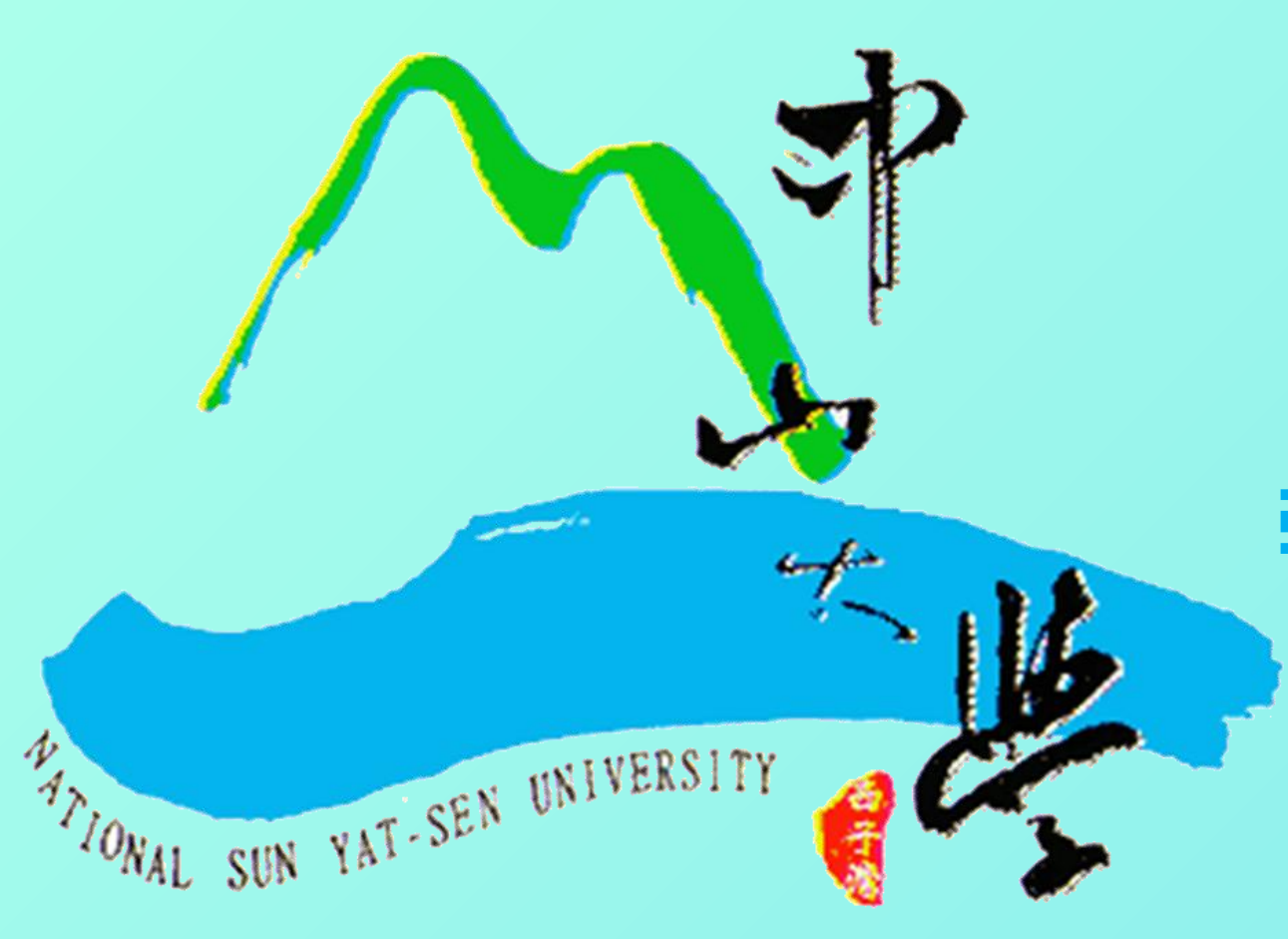




台灣東南海域紊流混合特性之時空變化

Temporal and spatial variations of turbulent mixing in the seas off the Southeastern Taiwan



邱文佐¹、曾若玄²

¹國立中山大學海下科技暨應用海洋物理研究所

²國立中山大學海洋科學系

前言

紊流，一種流動狀態，造成海水垂直的混合及能量傳遞和消耗，能維持海洋中的層化現象，並且有驅使溫鹽環流及維持其穩定的作用。而維持大洋中的溫鹽環流的穩定垂直擴散係數需要保持 $10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ 。Gregg, (1989)在外海的觀測實驗結果顯示在大洋中的平均擴散係數只有 $10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ ，表示海洋中存在著強烈混合的區域。為了解在此台灣東南海域經年受到黑潮及風應力的影響，並隨著季節而有不同的情況下，於上層及底層海水混合擾動的形成機制主因。

研究方法

目前利用水文資料的分析方法來估算 $K\rho$ 有2種。

(式1) Thorpe scale ; (式2) Parameterization-Strain
兩種方法使用水文資料運算求得溫度、密度、浮力頻率等，再由程式計算得到 $K\rho$ ，再將其值利用 $K\rho$ 跟 ε 的關係式(式3)推算出 ε 。

圖1顯示兩方法 $K\rho$ 結果定性趨勢相似，圖2為兩方法 $K\rho$ 分佈圖。
相關性0.63。

1 公式

$$K\rho = 0.128 L_T^2 N$$

(式1)

$$K\rho = K_0 \frac{(\zeta_z^2)^2}{GM(\zeta_z^2)^2} h_2(R_\omega) j\left(\frac{f}{N}\right)$$

(式2)

$$\varepsilon = \frac{K\rho N^2}{\Gamma}$$

(式3)

$$h_2(R_\omega) = \frac{R_\omega(R_\omega + 1)}{6\sqrt{2}\sqrt{R_\omega - 1}}$$

$$j\left(\frac{f}{N}\right) = \frac{\arccos \cos h\left(\frac{N}{f}\right)}{f_{30} \arccos \cos h\left(\frac{N}{f_{30}}\right)}$$

$K\rho$: 密度渦流

擴散係數($\text{m}^2 \text{ s}^{-1}$)

ε : 紊流動能

消散率(Wkg^{-1})

L_T : Thorpe位移

均方根

K_0 : 0.057×10^{-4}

ζ_z^2 : 應變能譜能量

GM : GM能譜能量

f : 科氏力($2\Omega \sin \phi$)

R_ω : 剪切應變比值(7)

N : 浮力頻率

Γ : 混合率(~ 0.2)

2 計算結果

圖1. $K\rho$ 垂直深度分佈圖

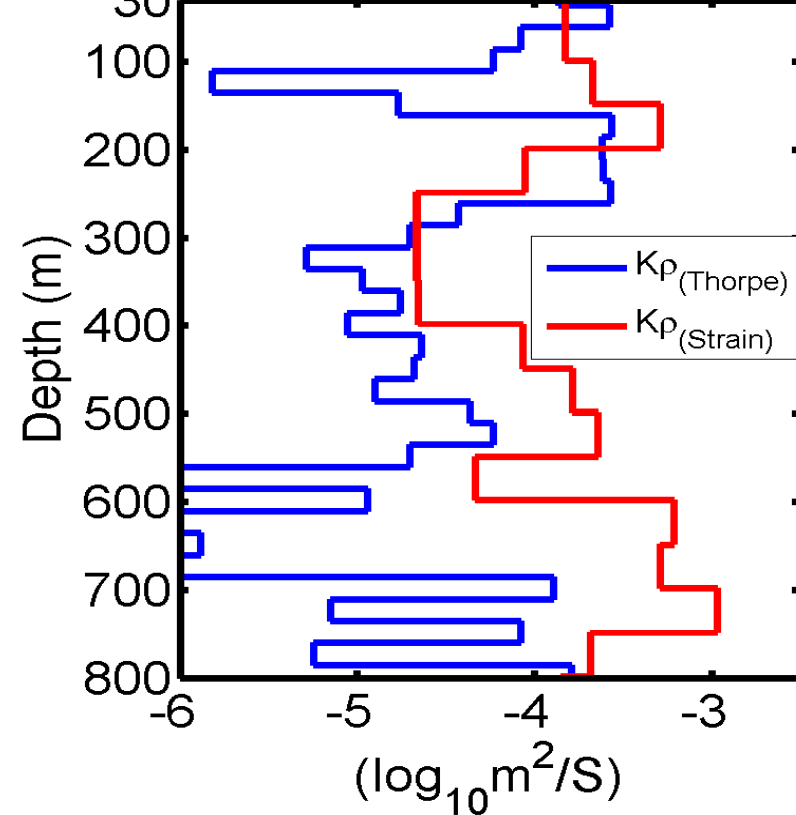
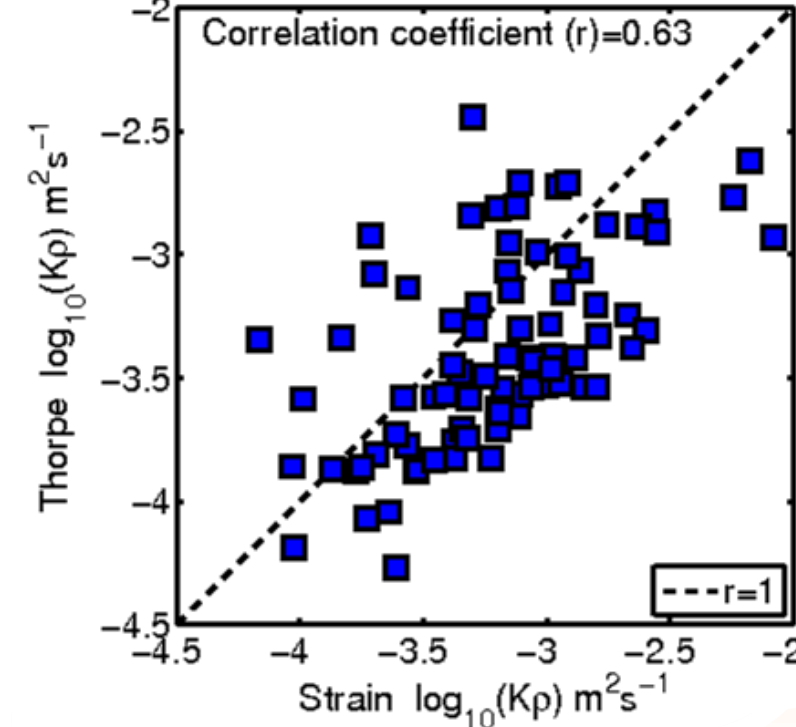


圖2. $K\rho$ 相關性分佈圖



上層邊界變化 (Depth 30~200m)

圖5顯示 $K\rho$ 季節變化與混合層厚度(MLD)趨勢一致，而風應力及溫度會影響混合層厚度大小(表4)，相關性平均約為0.6。

圖6顯示在 121.85°E 以東區域風應力及MLD對 $K\rho$ 相關性提高(~ 0.6)。圖7可發現 $121.3 \sim 122^\circ \text{E}$ 溫度對 $K\rho$ 有良好相關性，且有季節變化。

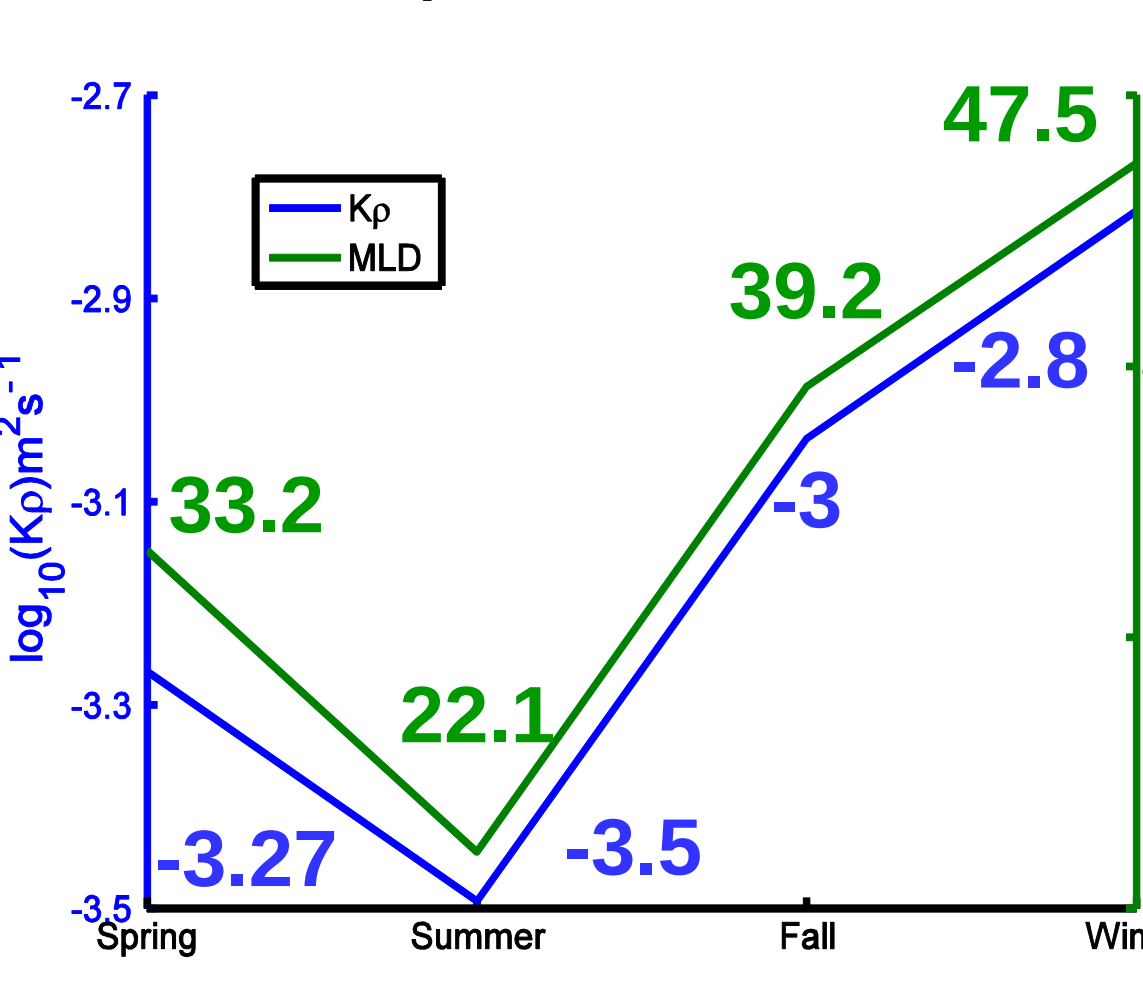
圖8、圖9對照顯示較常發生高混合的區域與平均地轉流的路徑相符合。圖10、圖11顯示此研究區域的 $K\rho$ 及 ε 對V方向流速有良好的相關性(0.68、0.5)。

$$K\rho: y = 0.78x - 0.37 \pm 0.5$$

$$\varepsilon: y = 0.49x - 0.75 \pm 0.5$$

1 混合層厚度影響

圖5. $K\rho$ 及MLD季節變化圖



季節	風應力	溫度
Spring	0.64	0.57
Summer	0.53	0.69
Fall	0.59	0.55
Winter	0.58	0.65
Average	0.59	0.62

表4. MLD對風應力、溫度的相關性

2 風應力及溫度影響

圖6. MLD、風應力、溫度對 $K\rho$ 空間變化圖

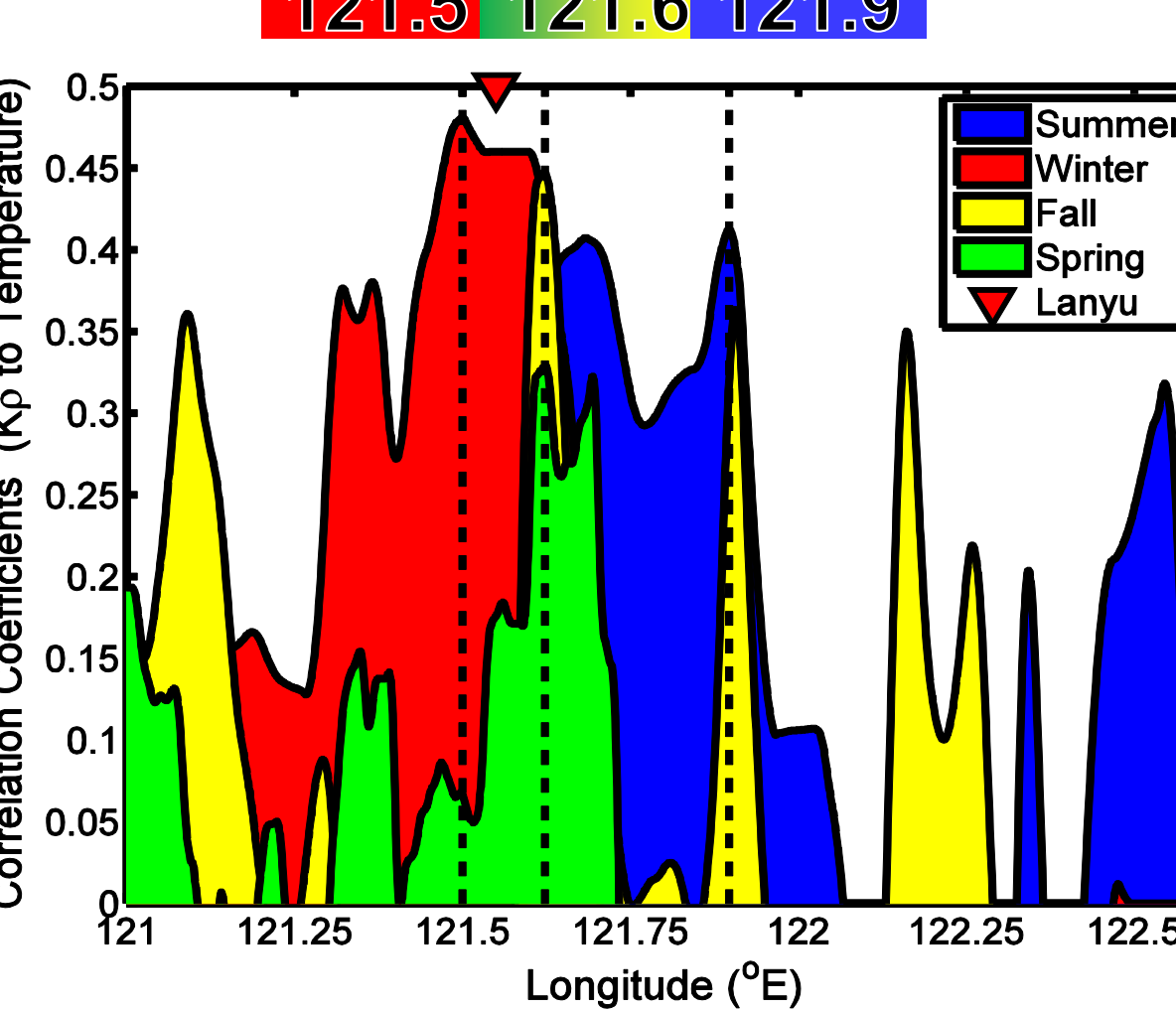
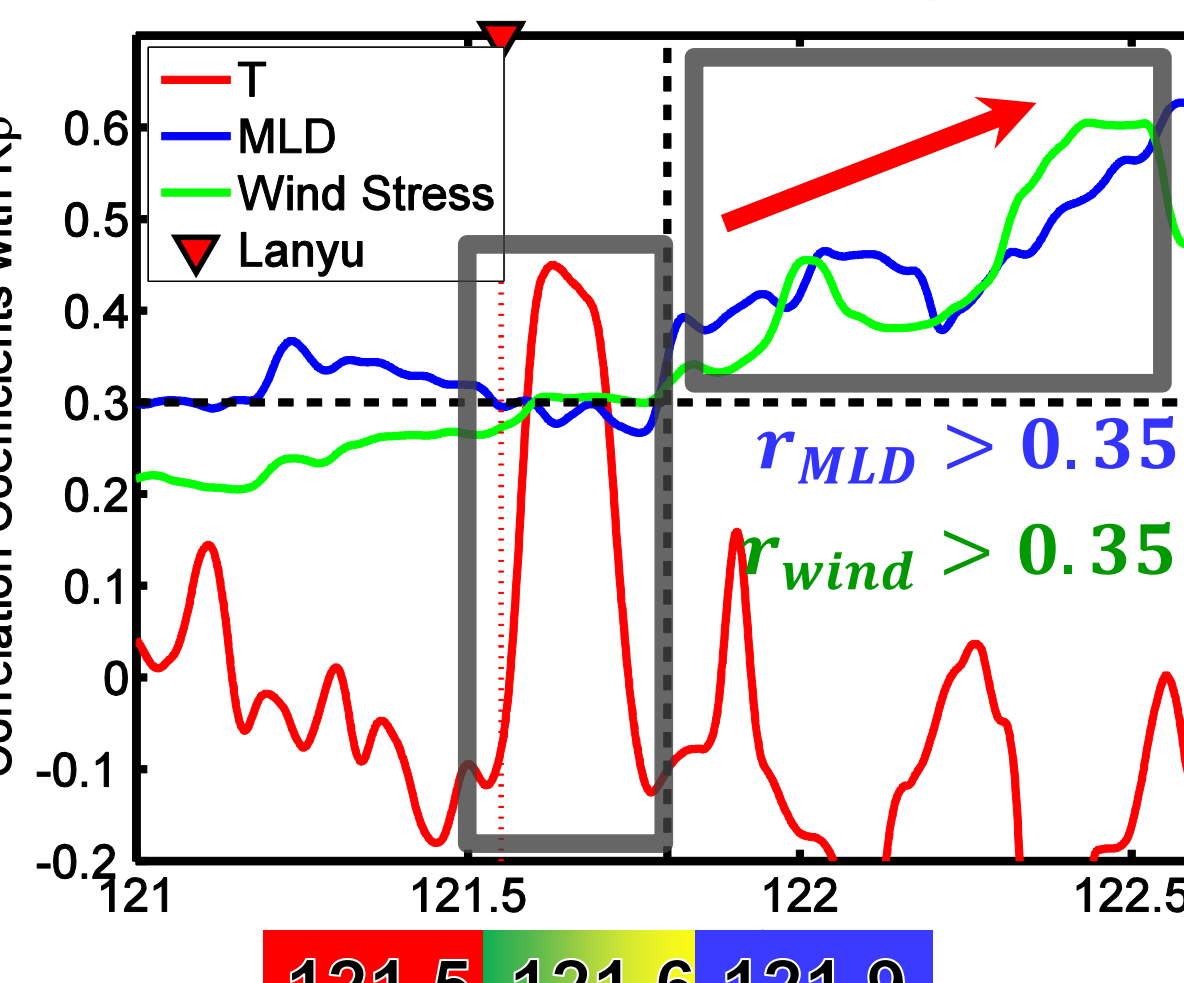


圖7. 不同季節溫度對 $K\rho$ 相關性空間變化圖

3 地轉流、流速影響

圖8. $K\rho > 10^{-4} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ 發生次數分佈圖

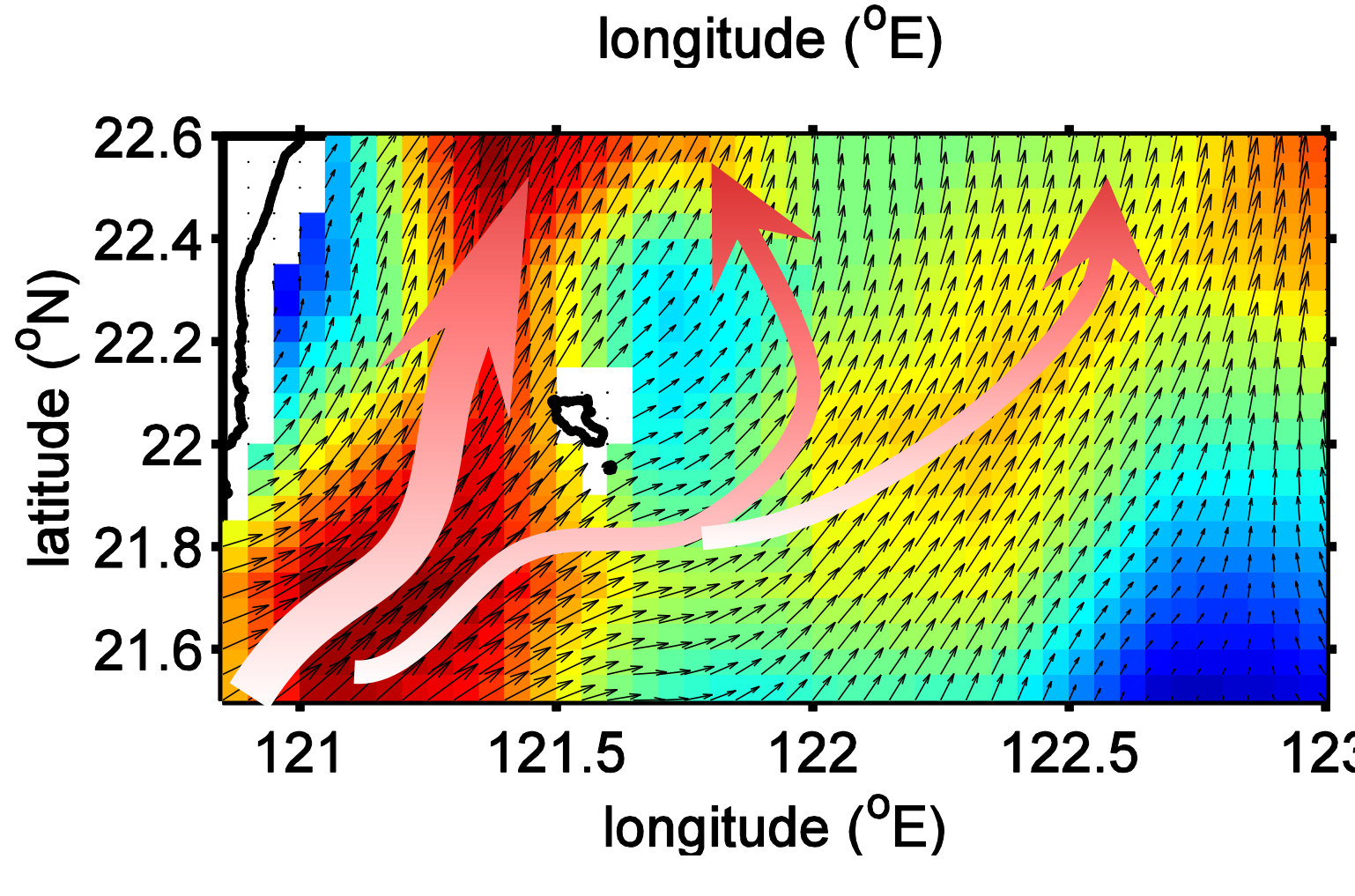
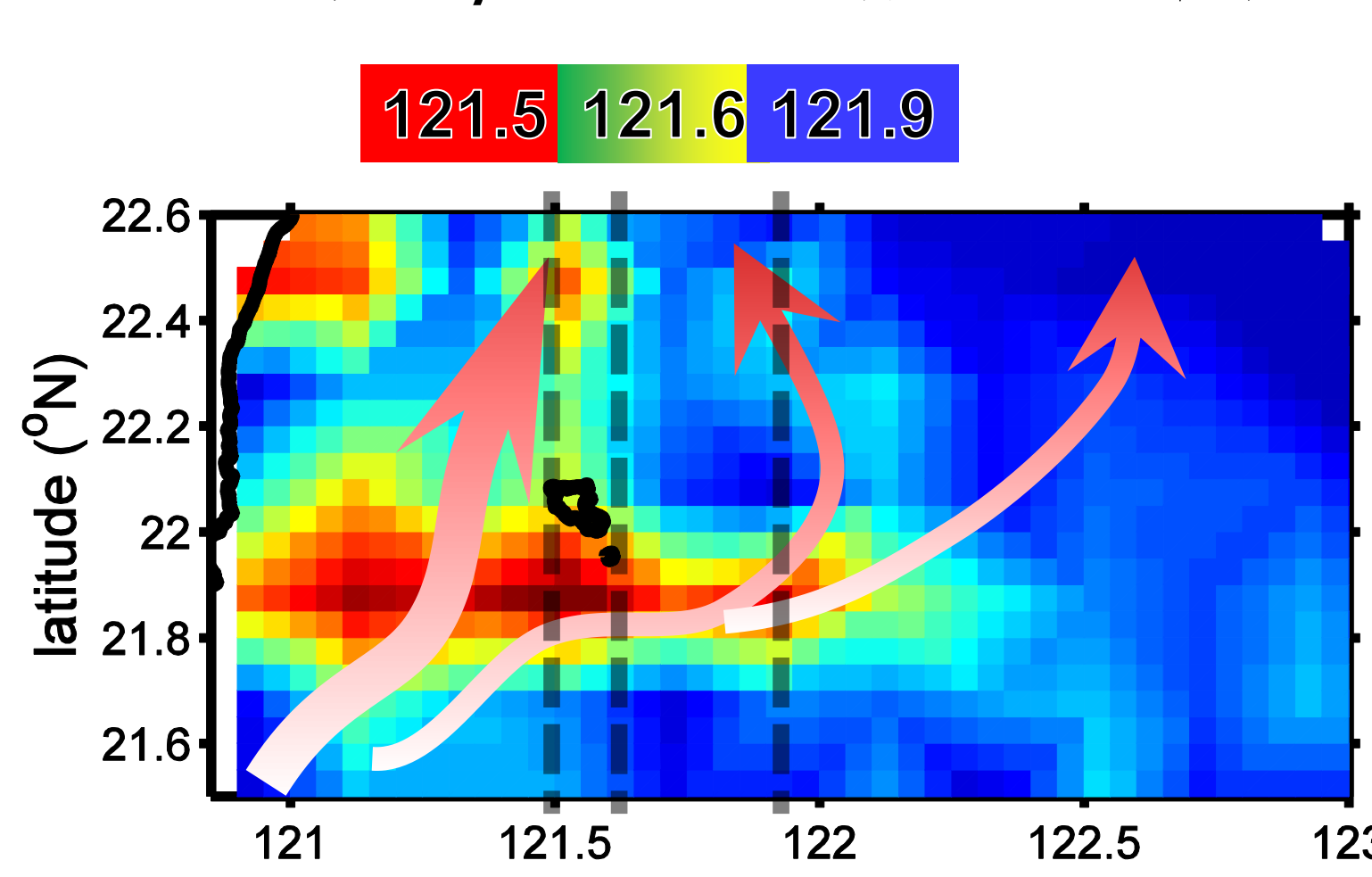


圖9. Aviso1992~2011 平均地轉流流速空間分佈圖

表5. 三條測線於黑潮內 $K\rho$ 平均值

測線	I	II	III
$\log_{10}(K\rho)$	-3.2	-2.5	-3.6

圖10. V方向流速對 $K\rho$ 相關性分佈圖

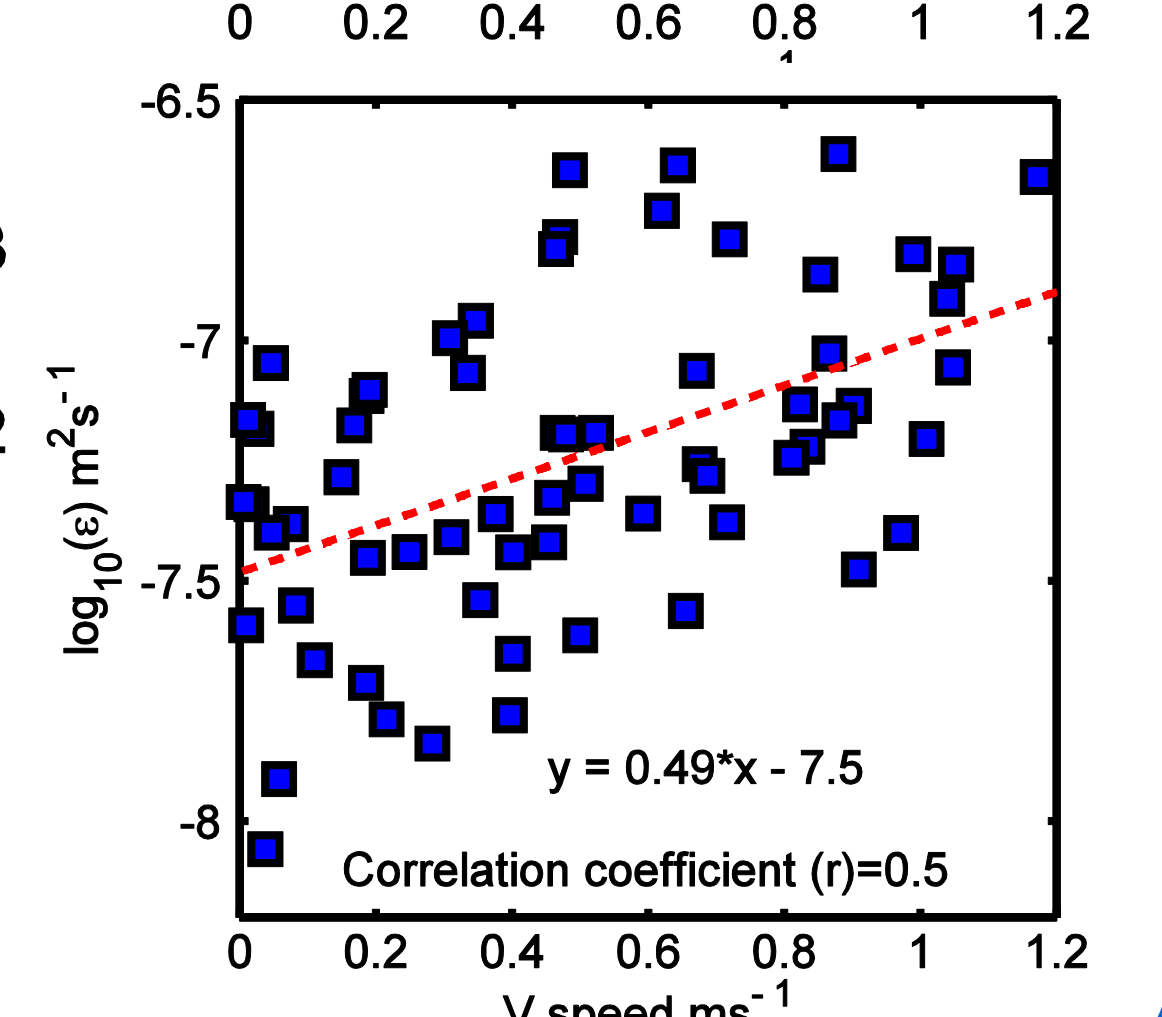
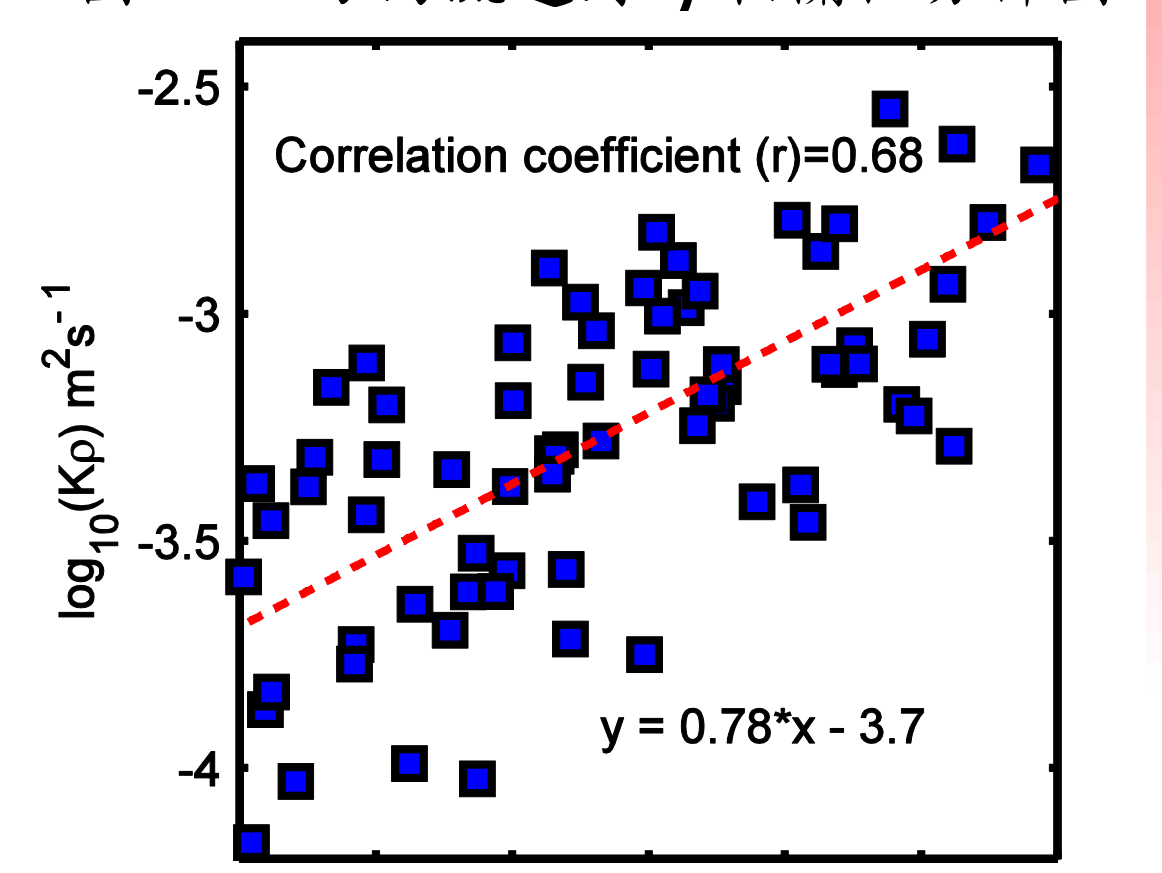


圖11. V方向流速對 ε 相關性分佈圖

底層邊界變化 (海底上100m)

圖12顯示底層的 $K\rho$ 出現較大的值時的位置與地形斜率均方根相互對應著。圖13、圖14顯示 $K\rho$ 及 ε 對地形斜率均方根有良好的相關性(0.65、0.57)。

$$K\rho: y = 9.02x - 4.58 \pm 1 ; \varepsilon: y = 8.1x - 8.4 \pm 1$$

1 地形坡度影響

圖12. 地形斜率均方根空間分佈圖

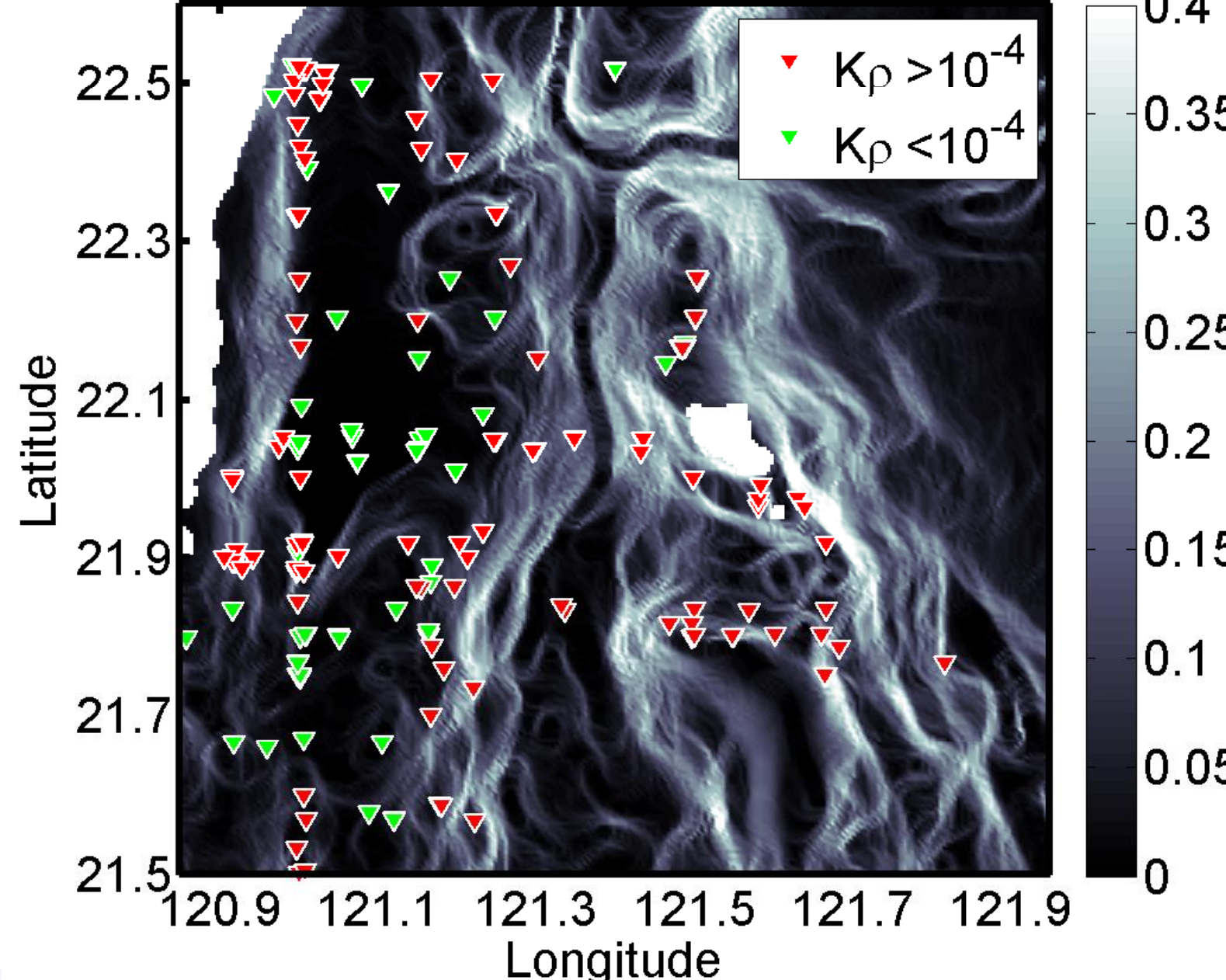


圖13. 斜率均方根對 $K\rho$ 相關性分佈圖

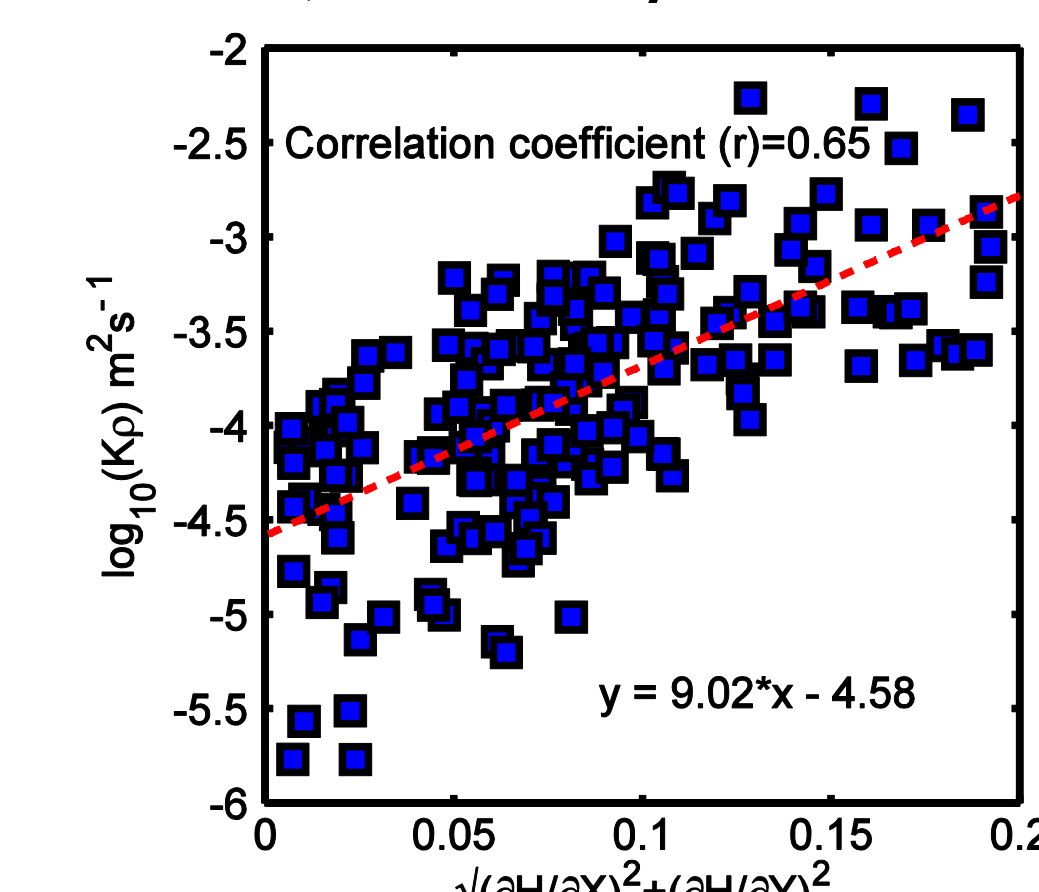
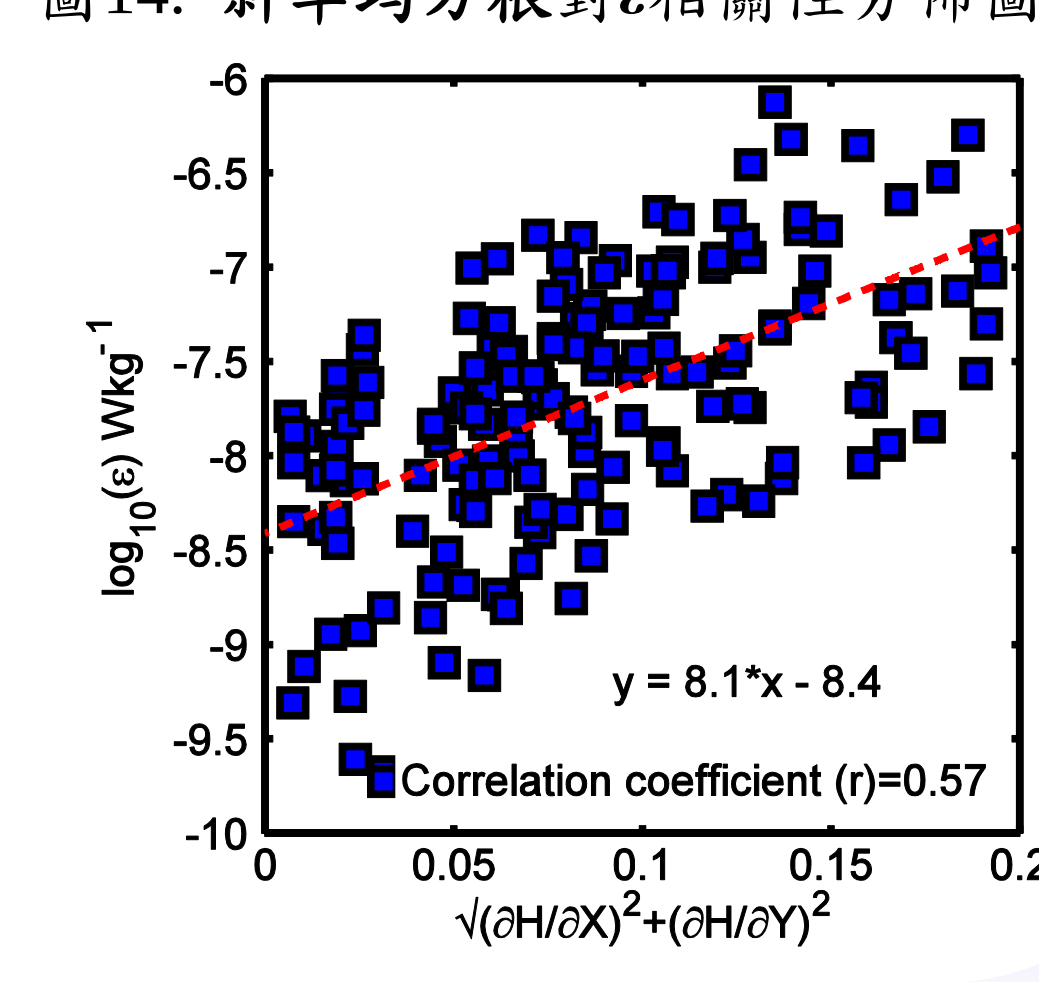


圖14. 斜率均方根對 ε 相關性分佈圖



結論

- 造成上層海水的混合季節變化的主要因素混合層厚度及風應力有關。
- 在部分區域($121.3 \sim 122^\circ \text{E}$)主要受到黑潮的高溫鹽、流速影響，並隨著黑潮主軸季節性變化，而有空間變化，其 $K\rho$ 將達到 $10^{-4} \sim 10^{-2} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ 。
- 台東-蘭嶼之間(22.02°N)紊流強度最大， $K\rho$ 約為 $10^{-2.5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ 。
- 造成底層海水混合的主要因素為海流受地形變化影響，導致海流受到阻擋及抬升作用產生，其 $\log_{10}(K\rho)$ 及 $\log_{10}(\varepsilon)$ 與地形斜率均方根呈現線性趨勢。

參考文獻

- Chang M. H. (2013). Kuroshio-induced wake in the lee of Green Island off Taiwan, H. Kaneko (2012). Observations of the structure of turbulent mixing across the Kuroshio, Geophys. Res. Lett., Nagai (2009). Evidence of enhanced turbulent dissipation in the frontogenetic Kuroshio Front thermocline, Geophys. Res. Lett., Park Y. H. (2008). Internal tides and vertical mixing over the Kerguelen Plateau, Deep Sea Research II, Tseng R. S. (2012). Turbulent Mixing of the Kuroshio Waters Southeast of Taiwan, Kuroshio Science, Zhao J. (2011). Turbulent diapycnal mixing in the subtropical northwestern Pacific: Spatial-seasonal variations and role of eddies, J. Geophys. Res., Zhao J. (2010). Seasonal variation of turbulent diapycnal mixing in the northwestern Pacific stirred by wind stress, Geophys. Res. Lett.