



# 海洋酸化與優養化作用對東海陸棚底水 pH值與碳酸鈣飽和度之影響：過去、現在及未來

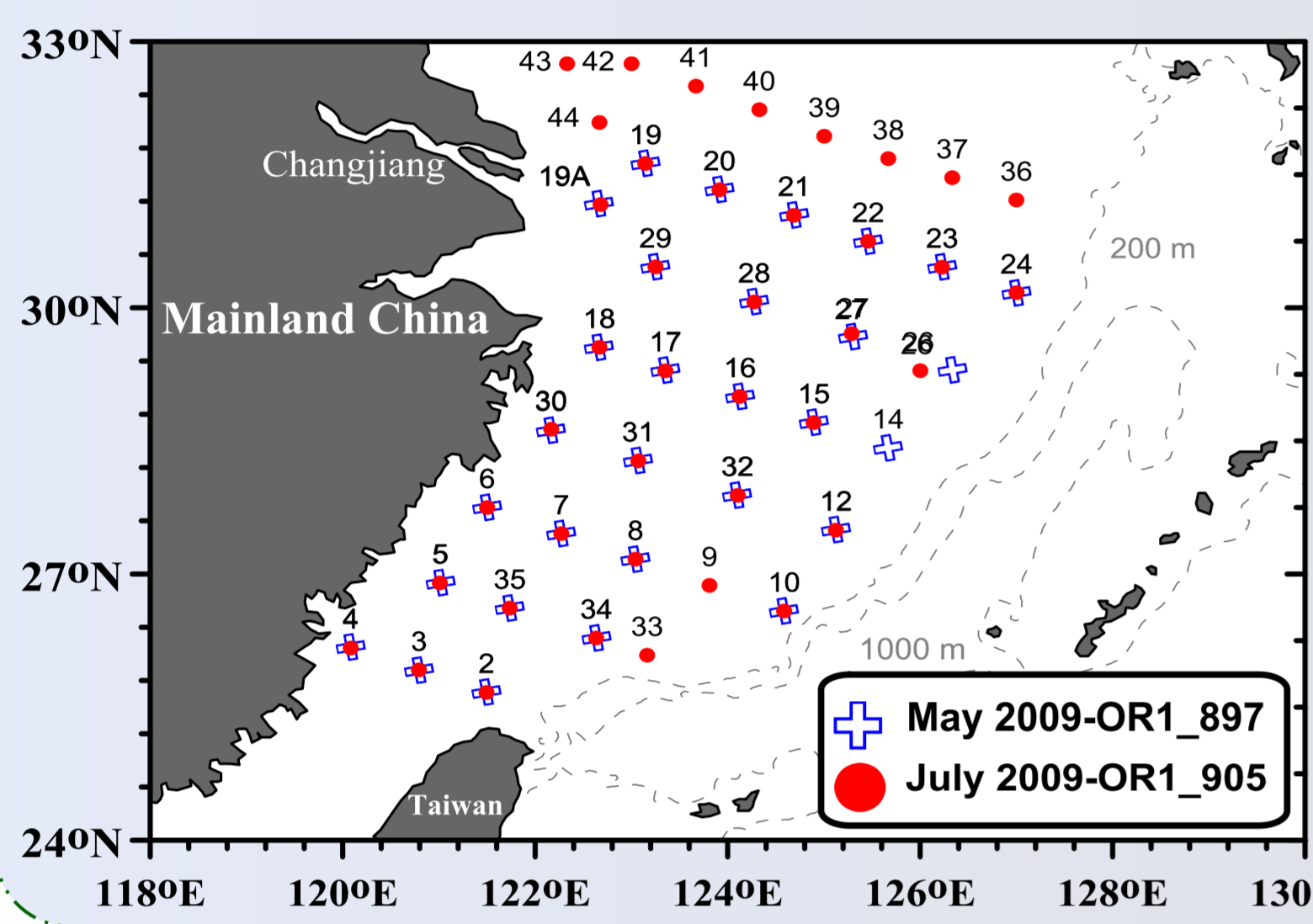
吳詠翰(碩二)

指導老師：周文臣

## Introduction

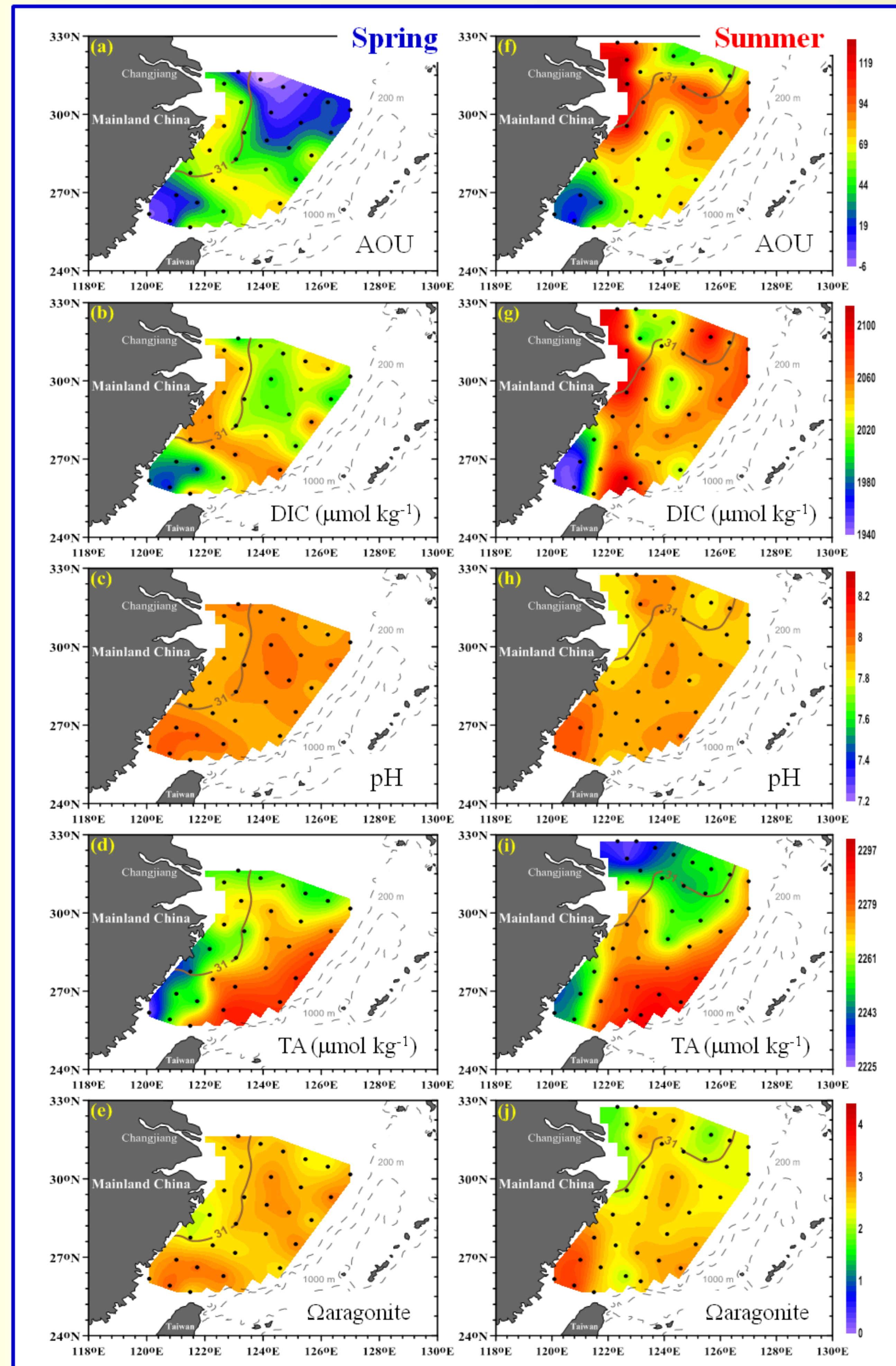
工業革命迄今，海洋吸收了約三分之一人為活動所排放之二氧化碳，此過程減緩了大氣中二氧化碳的增加速度，進而舒緩了氣候變遷對人類社會所造成的負面衝擊，但它卻也同時造成了海水pH值與碳酸鈣飽和度的降低，此現象稱為海洋酸化(ocean acidification)。最近的研究指出，近數十年來沿海水域日益嚴重的優養化現象(eutrophication)，不僅會造成邊緣海域底水溶氧含量逐漸降低，形成所謂“hypoxia”的現象，同時亦會導致底水對pH值變化的緩衝能力變差，因而使受優養化作用影響之邊緣海域的底水，受海洋酸化之影響程度，會較其它海域更為明顯。受長江輸出大量營養鹽之影響，東海是全球受優養化作用衝擊最嚴重的海域之一。本研究之主要目的是藉由2009年春、夏兩季之觀測資料與模式的計算，探討在海洋酸化與優養化作用共同的影響下，東海陸棚底水之pH值與碳酸鈣飽和度由工業革命至今，以及至本世紀末時可能的變化情形。

## Sampling

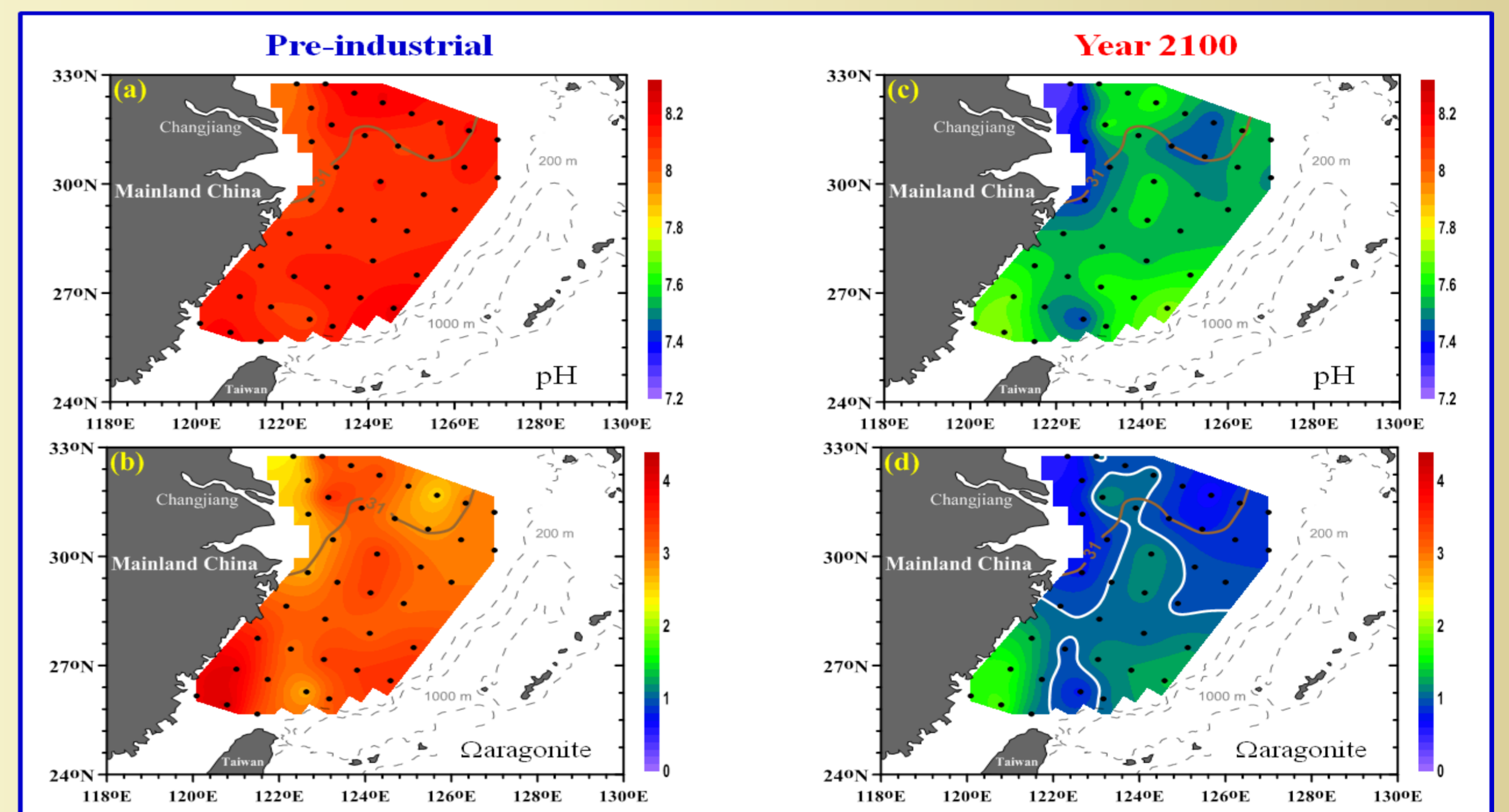


圖一、測站位置圖。圖中數字為測站編號。本研究測量了2009年5月(春季)與7月(夏季)，東海陸棚底水(距離底深10 m內)的溫度、鹽度、海水酸鹼值(pH)、溶解態無機碳(DIC)、總鹼度(TA)和溶氧(DO)的濃度。

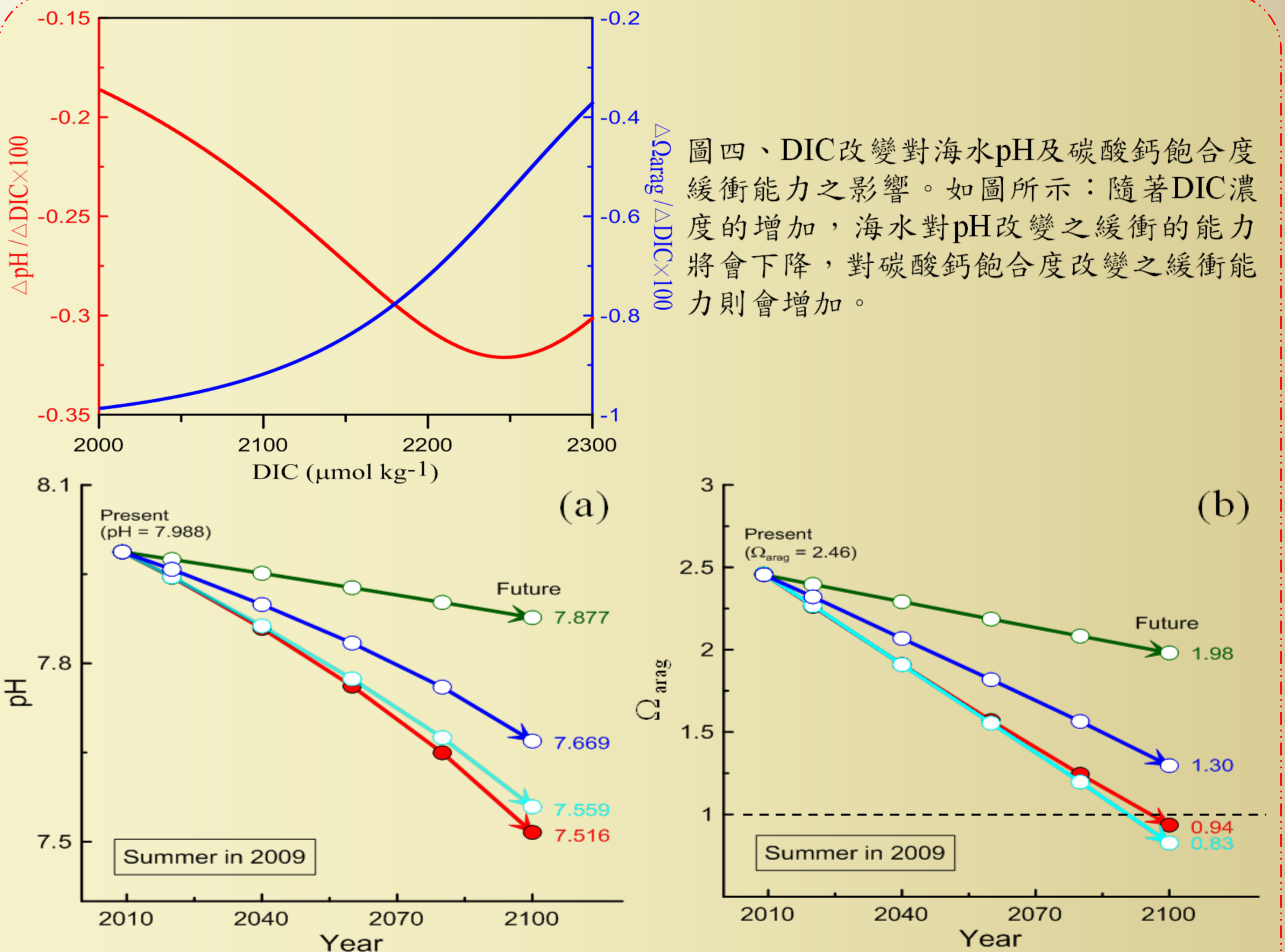
## Results



圖二、2009年春、夏兩季東海陸棚底水(a)和(f)表觀耗氧量(AOU)，(b)和(g)溶解態無機碳(DIC)，(c)和(h) pH值，(d)和(i)總鹼度(TA)，與(e)和(j)碳酸鈣飽和度( $\Omega_{aragonite}$ )之空間分佈。實線為表水鹽度=31之等值線。夏季在長江沖淡水(Salinity < 31)的範圍內，由於水溫和長江輸入營養鹽的增加，帶來季節性旺盛的生物生產力，大量的有機質隨之向下輸出至底水並且分解，造成AOU和DIC的增加，並導致pH值與 $\Omega_{aragonite}$ 的下降。此結果顯示，若優養化現象持續惡化，勢將導致底水pH值和碳酸鈣飽和度進一步的下降。



圖三、工業革命前與本世紀末，東海陸棚底水(a)和(c) pH值，與(b)和(d)  $\Omega_{aragonite}$ 之空間分佈。白線為碳酸鈣飽和度=1之等值線。推算工業革命前東海陸棚底水平均pH值與 $\Omega_{aragonite}$ 分別為8.12和3.14。工業革命迄今，pH值已下降了0.12， $\Omega_{aragonite}$ 則減少了0.68。至本世紀末，東海陸棚底水pH值與 $\Omega_{aragonite}$ 會進一步減少 $0.32 \pm 0.19$ 和 $1.16 \pm 0.50$ 。屆時東海陸棚底水之平均pH值與 $\Omega_{aragonite}$ 分別為 $7.52 \pm 0.19$ 和 $0.94 \pm 0.40$ 。換言之，本世紀末東海陸棚底水可能將出現大範圍碳酸鈣不飽和的現象( $\Omega_{aragonite} < 1$ )，恐將對底棲生態系統造成嚴重的衝擊，進而對漁業資源產生影響。(根據IPCC, 2001在工業革命前與本世紀末大氣二氧化碳濃度之預測，推算工業革命迄今及至本世紀末，海水中 $\Delta DIC$ 的變化量分別為 $280 \text{ ppm} = -69 \mu\text{mol kg}^{-1}$ ； $723 \text{ ppm} = 120 \mu\text{mol kg}^{-1}$ ；(計算之起始條件為(2009年夏季之平均值)：鹽度=33.563；溫度=27.679 °C；磷酸鹽=0.07  $\mu\text{mol kg}^{-1}$ ；矽酸鹽=3.13  $\mu\text{mol kg}^{-1}$ ；TA=2226  $\mu\text{mol kg}^{-1}$ ；DIC=1912  $\mu\text{mol kg}^{-1}$ )。



圖四、DIC改變對海水pH及碳酸鈣飽和度緩衝能力之影響。如圖所示：隨著DIC濃度的增加，海水對pH改變之緩衝的能力將會下降，對碳酸鈣飽和度改變之緩衝能力則會增加。  
圖五、海洋酸化與優養化對東海陸棚底水(a)pH值與(b) $\Omega_{aragonite}$ 之影響。綠線為只考慮優養化的情形(DO之減少速率根據Ning et al., (2011)，並以Redfield ratios推算對應之DIC增加量)，此現象會使底水pH值下降0.1， $\Omega_{aragonite}$ 減少0.48；藍線為只考慮海洋酸化的影響(大氣二氧化碳濃度的增加)，底水pH值下降 $0.32 \pm 0.19$ ， $\Omega_{aragonite}$ 減少 $1.16 \pm 0.50$ ；青線為不考慮緩衝能力改變的條件下，海洋酸化與優養化作用加總對pH值與 $\Omega_{aragonite}$ 之影響；紅線為考慮了海水緩衝能力改變，海洋酸化與優養化相互作用對pH值與 $\Omega_{aragonite}$ 之影響。如圖所示：考慮了海水緩衝能力改變的影響後，海洋酸化與優養化之交互作用，對pH而言，將產生正回饋效應(pH減少量會增加)，但對 $\Omega_{aragonite}$ 則將產生負回饋效應( $\Omega_{aragonite}$ 減少量會減少)。

## Conclusions

- 工業革命迄今，海洋酸化作用已使東海陸棚底水之pH值下降了0.12， $\Omega_{aragonite}$ 則減少了0.68。
- 至本世紀末時，海洋酸化作用將進一步使東海陸棚底水之pH值減少 $0.32 \pm 0.19$ ， $\Omega_{aragonite}$ 則將減少 $1.16 \pm 0.50$ ；優養化作用則會使pH值減少0.11， $\Omega_{aragonite}$ 降低0.48。兩者交互作用所產生之回饋效應，對pH值所造成之減少量為0.05(正回饋)，對 $\Omega_{aragonite}$ 所造成之增加量為0.11(負回饋)。
- 上述各項作用之淨效應，將使東海陸棚底水之平均pH，至本世紀末時下降至7.52、平均 $\Omega_{aragonite}$ 則減少至0.94。換言之，屆時東海陸棚底水可能會出現大範圍碳酸鈣不飽和的現象( $\Omega_{aragonite} < 1$ )，恐將對底棲生態系統造成嚴重的衝擊，進而對東海的漁業資源產生影響。