

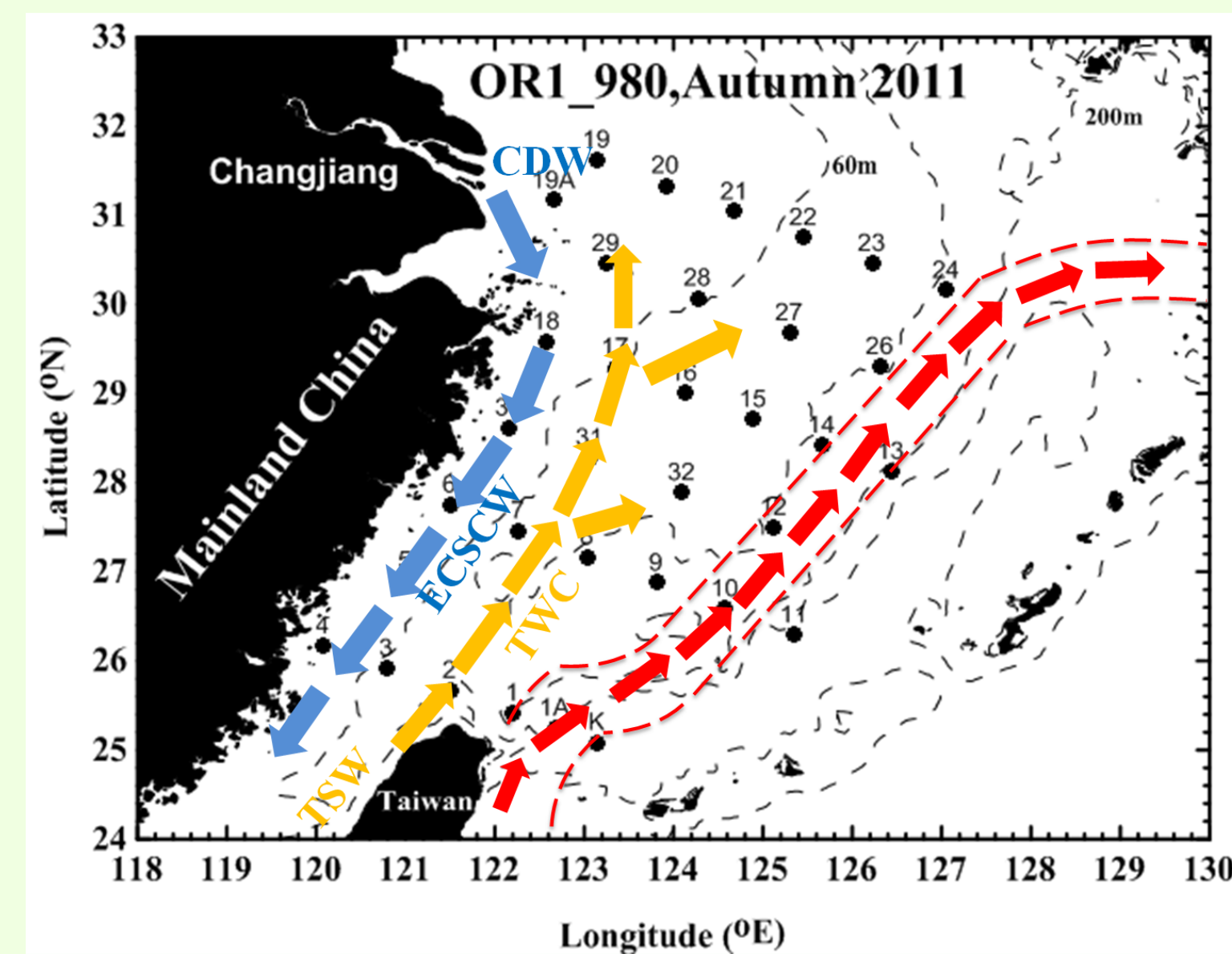
秋季時東海陸棚是大氣二氧化碳的「源」還是「匯」？

蔡儀慧 (碩士班二年級) 指導老師：周文臣

前言

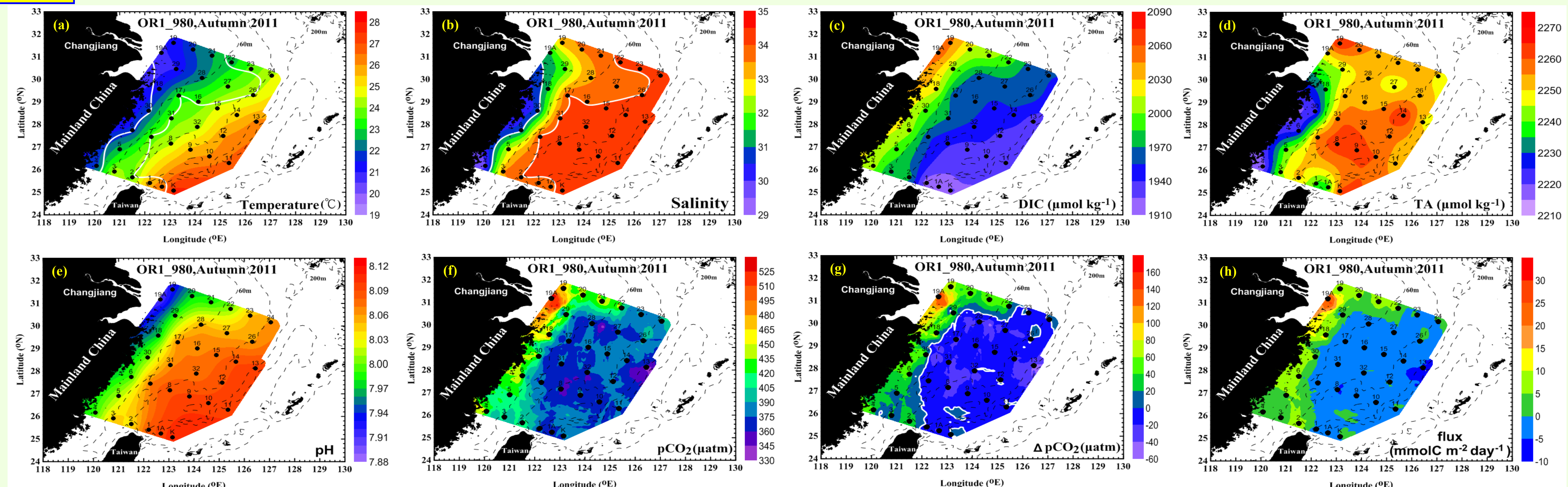
邊緣海域面積雖然僅佔全球海域的 7.2%，但卻佔了全球海洋二氧化碳吸收量的 25% 左右。由此可見，相較於開放性大洋，邊緣海域對大氣二氧化碳的吸收能力更為顯著。因此，邊緣海域二氧化碳海氣交換通量的研究，對瞭解全球的碳循環具有關鍵的重要性。過去對東海二氧化碳海氣交換所進行過的研究，幾乎毫無例外地均指出，整個東海陸棚一年四季皆為大氣二氧化碳的「匯」。但近年來本實驗室在夏、冬兩季的觀測結果發現，在鄰近長江口的內陸棚海域，夏季時為大氣二氧化碳的強「匯」，冬季時則大致呈現海氣平衡的狀態。此種季節變化的特性，可由冬季時強烈的垂直混合作用，將夏季時累積在底水中的二氧化碳，帶至表水加以解釋。若此解釋為真，則當秋季水體開始發生垂直混合作用時，鄰近長江口的內陸棚海域應會呈現大氣二氧化碳「源」的狀態。為驗證上述假說，本研究利用海研一號 980 航次(2011 年 10 月 22 日~11 月 3 日)，對秋季時整個東海陸棚化學參數及海氣二氧化碳交換通量的分布情形，進行了完整的調查。

材料與方法



圖一、測站位置圖。圖中數字為測站編號，箭號代表秋季時東海環流概況。(ECSCW：東海沿岸水；CDW：長江沖淡水；TWC：臺灣暖流水；TSW：臺灣海峽水；KSW：黑潮表層水)。採樣時間為 2010 年 10 月 22 日至 11 月 3 日。溫度、鹽度及溶氧採用 CTD 資料；pH 使用電位法測量 (total scale)，精確度為 ± 0.005；溶解態無機碳(DIC)以非分散性紅外光譜法測定之，精確度為 ± 0.25%；總鹼度(TA)採用「電位滴定法」來進行。精確度為 ± 0.15%；二氧化碳分壓(pCO₂)，以走航式海、氣二氧化碳即時分析系統(Underway pCO₂ system)測定之，精確度為 ± 1 atm。

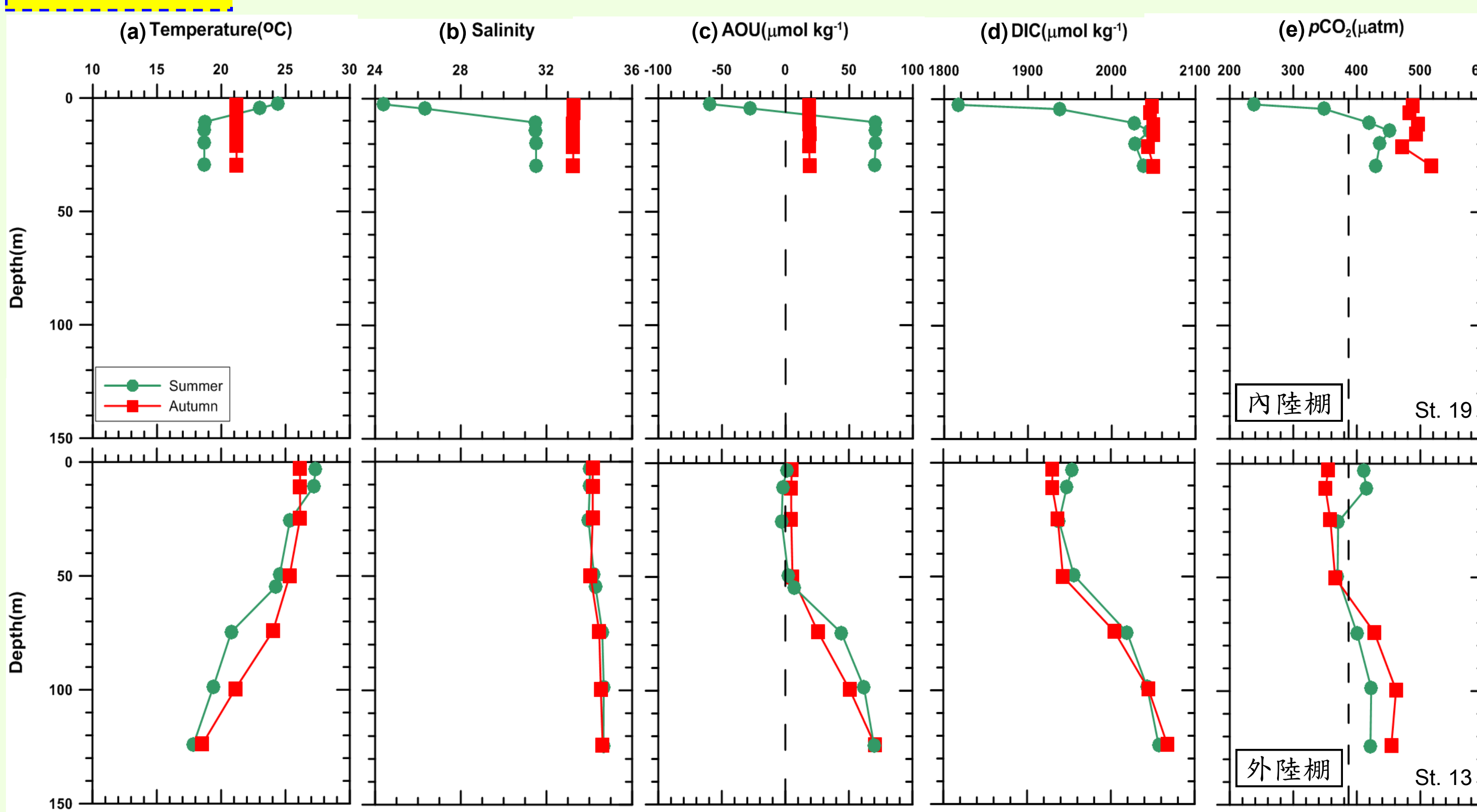
結果



圖二、(a)溫度之空間分布，範圍介於 20.9~27.7 °C，呈現由內陸棚向外陸棚遞增的趨勢。(b)鹽度之空間分布，範圍介於 29.8~34.4，呈現由內陸棚向外陸棚遞增的趨勢。上述溫度分布特徵大致與秋季時東海的環流形態相符。(c)DIC之空間分布，範圍介於 1913~2058 μmol kg⁻¹，呈現由內陸棚向外陸棚遞增的趨勢。(d)TA之空間分布，範圍介於 2216~2267 μmol kg⁻¹，呈現由內陸棚向外陸棚遞增的趨勢。(e)pH之空間分布，範圍介於 7.906~8.109，呈現由內陸棚向外陸棚遞增的趨勢。(f)pCO₂之空間分布，範圍介於 334~553 μatm，呈現由內陸棚向外陸棚遞增的趨勢。(g)ΔpCO₂之空間分布，海-氣二氧化碳的分壓差(ΔpCO₂=pCO₂^{sw}-pCO₂^{air})分佈範圍介於 -50~167 μatm 之間。等深線約 60m 以深的中、外陸棚海域，ΔpCO₂皆小於 0，顯示此海域是大氣二氧化碳的「匯」；等深線約 60m 以淺的內陸棚海域，ΔpCO₂皆大於 0，顯示此海域是大氣二氧化碳的「源」。整個東海陸棚ΔpCO₂的平均值為 5 μatm，顯示就整體而言，秋季時東海陸棚扮演了大氣二氧化碳「源」的角色。(h)二氧化碳海氣交換通量之空間分布，範圍介於 -7.4~29.5 mmol C m⁻² day⁻¹，平均為 0.6±5.4 mmol C m⁻² day⁻¹，呈現由內陸棚向外陸棚遞增的趨勢。承前所述，等深線約 60m 以淺的內陸棚海域為大氣二氧化碳的「源」，等深線 60m 以深的中、外陸棚海域，則為大氣二氧化碳的「匯」。分別計算上述「源」、「匯」海域之平均ΔpCO₂乘上其面積後可得：秋季時，東海等深線 60m 以淺的內陸棚海域約會釋放 8800 噸的二氧化碳至大氣當中；等深線 60m 以深的中、外陸棚海域每天則約可吸收 6000 噸的大氣二氧化碳。整體而言，秋季時東海陸棚海氣二氧化碳的收支平衡呈現淨釋放的状态，釋放量為每天 2800 噸。

討論一

為何等深線約 60m 以淺是大氣二氧化碳的「源」，而等深線約 60m 以深是大氣二氧化碳的「匯」？



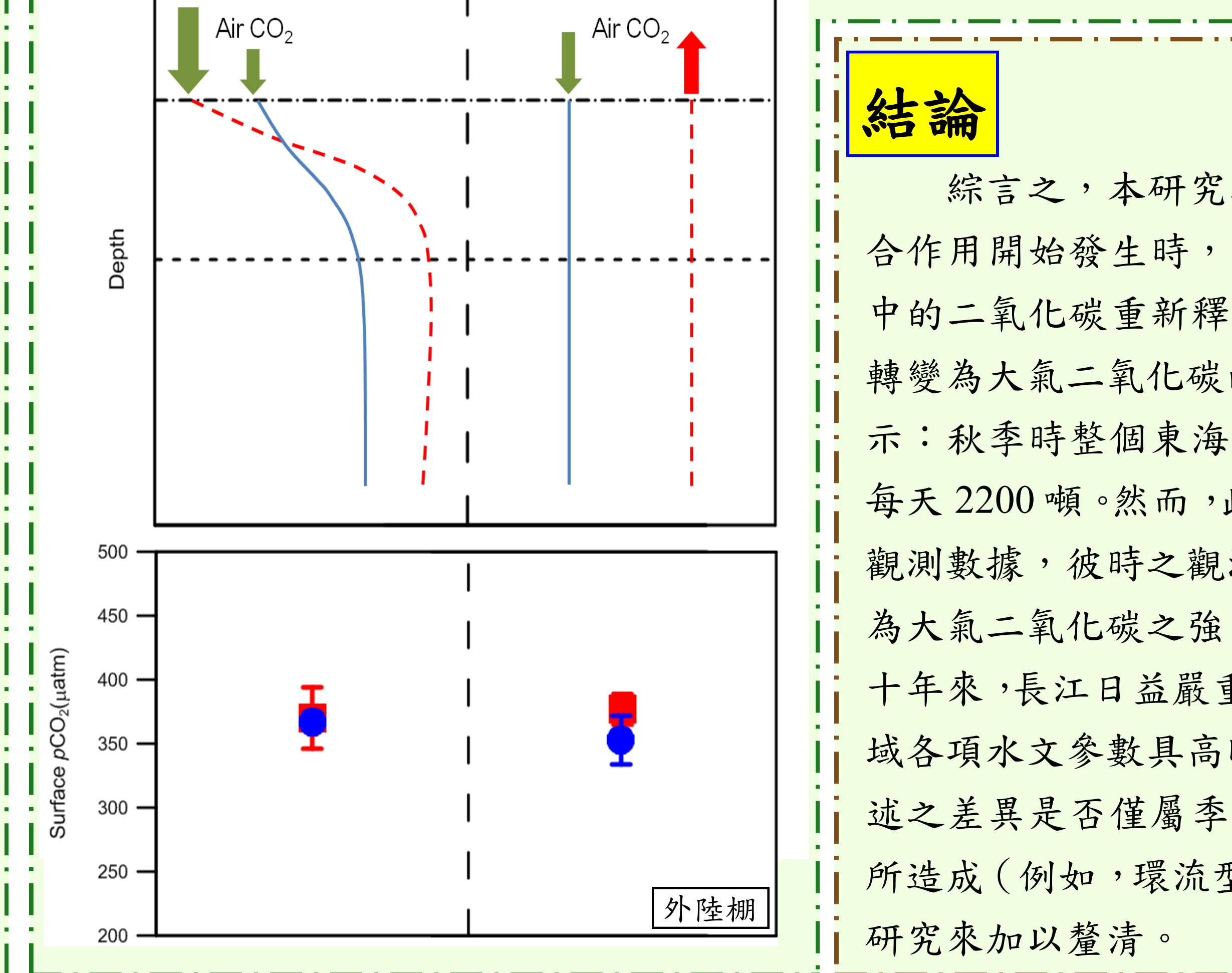
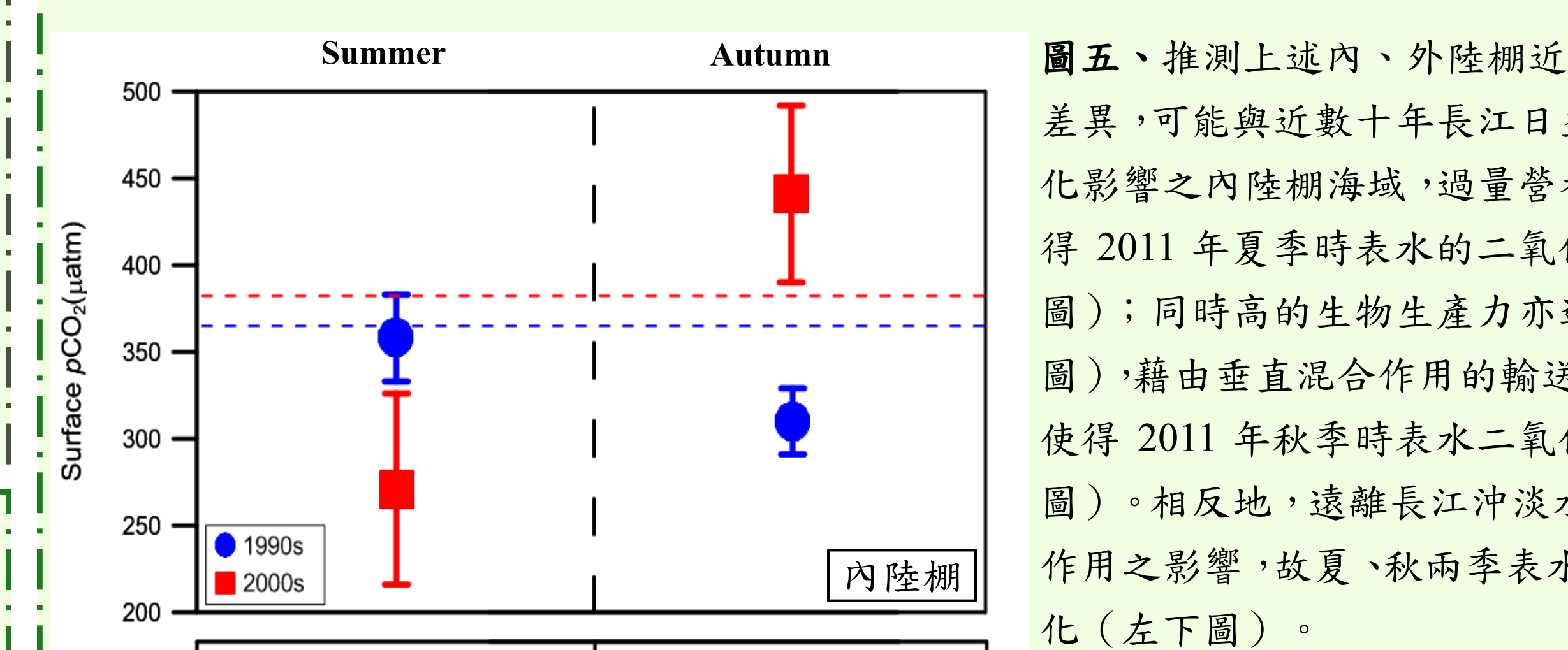
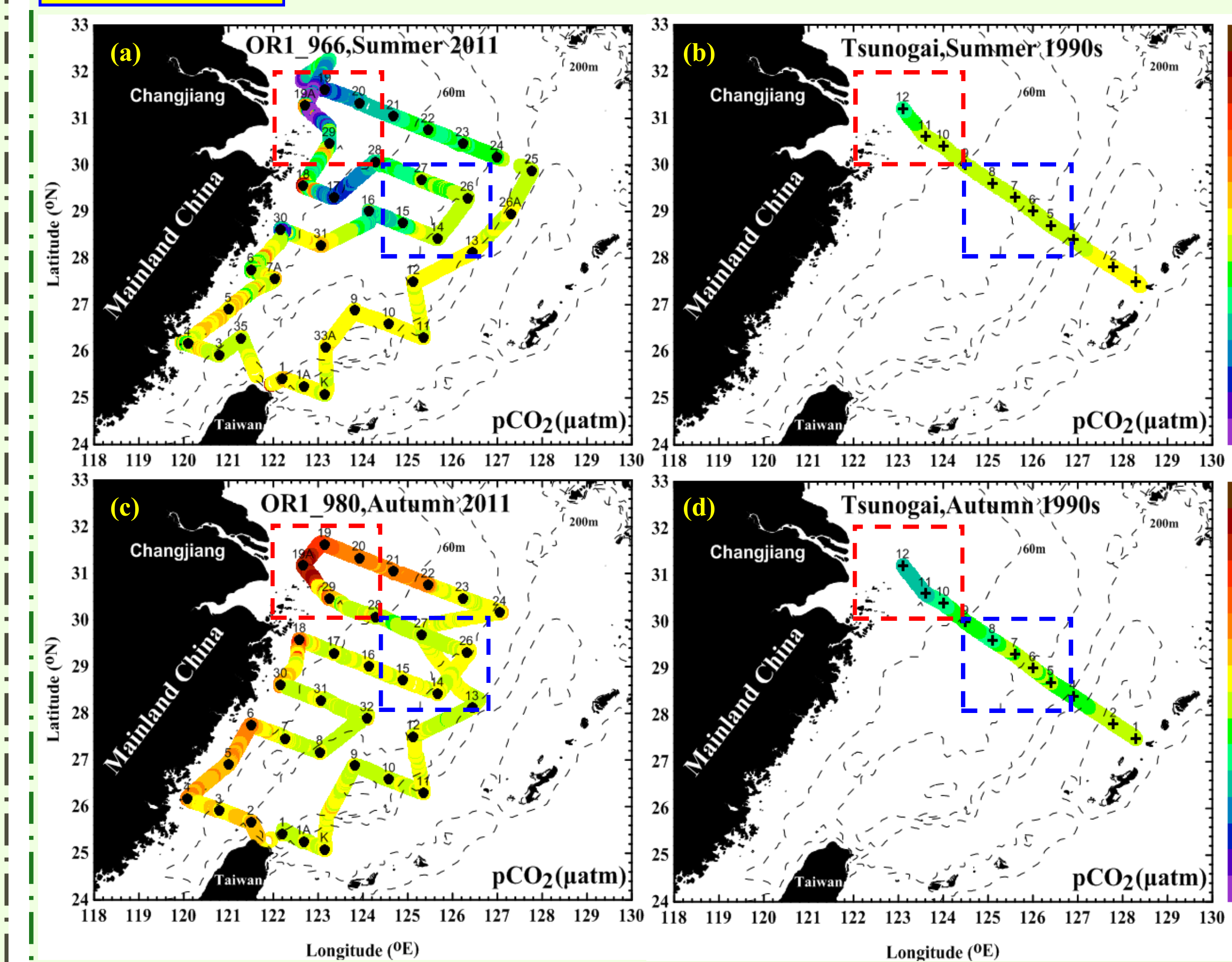
圖三、典型內陸棚(測站 19, 上圖)、外陸棚測站(測站 13, 下圖)夏、秋二季(a)溫度、(b)鹽度、(c) AOU、(d) DIC、(e) pCO₂之垂直分布。

上圖：在受長江沖淡水影響的內陸棚海域，夏季時表水高溫、低鹽(圖 a 與 b)的特性會造成水體強烈分層。此外，因受長江所帶來豐富的營養鹽所滋養，會出現高的生物生產力，使得表水溶氧呈現過飽和的現象(圖 c)；高的生物生產力同時會消耗二氧化碳，致使 DIC 出現低值且 pCO₂ 呈現未飽和狀態。而表水高的生物生產力會輸出大量的有機質至底水當中。此等有機質分解時，會消耗溶氧並放出二氧化碳，使得底水溶氧呈現未飽和、DIC 和 pCO₂ 出現高值(圖 d 與 e)。受水體分層強烈的限制，此等二氧化碳無法向上釋放回大氣，故大量累積於底水。秋季時，在季風增強及溫度下降的雙重影響下，水體層化消失。此時夏季時累積於底水的二氧化碳，可藉由強烈的垂直混合作用重返表層。因此，造成秋季時表水二氧化碳分壓的高值，使得等深線 60m 以淺的內陸棚海域成為大氣二氧化碳的「源」。

下圖：在遠離長江沖淡水影響之外陸棚海域，由於缺乏豐富營養鹽的支持，夏季時並無高的生物生產力可釋放氧氣、消耗二氧化碳，使得溶氧及二氧化碳都大致呈現飽和的狀態(圖 c 與 d)。同時，由於缺乏強烈的鹽度梯度，海水分層不若受長江沖淡水影響的內陸棚海域強烈(圖 b)，故不利於二氧化碳在底水中累積。因此，即使秋季時水體垂直混合作用增強，亦無法造成表水二氧化碳分壓顯著地增加。而夏季至秋季降溫的過程(圖 a)，會進一步降低 pCO₂(圖 e)，使得等深線 60m 以深的中、外陸棚海域秋季時成為大氣二氧化碳的「匯」。

討論二

與 Tsunogai et al. 在 1990 年代初期的觀測數據比較。



圖四、與 Tsunogai et al. (1999) 在年代初期的觀測數據相較而言，在受長江沖淡水影響的內陸棚海域(紅色正方形海域)，2011 年夏季時表水的二氧化碳分壓明顯降低(358 ± 25 in early 1990 vs. 271 ± 55 μatm in 2011; (a)和(b))，秋天時則大幅增高(310 ± 19 in early 1990s vs. 441 ± 51 μatm in 2011; (c)和(d))；而遠離長江沖淡水影響之外陸棚海域(藍色正方形海域)，夏、秋兩季則皆無顯著之變化。
參考文獻：Tsunogai, S., Watanabe, S. and Sato, T., 1999. Is there a "continental shelf pump" for the absorption of atmospheric CO₂? Tellus 51B: 701-712.

結論

綜言之，本研究結果驗證了當秋季水體垂直混合作用開始發生時，的確可以將夏季時累積在底水中的二氧化碳重新釋放回大氣，使得此時東海陸棚轉變為大氣二氧化碳的「源」。本研究估算結果顯示：秋季時整個東海陸棚二氧化碳的淨釋放量約為每天 2200 噸。然而，此結果明顯有別於 1990 年代的觀測數據，彼時之觀測結果指出：秋季時東海陸棚為大氣二氧化碳之強「匯」。推測此差異可能與近二十年來，長江日益嚴重的優養化現象有關。惟邊緣海域各項水文參數具高時空變異之分布特性。因此，上述之差異是否僅屬季節內之變動，或其它可能因素所造成(例如，環流型態的改變)，仍有待進一步的研究來加以釐清。