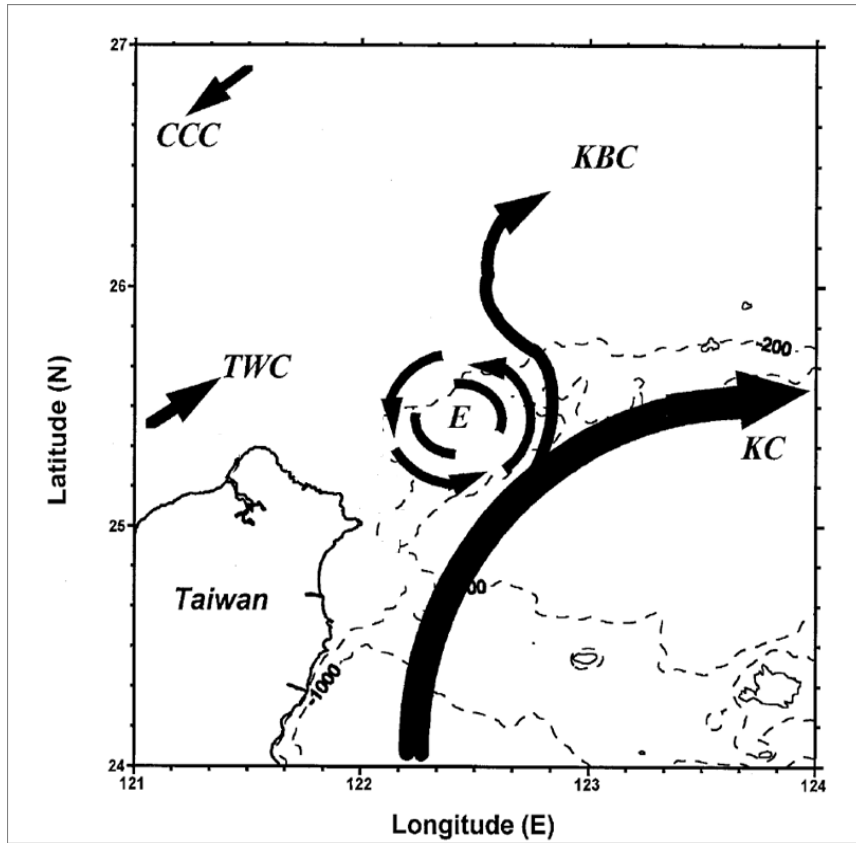


圖 1-2 黑潮與台灣東北流場示意圖(改自於 Hsu et al., 1998)

詳細說明如文 1.1.2。

第二章、研究工具及方法



2.1 觀測資料介紹

2.1.1 AVISO 資料

AVISO (Archiving Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic) 為整合多個衛星資料的資料庫，結合 ENVISAT、ERS-1、ERS-2、GFO、Jason-1、Jason-2、TOPEX/Poseidon 等衛星資料，進一步統整彙集而成，將各個資料交互比對修正，以降低誤差及提高資料完整性。

本研究所採用的是 AVISO 中的絕對動力高度及絕對地轉流 (Maps of Absolute Dynamic Topography & absolute geostrophic velocities, MADT) 中的 Ref (Reference) 資料，它是利用兩顆衛星在固定的軌道上採樣經過處理而得的資料，有很好的穩定性，適合用於長時間尺度分析(如年際變化)，故選用此資料研究黑潮入侵東海之年際變化(詳細資料可參考 <http://www.aviso.oceanobs.com/en/>)。

空間解析度為 $1/3^{\circ} \times 1/3^{\circ}$ ，取用的時間解析度為一週一筆數據，經處理後為一個月一筆，範圍為經度 120°E 至 126°E ，緯度為 21°N 至 27°N ，時間範圍為 1993 年 1 月至 2010 年 12 月，為期 18 年整。

2.1.2 QSCAT 風場資料

為美國太空總署(National Aeronautics and Space Administration, NASA)的衛星(Quick Scatterometer, QSCAT)觀測得到的風場資料，衛星發射於 1999 年 6 月，其運轉時間從 1999 年 7 月至 2009 年 7 月，為期 10 年。空間解析度為 $0.5^{\circ}\times 0.5^{\circ}$ ，本研究所採用的時間解析度為一個月一筆，空間範圍經度 120°E 至 126°E ，緯度為 21°N 至 27°N 。

2.1.3 NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis 熱通量及風場資料

本研究所採用的熱通量資料為國家環境預報中心/國家能源研究中心能源部(National Centers for Environmental Prediction/Department of Energy Atmospheric Model Intercomparison Project reanalysis-2 , NCEP/DOE AMIP-II reanalysis (R-2))的再分析資料，是根據國家環境預報中心/國家大氣研究中心的再分析資料 (National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research reanalysis-1 , NCEP/NCAR reanalysis(R-1))做分析處理，涵蓋 1979 年到現在的衛星資料，使用最新的預測模式以及資料同化系統，提高輸出資料品質，並修正已知 NCAR reanalysis(R-1)的資料處理問題 (詳細資料可參考 Kanamitsu et al., 2002)。

在本研究區域的空間解析度約為 $2^{\circ}\times 2^{\circ}$ ，採用的時間解析度為一個月一筆，空間範圍經度為 120°E 至 126°E ，緯度為 21°N 至 27°N ，

其中所使用的熱通量(Heat flux)資料，分別為潛熱通量(Latent heat flux)、可感熱通量(Sensible heat flux)和風場資料。

2.1.4 傳輸量資料與計算

本研究主要是引用 Hsin et al. (2011)中所計算出來的傳輸量資料，時間範圍為 1994 年 4 月至 2008 年 5 月，時間解析度為一個月一筆。

在本研究也利用 AVISO 衛星資料的海平面高度(Sea Surface Height, SSH)，取梗枋(H_{GF})與石垣島(H_{IG})潮位站區域的 SSH 做 SLDA(Sea Level Difference Anomaly, SLDA)，帶入 Yang et al. (2001)之經驗公式(如式 2-1)得到黑潮的傳輸量。

$$\text{Transport (Sv)}=0.25\times(H_{IG}-H_{GF})+20.87 \quad 2-1$$

2.2 研究方法

由於研究台灣東北流場的年際變化，需要長時間且完整的資料做分析，故本研究使用 AVISO 衛星觀測資料，再經由與實際觀測資料的比對驗證，確認資料的可信度，之後將資料濾除年內的訊號，利用異常值(anomaly)的計算，再做濾除 15 個月以下的訊號(Low-pass)的處理，再與各氣候的指標做相關，找出其相關性，並做進一步分析。

2.2.1 季節定義

本研究區域在夏季吹西南季風，冬季為東北季風，用 QSCAT 風場資料在經度 120°E 至 126°E ，緯度 25.25°N 至 27.5°N (如圖 2-4)，做風應力氣候平均棍棒圖(如圖 2-5)，在 6 月至 8 月為西南及南風最強的時期，故定義此季節為夏季，在 9 月慢慢轉為東北季風，12 月至 2 月為東北季風最強的時期，故定義此季節為冬季。

2.2.2 黑潮入侵定義

在過往的研究中，在台灣東北部區域，黑潮主軸流速大(小)時，較容易向東(向西)擺動，在介於棉花峽谷與北棉花峽谷之間一有湧升流區域，向東擺動時，在海表層可明顯發現湧升流的存在，當向西擺動時，黑潮覆蓋住上層的湧升流，使得湧升流消失(Wu et al., 2008; Ichikawa et al., 2008)，且入侵至東海，在衛星觀測資料與浮標資料也

可發現此現象，故黑潮入侵東海對台灣東北上層湧升流的存滅有著密切的關係；而 Cheng et al. (2009)也利用衛星觀測資料發現湧升流出現的平均位置，夏季約為經度 122.18°E，緯度 25.62°N，冬季約為經度 122.89°E，緯度 25.61°N。

本研究為研究黑潮入侵東海陸棚的情況，取一區域平均流速(如圖 2-6 中黑方框所示)為指標，範圍為經度 121.67°E 至 122.5°E，緯度 25.5°N 至 26.4°N，亦涵蓋湧升流的區域，定義為黑潮入侵東海陸棚的指標 (Kuroshio Intrusion index, K. I. 指標)，並進一步探討其年際的變化。

2.2.3 熱通量梯度定義

根據 Yu and Weller (2007)指出全球海表溫 (Sea Surface Temperature, SST)的變化與潛熱通量和可感熱通量相加的值一致，故本研究所使用的熱通量資料為潛熱通量和可感熱通量相加值做為表面熱通量的資料，在熱通量梯度 (Heat flux gradient, HFG)定義的部分，取 BoxH₁ 和 BoxH₂ 的差值(如圖 2-7 所示)公式如 2-2，當梯度變大(變小)時，JEBAR 的效應就會變明顯(不明顯)，黑潮入侵東海陸棚的量就會變多(變少)。

$$\text{HFG} = \text{boxH}_2 - \text{boxH}_1 \quad 2-2$$

2.2.4 聖嬰年與反聖嬰年之定義

兩者定義是參考來自 NOAA(National Oceanic and Atmospheric Administration)的氣候預報中心(Climatic Prediction Center, CPC)所定義的 ONI(Oceanic Nino Index)，以 Niño3.4 指標範圍(如圖 2-8 所示)的 SST 異常值定義，主要為將 Niño3.4 指標範圍的 SST 異常值做 3 個月的滑動平均，連續 5 個月以上超過 0.5°C 為聖嬰年，低於 -0.5°C 為反聖嬰年定義之。

2.2.5 PDO 定義

PDO (Pacific Decadal Oscillation) 指標是取自於 JISAO (Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Oceans)，其定義為在北太平洋緯度 20°N 以北(如圖 2-9)的 SST 異常值去除掉全球暖化趨勢，做經驗正交函數(Empirical Orthogonal Functions，EOF)後的第一組模態定義之(參考來源:<http://jisao.washington.edu/pdo/>)。

2.2.6 PTO 定義

PTO (Philippines-Taiwan Oscillation) 指標是取自於 Chang and Oey (2011)，PTO 為台灣與菲律賓的東部的海洋溫躍層年際震盪，且與風應力旋度震盪相對應，作者取東台灣在緯度 22°N 至 27°N ，經度 155°E 至 180°E ，與東菲律賓在緯度 8°N 至 13°N ，經度 130°E 至 155°E

的區域(如圖 2-9 所示)，由兩區域風應力旋度差值而得(詳細說明可參考 Chang and Oey, 2011)。

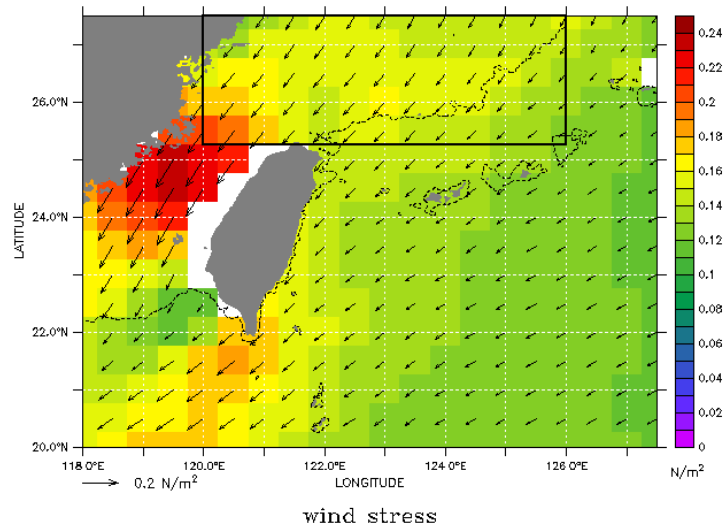


圖 2-1 風應力平均場圖

黑框範圍為風應力平均區域，範圍為經度 120°E 至 126°E，緯度 25.25°N 至 27.5°N，底圖顏色為風應力值，箭頭為風應力大小和方向 (單位為 N/m^2)。

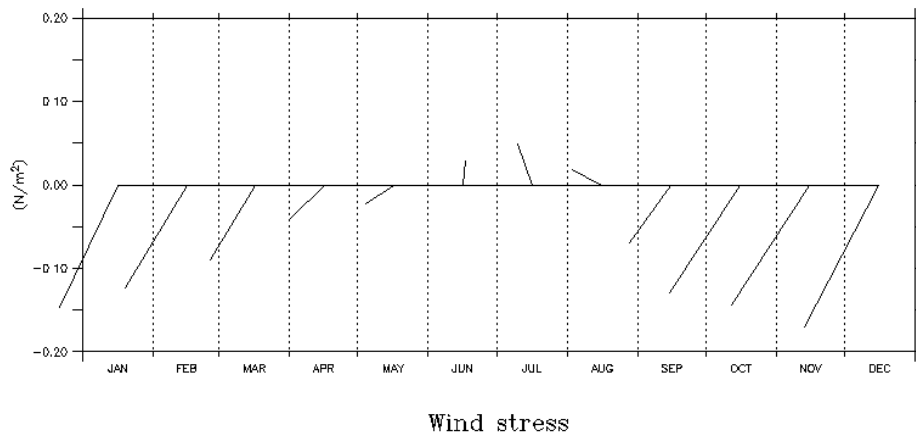


圖 2-2 氣候平均風應力棍棒圖

時間範圍為 2000 年 1 月年至 2008 年 12 月，平均範圍如圖 2-4(單位: N/m^2)，詳細說明如文 2.3.1。

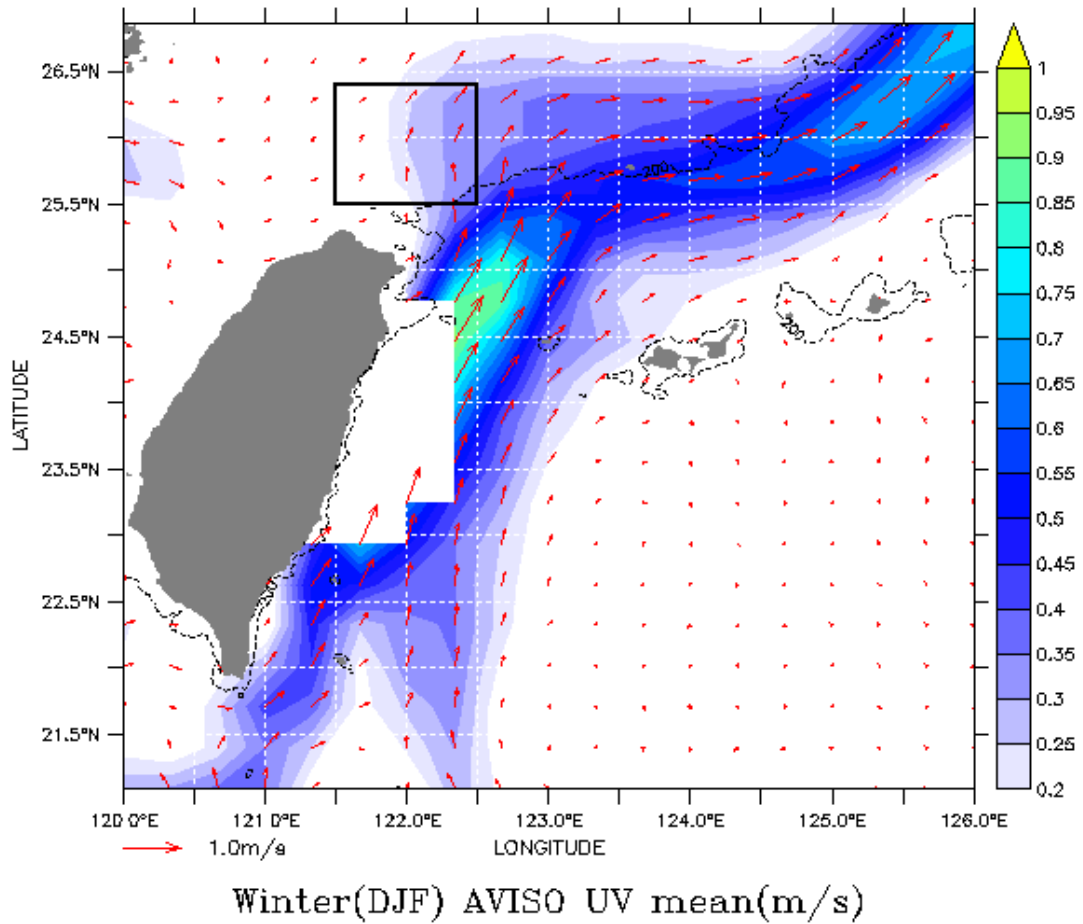


圖 2-3 K.I. 指標範圍示意圖

底圖顏色為冬季的平均流速(單位:m/s)，K.I. 指標範圍如圖中黑方框，為經度 121.67°E 至 122.5°E，緯度 25.5°N 至 26.4°N，詳細說明如文 2.3.2。

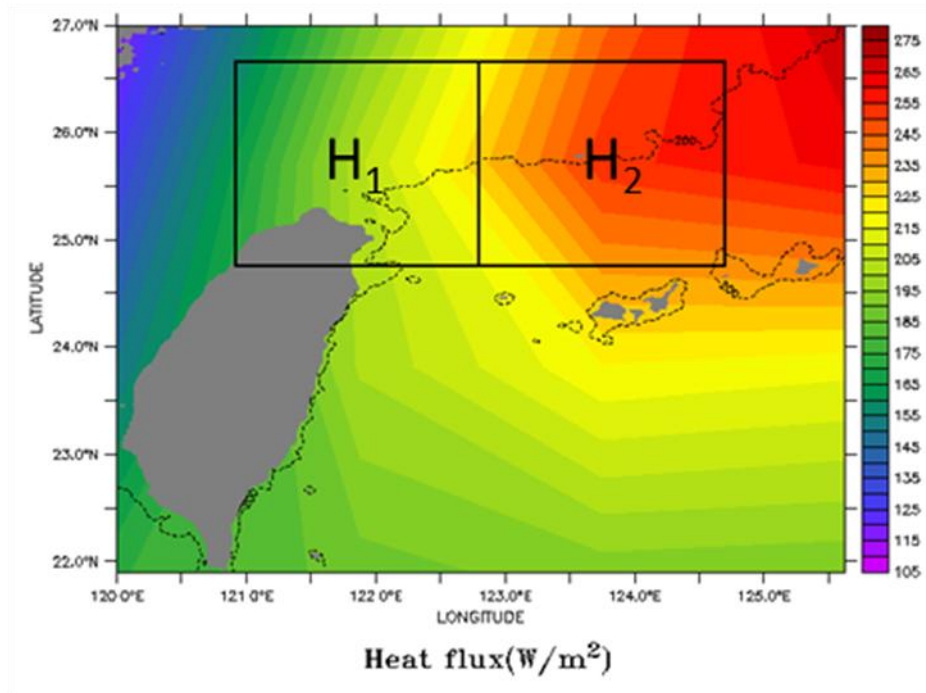


圖 2-4 熱通量示意圖

底圖顏色為潛熱通量與可感熱通量相加的值(單位: W/m^2)，圖中黑框左邊為黑色方框 H_1 ，範圍為經度 $120.92^\circ E$ 至 $122.8^\circ E$ ，右邊為黑色方框 H_2 ，範圍為經度 $122.8^\circ E$ 至 $124.7^\circ E$ ，緯度皆為 $24.75^\circ N$ 至 $26.65^\circ N$ 。

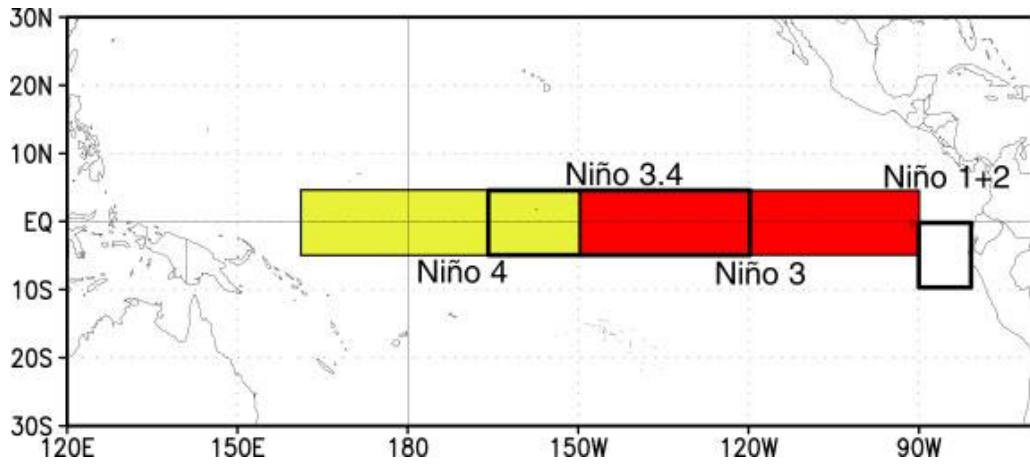


圖 2-5 Niño3.4 指標 範圍示意圖

黃色區域為 Niño 4，紅色區域為 Niño 3，黑框白底區域為 Niño 1+2，而 Niño 3.4 為 Niño 3 與 Niño 4 之間粗黑框的範圍。(來源:<http://www.cpc.ncep.noaa.gov>)

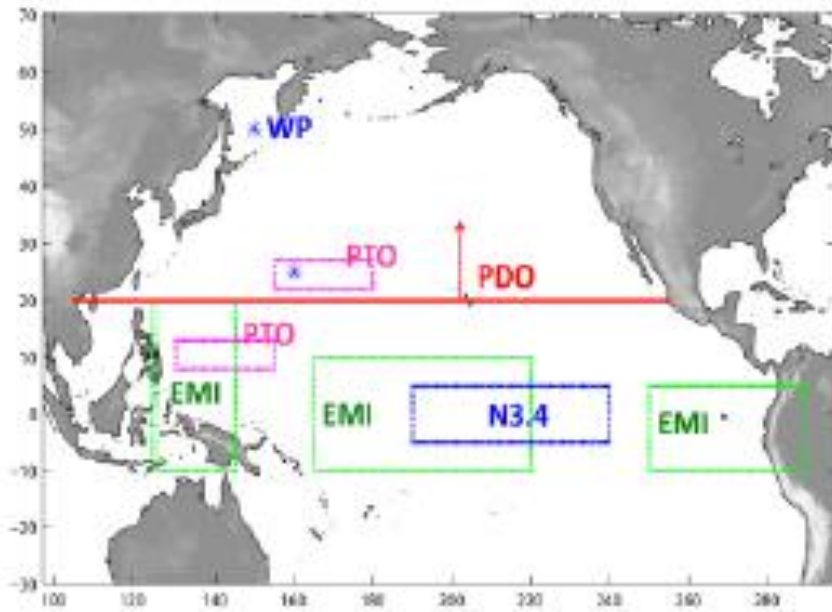


圖 2-6 各氣候指標範圍示意圖

紅色範圍為 PDO 指標，藍色為 Niño 3.4，粉紅色範圍為 PTO 指標 (取自 Chang and Oey, 2011)。

第三章、結果與討論

3.1 資料驗證

為驗證 AVISO 衛星觀測資料的可信度，將 AVISO 地轉流場與前人研究做比對，確認流場一致後，再用 AVISO 地轉流傳輸量與 Hsin et al. (2011) 中實測潮汐站所推導的傳輸量資料做對照，經由驗證 AVISO 地轉流資料是可信之後，進一步做分析。

3.1.1 前人研究與 AVISO 地轉流場驗證

利用 AVISO 地轉流衛星觀測資料，觀察在台灣東北部黑潮各季節的流況分析(如圖 3-1 所示)，由圖中黑色方框(K.I. 指標)可看出黑潮入侵陸棚的情形，在夏季(6 月至 8 月)黑潮主軸流速最強，而入侵最不明顯，當漸漸由秋季(9 月至 11 月)進入冬季(12 月至 2 月)時，主軸流速逐漸減弱，而入侵東海陸棚的現象越來越明顯，到春季(3 月至 5 月)主軸流速又開始變強，入侵的現象也變弱，此結果與前人(Wu et al., 2008；Ichikawa et al., 2008) 研究一致。

為更清楚觀察黑潮入侵陸棚季節性的變化，故在台灣東北取一測線(如圖 3-2 圖中黑色斜線位置)且跨過東海陸棚，將測線流速做逐月平均，以流速最快的區域為主軸位置，流寬是以流速 0.2 m/s 為界，可發現明顯的季節性擺動，在夏季(6 月至 8 月)時，黑潮主軸流速最

快，入侵量最少，流寬最窄，而冬季(12月至2月)主軸流速最慢，入侵量明顯增加，流寬最寬(如圖 3-3 所示)。

3.1.2 AVISO 傳輸量驗證

為更確定衛星觀測資料的可信度，故與實測資料做比對，取用 AVISO 的 SSH 資料計算出的黑潮地轉流傳輸量(如文 2.2.4)與 Hsin et al. (2011)之傳輸量(如圖 3-4)做相關達 0.56，透過計算超過 99%顯著水準(Significance Level)臨界值為 0.07，呈顯著相關，故 AVISO 衛星資料與實際現象相符。

3.2 結果分析

由於本研究主要是研究黑潮之年際變化，故將資料做去除季節(seasonal)與季內(intra-seasonal)訊號的處理，以便更容易看出黑潮在年際上的變化，然後再與其他會影響黑潮的因素做相關，找出可能影響的原因，並加以解釋與分析。

而本研究是經過異常值的運算後，再將此一時間序列，經濾除 15 個月以下的訊號，去除季節與季內的訊號，得到年際變化的時間序列。

3.2.1 K. I. 指標、傳輸量與熱通量梯度相關性

由於在前人(Ichikawa et al., 2008 ; Oey et al., 2010)研究發現，黑潮的流速變化與表面熱通量會影響入侵的情況，故將 K. I. 指標與傳輸量和熱通量梯度年際變化時間序列比對(如圖 3-5 和 3-6)並做相關，皆超過 99%顯著水準臨界值，呈現顯著相關(如表 3-1)，在傳輸量部分呈現負顯著相關，當傳輸量增加(減少)，黑潮容易向東(向西)擺動，造成入侵陸棚的量會減少(增加)。

在熱通量梯度的部分呈現正顯著相關，當梯度變大(變小)時，密度梯度變大(變小)，使得 JEBAR 效應明顯(不明顯)，黑潮主軸向靠岸(離岸)擺動，故入侵陸棚的量會增加(減少)。

3.2.2 K. I. 指標與 ENSO、PDO 和 PTO 之相關性

為研究黑潮入侵東海在年際變化上與各氣候指標是否有相關性，將 K. I. 指標與 ENSO、PDO(濾除 15 個月以下的訊號)和 PTO 年際變化時間序列比對(如圖 3-7)並做相關，也皆超過 99% 顯著水準臨界值，呈現負顯著相關(如表 3-1)，但在 ENSO 與 PTO 有延遲的效應，則 PDO 沒有。

由於 PDO 為北太平洋的震盪，約在 20°N 以北中緯度的區域(如圖 2-9)，影響得範圍也涵蓋台灣區域(約 22°N 以北)，故推測因為此原因對黑潮沒有延遲的效應；而在 ENSO 是發生後 1 個月影響到黑潮，根據 Hwang 和 Kao (2002)在衛星觀測資料發現，與 ENSO 指標做相關發現，在台灣東部黑潮的下游，也是大約延遲一個月影響；而 PTO 是延遲 4 個月，原因根據 Chang 和 Oey (2011)研究指出，在西太平洋向西傳的中尺度渦漩(mesoscale eddies)，所傳遞的時間約為 2 至 6 個月，才會靠近黑潮進而影響，故可能是此原因所造成的延遲效應。

3.3 討論

綜合前述結果，可知在台灣東北部的黑潮，在正常的情况下，夏季多為不入侵東海陸棚，而在冬季多為入侵的，且經由相關比對，黑潮的入侵量與傳輸量、熱通量梯度和各氣候指標是息息相關的，故進

一步探討。

將 K. I. 指標與 ENSO 和 PDO 指標比對(如圖 3-8)，發現在 1997/98 年與 2002/03 年的冬季，黑潮入侵的量明顯減少，甚至是不入侵的情況，且又是在 PDO 正值與聖嬰年的時期，為找出造成此現象的原因做進一步分析。

由前人研究發現黑潮可能會受到台灣區域的季風，在冬季台灣區域吹著強烈的東北季風，帶動西北方向的艾克曼傳輸，使的黑潮容易向陸棚擺動，而入侵到東海陸棚，於是利用 NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis 資料觀察風場是否有明顯的改變，但是在 1997/98 和 2002/03 年的冬季風場均無明顯的改變(如圖 3-9 和圖 3-10)，故入侵量明顯減少與風的作用無關。

為找出是否受其他可能影響黑潮之因素影響，將 K. I. 指標與傳輸量和熱通量梯度年際變化時間序列做標準化後比對(如圖 3-11)，可看出其變化量，發現在 1997/98 年的冬季黑潮傳輸量並沒有明顯的增加，但是在熱通量梯度的部分，1997/98 年的冬季，有明顯變小的現象，這使得 JEBAR 效應變的不明顯，黑潮不易入侵東海陸棚，造成入侵量的減少。另外，我們也發現 2000/01 年的冬季，熱通量梯度也有變小的情況，但是入侵量卻沒有減少，這是因為黑潮的傳輸量有明顯減少的現象，故導致在那年冬季還是呈現入侵的情況。

2002/03 年冬季的傳輸量與熱通量梯度並沒有明顯的變化，但 K. I. 與 PTO 指標比對後發現，在 2002/03 年冬季，PTO 明顯呈現正值(如圖 3-12)，而根據 Chang 和 Oey (2011)，來自西太平洋向西傳遞的中尺度渦漩，在 PTO 正向時，靠近台灣東部黑潮的反氣旋渦漩會增加(如圖 3-13)，又根據 Zhang et al. (2001)、Yang et al. (2004)與 Ichikawa et al. (2008)研究發現，當高壓(反氣旋)渦漩靠近黑潮時，使得容易導致黑潮向東方蜿蜒的現象，故可能是造成在 2002/03 年冬季入侵量有明顯減少的原因。

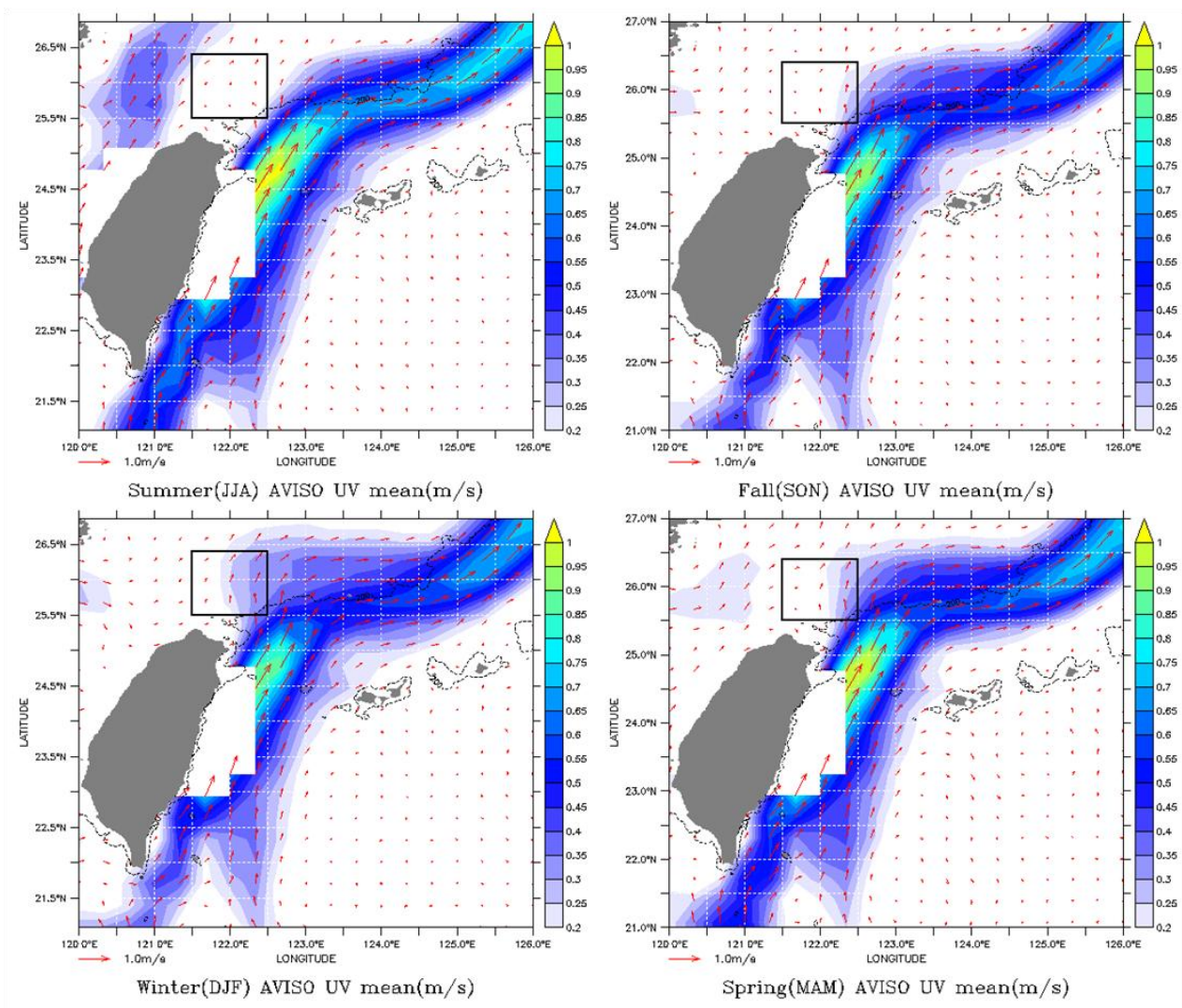


圖 3-1 AVISO 衛星流場圖

分別為(A)夏季(B)秋季(C)冬季(D)春季平均流場示意圖，主要探討黑潮入侵東海陸棚情形，底色設定為海流流速，箭頭為海流流場方向與速度(單位:m/s)，黑色虛線為 200 等深線，黑色方框為定義的 K.I. 指標區域，詳細說明如文 3.1.1。

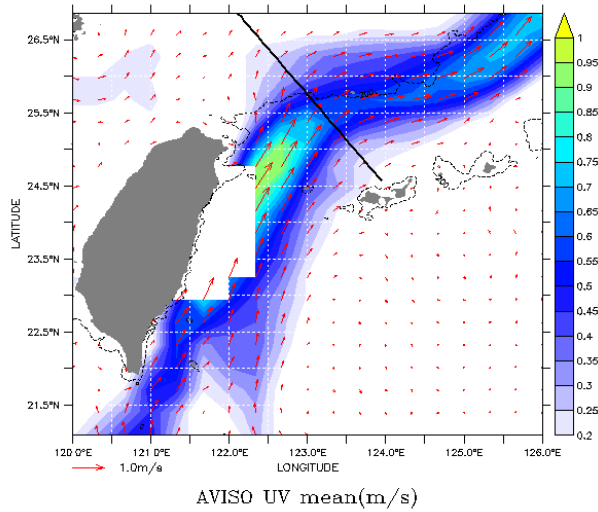


圖 3-2 AVISO 衛星黑潮平均流速測線示意圖

底圖為全年的平均流速(單位:m/s)，黑色斜線為黑潮平均流速測線。

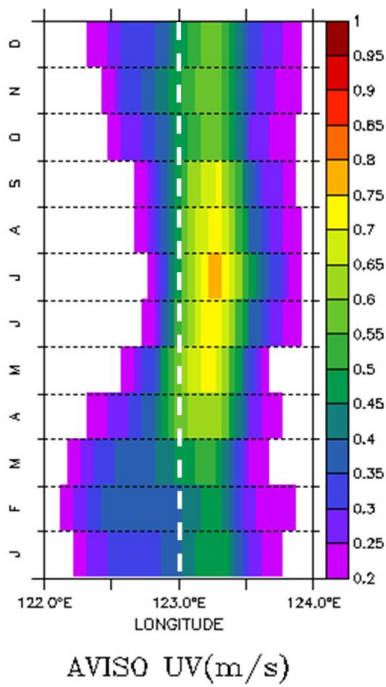


圖 3-3 AVISO 衛星黑潮平均流速時間序列圖

平均範圍如圖 3-2 黑色測線，白色虛線為測線與 200 等深線交界處，底色代表流速(單位:m/s)，詳細說明如文 3.1.1。

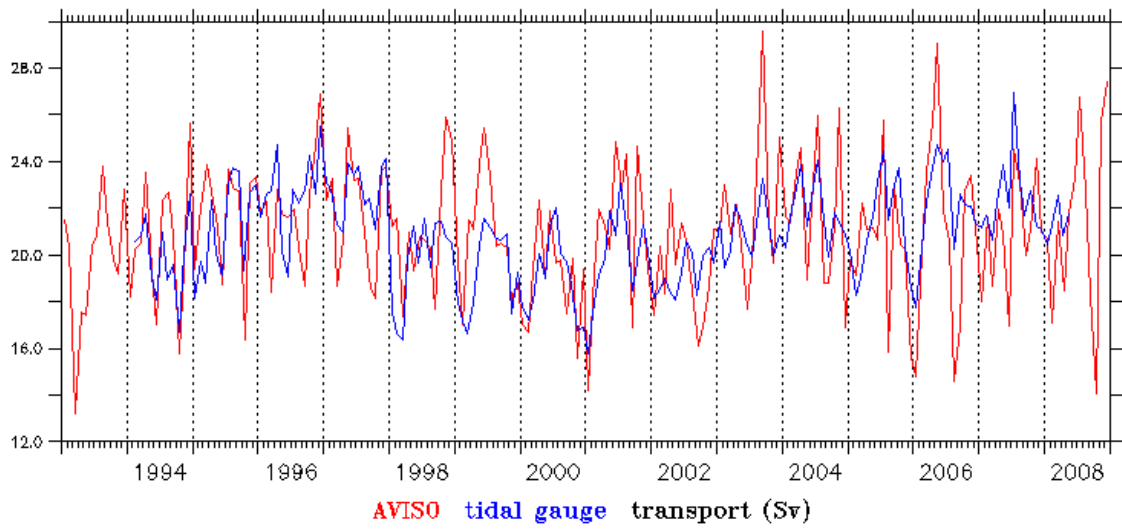


圖 3-4 AVISO 衛星黑潮傳輸量與 Hsin et al. (2011) 之傳輸量時間序列圖

紅線為 AVISO 衛星海高資料所計算出的黑潮傳輸量，藍線為 Hsin et al. (2011) 之傳輸量(單位:1Sv= $10^6\text{m}^3/\text{s}$)。

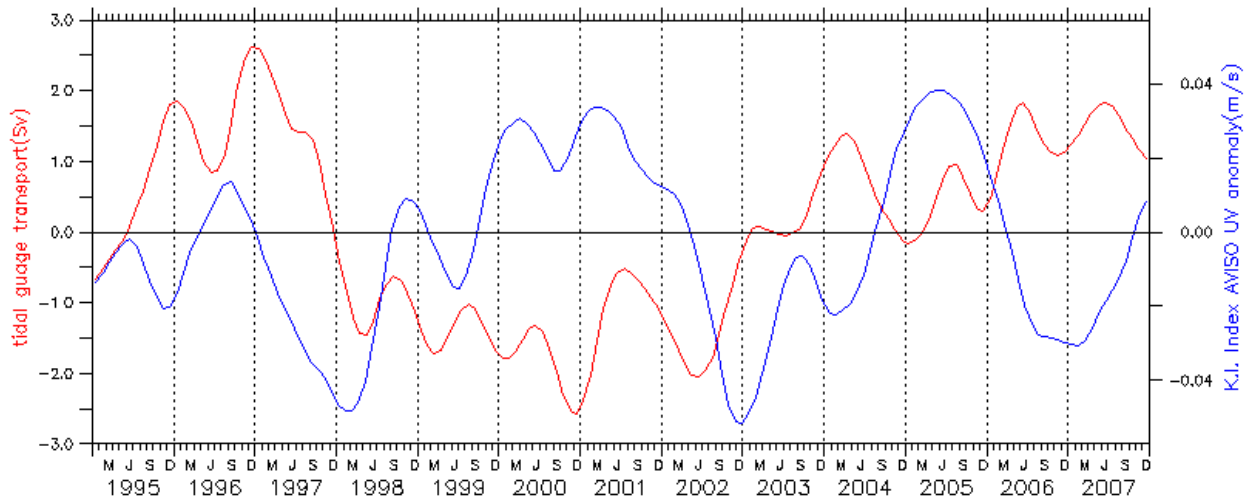


圖 3-5 黑潮傳輸量與 K.I. 指標年際變化時間序列

紅線為黑潮傳輸量，藍線為 K.I. 指標。

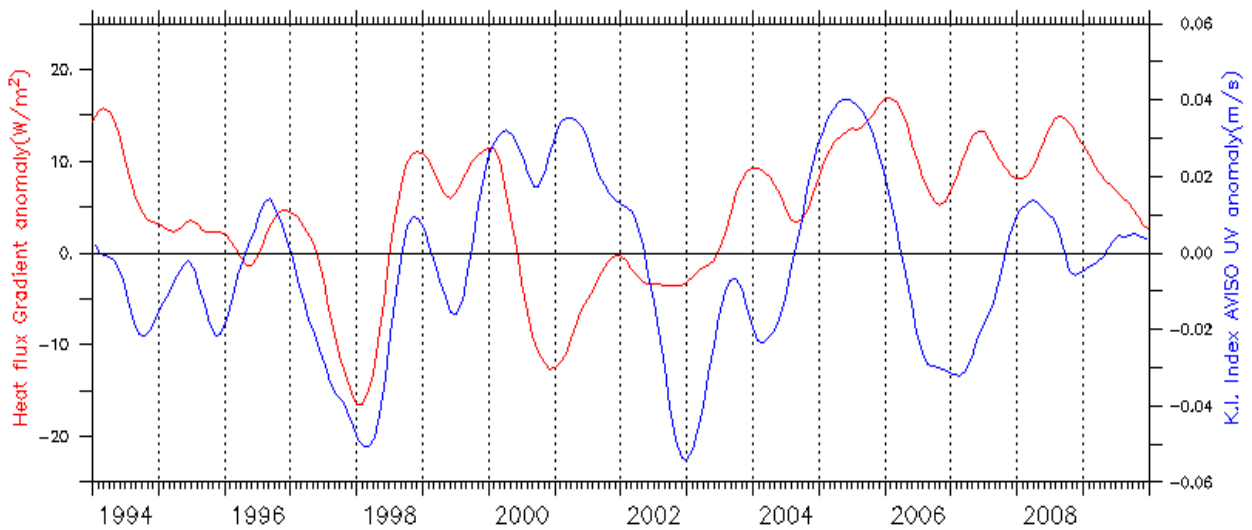
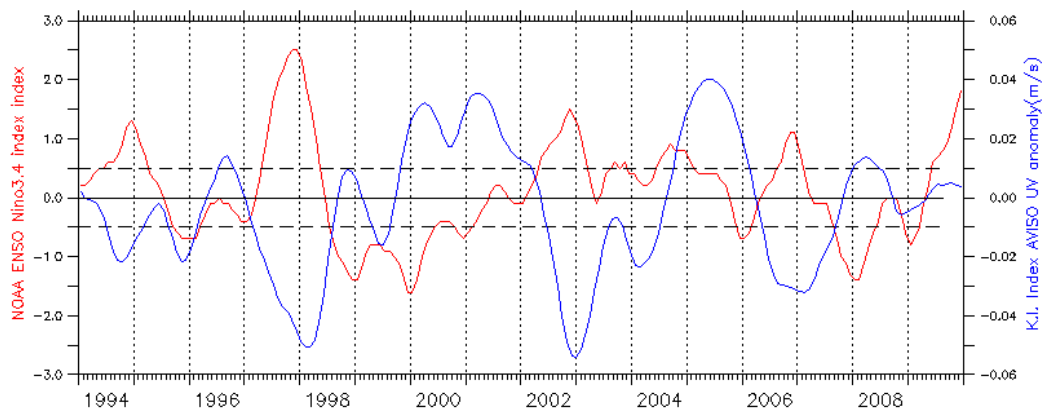


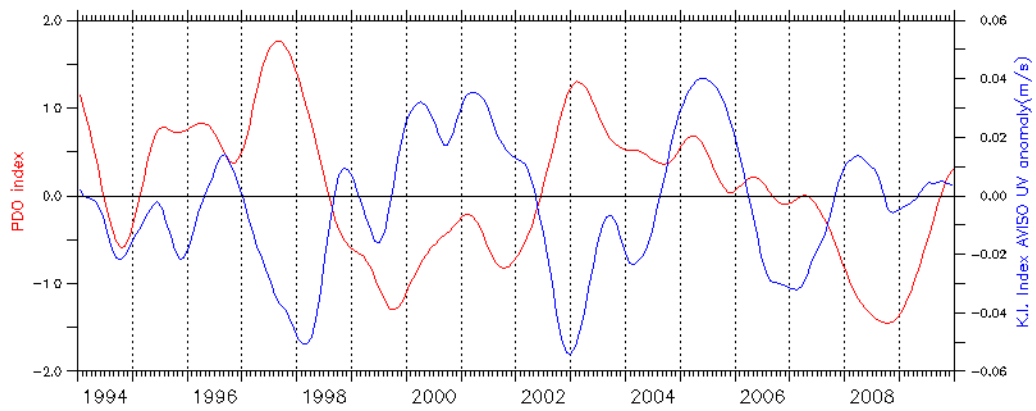
圖 3-6 熱通量梯度與 K.I. 指標年際變化時間序列

紅線為熱通量梯度，藍線為 K.I. 指標。

a.



b.



c.

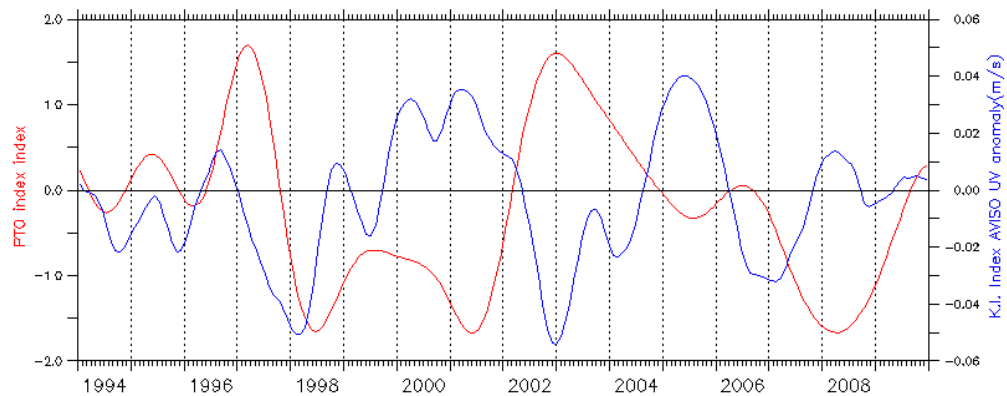


圖 3-7 ENSO、PDO、PTO 與 K.I. I 指標年際變化時間序列

藍色均為 K.I. 指標，紅線為(a)ENSO 指標(b)PDO 指標(經濾除 15 個月以下的訊號)(c)PTO 指標。

表 3-1 K.I. 指標與黑潮傳輸量、熱通量梯度和各指標相關表

	Lag (month)	Correlation	95% Significance Level	99% Significance Level
Heat flux Gradient		0.25	0.14	0.20
PCM-1 transport		-0.29	0.14	0.20
PTO	4	-0.53	0.12	0.18
PDO	0	-0.47	0.15	0.22
ENSO	1	-0.55	0.17	0.25

詳細說明如文 3.2.1 和 3.2.2。

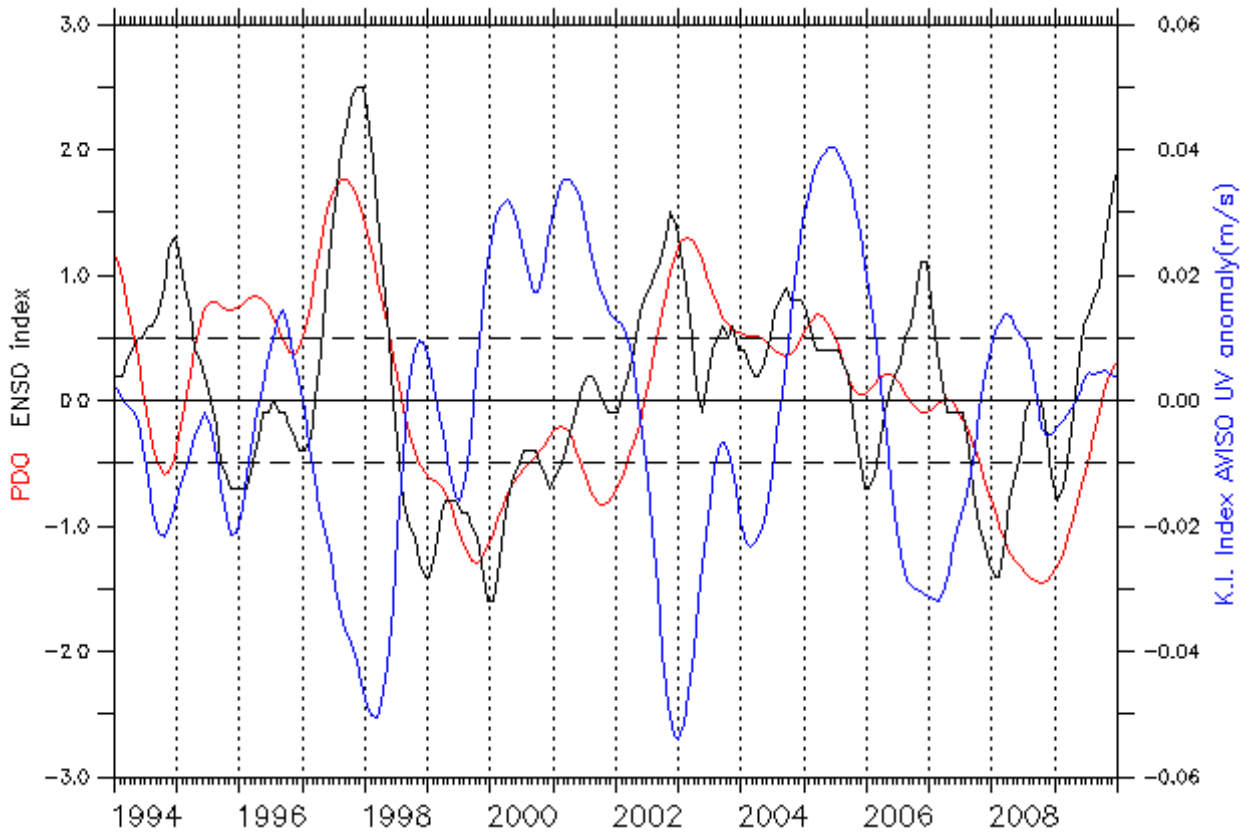


圖 3-8 ENSO、PDO 與 K.I. 指標年際變化時間序列圖

紅線為 PDO 指標經濾除 15 個月以下的訊號，黑色為 ENSO 指標，藍線為 K.I. 指標，詳細說明如文 3.3。

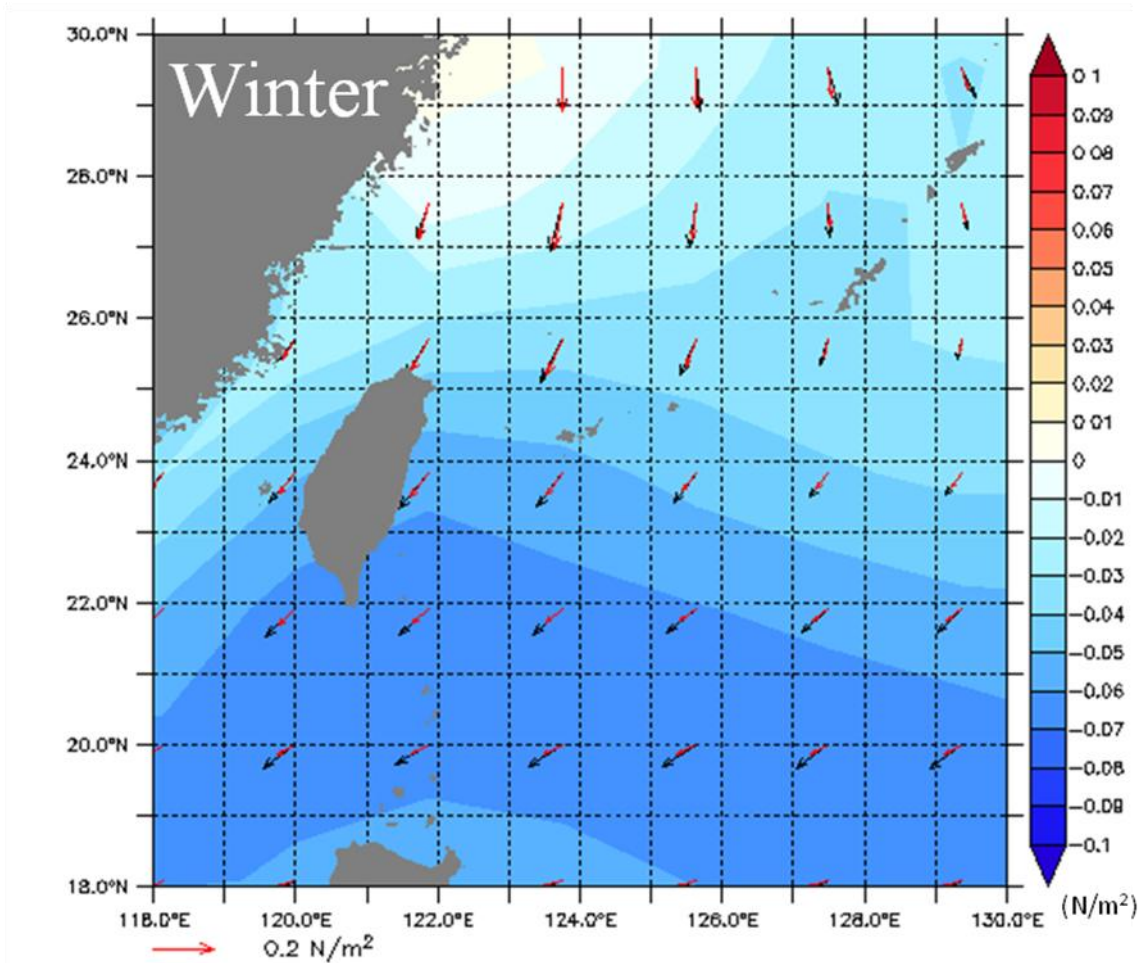


圖 3-9 1997-1998 年冬季風應力異常示意圖

底圖顏色為風應力異常值，紅色箭頭為 1997 年到 1998 年冬季的風應力，黑色箭頭為資料內所有冬季的平均，詳細說明如文 3.3。

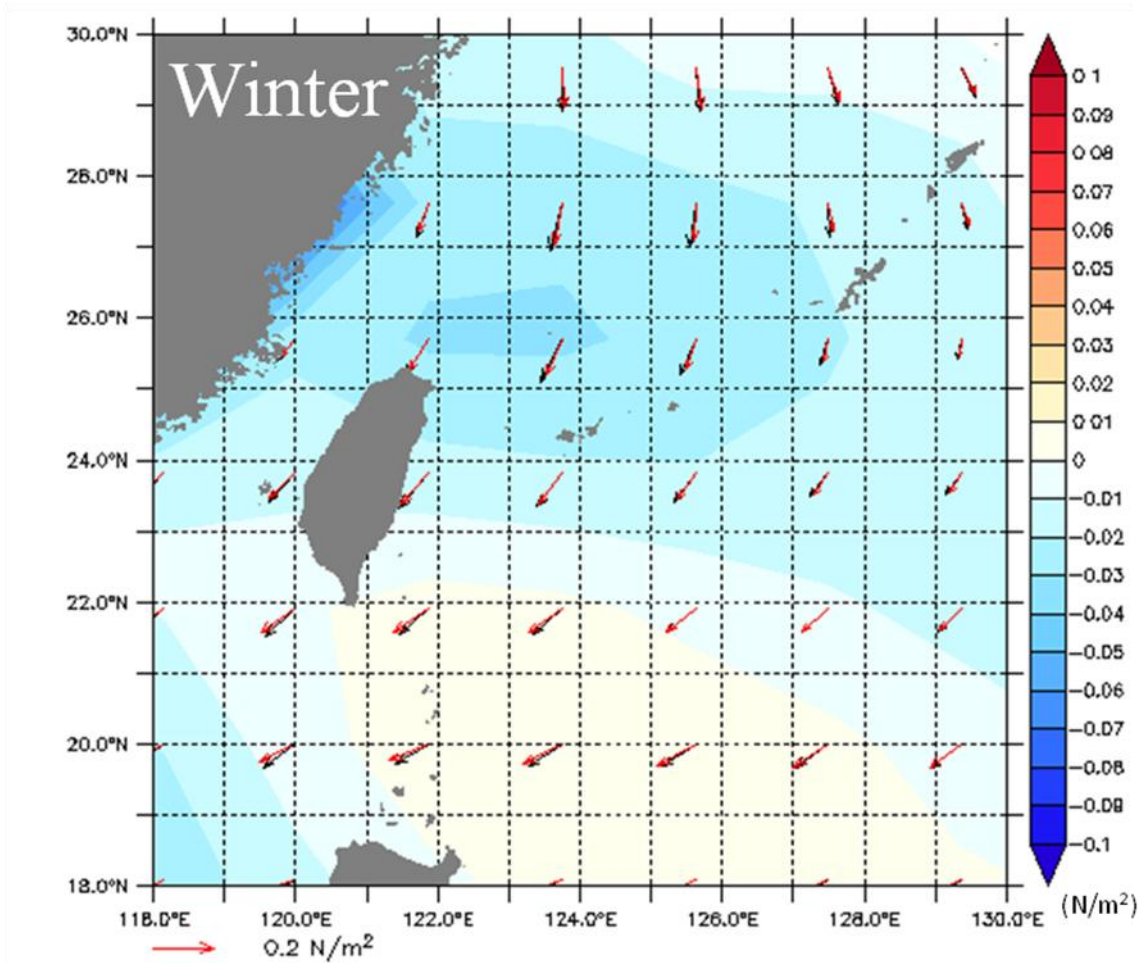


圖 3-10 2002-2003 年冬季風應力異常示意圖

底圖顏色為風應力異常值，紅色箭頭為 2002 年到 2003 年冬季的風應力，黑色箭頭為資料內所有冬季的平均，詳細說明如文 3.3。

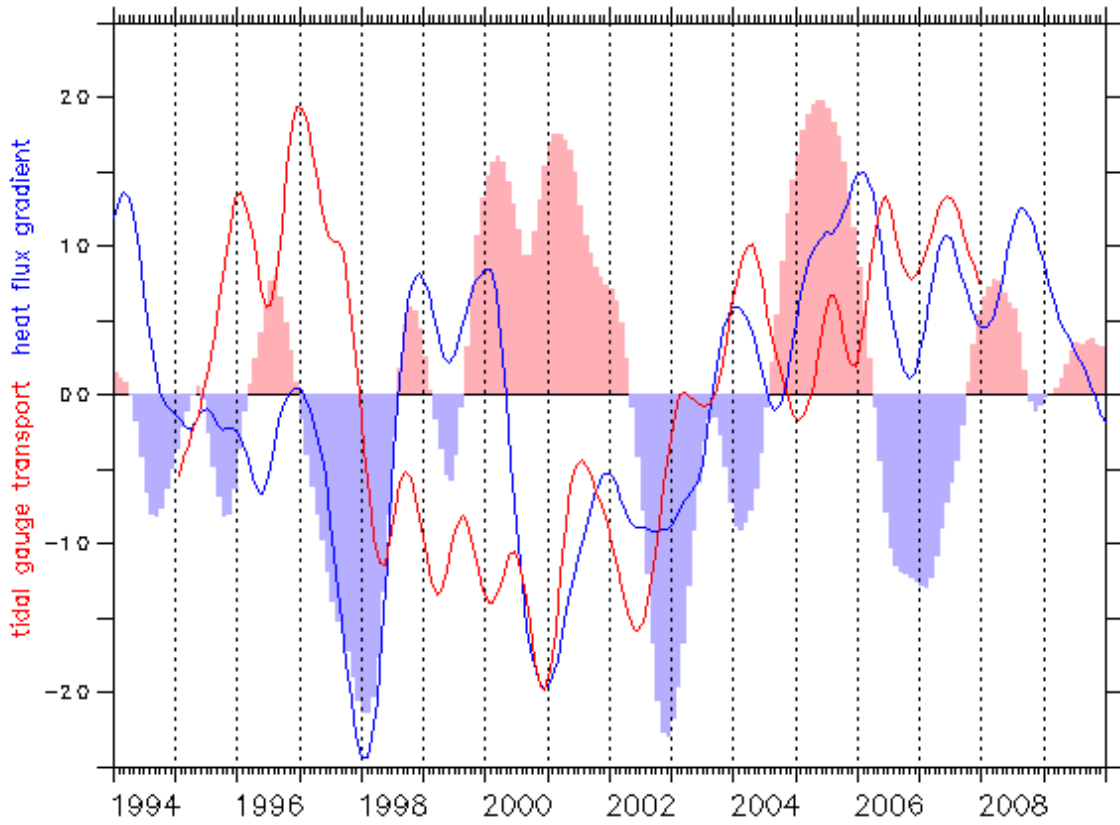


圖 3-11 K.I. 指標、黑潮傳輸量與熱通量梯度年際變化時間序列圖

底圖顏色為 K.I. 指標，紅線為黑潮傳輸量，藍線為熱通量梯度，且皆經過標準化處理，詳細說明如文 3.3。

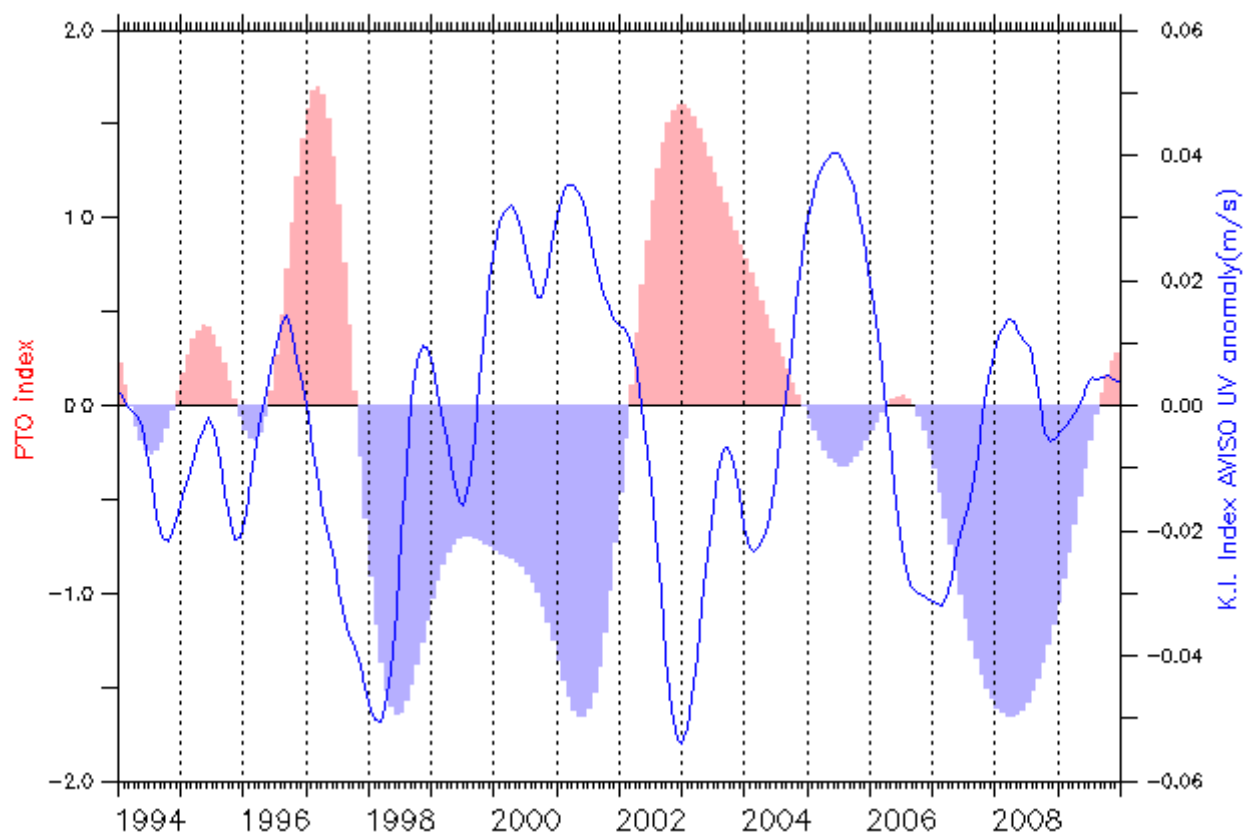


圖 3-12 PTO 與 K.I. 指標年際變化時間序列圖

底圖顏色為 PTO 指標，藍線為 K.I. 指標，詳細說明如文 3.3。

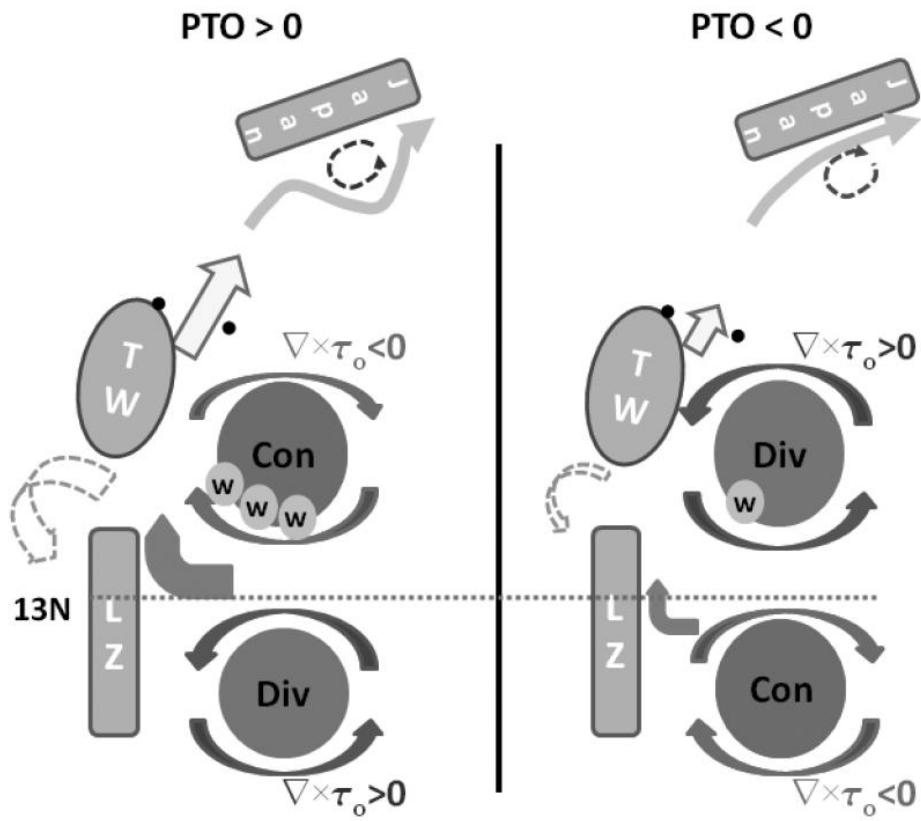


圖 3-13 PTO 影響西北太平洋效應示意圖

詳細說明如文(Chang and Oey, 2011)。

第四章、結論

本研究是探討在台灣東北流場的年際變化，使用完整且長時間的 AVISO 衛星觀測資料，從衛星導衍的地轉流可明顯看出黑潮，在台灣東北有明顯東西擺動的現象，為觀察入侵東海陸棚的情況而定義出 K. I. 指標，當 K. I. 指標的流速變大(變小)時，就代表黑潮入侵東海陸棚的量較多(較少)，然後再將此指標做異常值處理，去除季節性與季內的訊號，觀察年際上的變化。

在年際變化方面，將 K. I. 指標與 ENSO、PDO 指標比對，發現在 1997/98 年與 2002/03 年的冬季，當 PDO 與 ENSO 皆呈正值時，入侵量有明顯減少的現象，為找出造成此現象的原因做進一步分析。

由前人研究發現黑潮可能會受到台灣區域季風、黑潮傳輸量和台灣北部的經向熱通量梯度等因素改變而影響，經比對後發現，在 1997/98 年冬季的風場與黑潮傳輸量並沒有明顯的改變，但熱通量梯度明顯變小，造成 JEBAR 效應變的不明顯，使得黑潮不易入侵，是入侵量明顯減少的因素，又發現在 2000/01 年的冬季，熱通量梯度也是變小的情況，但入侵量卻沒有減少，這是因為黑潮的傳輸量明顯減少，導致在那年冬季還是呈現入侵的情況。

在 2002/03 的冬季，黑潮傳輸量和熱通量梯度皆無明顯變化，而

風應力與風向也沒有明顯的變化，但比對 PTO 指標發現，在 2002/03 年冬季呈現明顯的正值，根據 Chang 和 Oey(2011)研究指出，來自西太平洋向西傳遞的中尺度渦漩，在 PTO 正向時，靠近黑潮的反氣旋渦漩會增加，又根據 Zhang et al. (2001)、Yang et al. (2004)與 Ichikawa et al. (2008)發現，當高壓(反氣旋)渦漩靠近黑潮時，容易導致黑潮向東方蜿蜒的現象，故此原因可能是造成在 2002/03 年冬季入侵有明顯減少的原因。

參考文獻

- Chang , Y.-L., and L.-Y. Oey (2012): The Philippines-Taiwan Oscillation: Monsoon-Like Interannual Oscillation of the Subtropical -Tropical Western North Pacific Wind System and Its impact on the ocean. *Journal of Climate*, **25**, 1597-1618.
- Chao, S.-Y. (1991): Circulation of the East China Sea, a numerical study. *Journal of Oceanography*, **42**, 273–295.
- Cheng, Y.-H., C.-R. Ho, Z.-W. Zheng, Y.-H. Lee, and N.-J. Kuo (2009): An algorithm for cold patch detection in the sea off northeast Taiwan using multi – sensor data. *Sensors*, **9**, 5521-5533, doi:10.3390/s90705521.
- Chern, C.-S., and J. Wang (1989): On the water masses at northern offshore area of Taiwan. *Acta Oceanographica Taiwanica*, **22**, 14-32.
- Hsin, Y.-C., T.-L. Chiang, and C.-R. Wu (2011): Fluctuations of the thermal fronts off northeast Taiwan. *Journal of Geophysical Research*, **116**, C10005, doi:10.1029/2011JC007066.
- Hsin, Y.-C., C.-R. Wu., and P.-T. Shaw (2008): Spatial and temporal variations of the Kuroshio east of Taiwan,1982–2005: A

numerical study. *Journal of Geophysical Research*, **113**, C04002, doi:10.1029/2007JC004485.

Hsu, S.-C., F.-J. Lin, W.-L. Jeng, and T. Y. Tang (1998): The effect of a cyclonic eddy on the distribution of lithogenic particles in the southern East China Sea. *Journal of Marine Research*, **56**, 813-832.

Hwang , C., and R. Kao (2002): TOPEX/POSEIDON-derived space–time variations of the Kuroshio Current: applications of a gravimetric geoid and wavelet analysis . *Geophys Journal International*, **151**, 835-847, doi: 10.1046/j.1365-246X.2002.01811.x..

Ichikawa, K., R. Tokeshi, M. Kashima, K. Sato, T. Matsuoka, S. Kojima and S. Fujii (2008): Kuroshio variations in the upstream region as seen by HF radar and satellite altimetry data. *International Journal of Remote Sensing*, **29**, 6317-6326, doi:10.1080/01431160802175454.

Kanamitsu, M., W. Ebisuzaki, J. Woollen, S.-K. Yang, J. J. Hnilo, M. Fiorino, and G. L. Potter (2002): NCEP-DEO AMIP-II Reanalysis (R-2). *Bulletin of the American Meterological Society*, **83**, 1631-1643, doi: 10.1175/BAMS-83-11-1631.

Nitani, H. (1972): Beginning of the Kuroshio. In: *Kuroshio, its physical aspects*, H. Stommel and K. Yoshida, editors, University of Tokyo Press, Tokyo, 129-163.

Oey, L.-Y., Y.-C. Hsin, and C.-R. Wu (2010): Why does the Kuroshio northeast of Taiwan shift shelfward in winter? *Ocean Dynamics*, **60**, 413-426, doi: 10.1007/s10236-009-0259-5.

Wu, C.-R., H.-F. Lu, and S.-Y. Chao (2008): A numerical study on the formation of upwelling off northeast Taiwan. *Journal of Geophysical Research*, **113**, C08025, doi:10.1029/2007JC004697.

Yang, Y., C.-T. Liu, T. N. Lee, and W. E. Johns (2004): Geostrophic uncertainty and anomalous current structure in association with mesoscale eddies delineated by altimeter observations east of Taiwan. In: *Satellite Altimetry for Geodesy, Geophysics and Oceanography*, 205-211.

Yang, Y., C.-T. Liu, T. N. Lee, W. E. Johns, H.-W. Li, and M. Koga (2001) Sea surface slope as an estimator of the Kuroshio volume transport east of Taiwan. *Geophysical Research Letters*, **28**, 2461-2464.

- Yang, Y., C.-T. Liu, J.-H. Hu and M. Koga (1999): Taiwan Current (Kuroshio) and Impinging Eddies. *Journal of Oceanography*, **55**, 609-617.
- Yu, L. and R. A. Weller (2007): Objectively analyzed air-sea heat fluxes for the global ice-free oceans (1981–2005). *Bulletin of the American Meteorological Society*, **88**, 527-539.
- Zhang, D., T. N. Lee, W. E. Johns, C.-T. Liu and R. Zantopp (2001): The Kuroshio east of Taiwan: Modes of variability and relationship to interior ocean mesoscale eddies. *Journal of Physical Oceanography*, **31**, 1054-1074, doi:10.3390/s90705521.