

台灣海域作業化海流模式之寒潮模擬

尤皓正¹ 于嘉順¹ 陳維翔² 朱啟豪² 滕春慈²
國立中山大學海洋環境及工程系¹ 中央氣象局海象測報中心³

摘要

透過應用台灣海域作業化海流模式，以2008年與2011年澎湖寒害作為案例建置，利用HYCOM資料作為初始場與邊界場，並以CFSR與局內WRF作為氣象場輸入，模式案例結果顯示，HYCOM之初始場與量測溫度資料比較下，HYCOM之初始場較為高估，此初始誤差並無法透過計算消彌，雖然模式結果無法完全貼合量測值，但在適當之氣象條件下之計算結果可顯示水溫下降之趨勢。由計算結果與實測之比對評估，CFSR呈現較佳之結果，WRF則由於輸入之短波輻射較CFSR為高，使得水溫呈現較高之趨勢。

關鍵字：熱通量、WRF、CFSR、SCHISM

一、前言

針對近幾年來澎湖發生之寒害，本研究利用中央氣象局之作業化海流模式OCM3子系統建置案例，近幾年之寒害以2008年與2011年為最明顯之年份，尤以2008年造成最嚴重之災情，2008年寒害的發生非僅東北季風造成氣溫降低，而為大陸沿岸流(China Coastal Current)之南下入侵至澎湖海域，根據過去研究，Liao等人(2013)以ROMS模式嘗試模擬2008年寒害，共區分為3個階段，第1階段為大陸沿岸流延長離岸距離，於彭貝隆起(Pengbei Ridge)形成一環流，發生期間為1月30日至2月7日，並逐漸將14.5度之等溫線延隆起往海峽中段推進，為冬天常見之現象，第2階段為異常入侵期，14.5度之等溫線於一般的冬天通常會隨著海峽東部往北退回，但於寒害發生時卻於彰雲隆起往西南入侵，發生期間為2月8日至14日，第3階段為寒潮散退期，發生期間為2月15日後，14.5度等溫線散回至彰雲隆起，並延著台灣沿岸往北，表示冷水團已減弱，南方之溫水團重新建立，將原有水團往北回推。本研究藉由現有OCM3之設置，配合相關資料進行模擬應用，了解現有海流模式之模擬能力。

二、模式介紹與設定

現有OCM3作業化海流系統，利用SCHISM模式進行構建，該模式是原有SELFE模式(Zhang & Baptista, 2008)之主要發展分支，包含了原有模式特性外，亦增加了許多新的功能與特點，該模式是為了更容易解析海洋中內陸少洲及河口、港灣及潟湖等不規則地形狀，而發展的三維水理模式。由於此模式的計算直接採用三維計算，並不利用Mode splitting的方式分開計算來加速，而是藉由Eulerian-Lagrangian方式計算動量方程式之對流項，可提高其計算步長，得以確

保計算的效率。水平網格大小則依水深分布控制，可符合近岸之高解析，並保持其計算效率，網格節點數控制於100'000點以下，產出之水平網格之最小網格約為0.75分，分布於台灣近岸區域，總網點數為94°286，網格數則為185°105。

透過現有OCM3海潮流子系統，配合HYCOM之重分析場資料，並與局內WRF氣象場，可用以建置2008年與2011年之寒潮案例，同時為了解局內WRF與其他氣象場之差異，亦利用美國CFSR重分析場一併進行模擬。再配合潮位站與浮標站之海溫資料進行比對，了解現有OCM3海潮流子系統之預報能力。

HYCOM之重分析場資料並無包含潮汐，但亦透過CFSR作為氣象場進行模擬，其計算經過資料同化，如直接以HYCOM結果比對澎湖實測溫度，有類似之溫度下降趨勢，但可發現模擬值普遍較實測值為高，無論是2008年或2011年(圖1)，因此HYCOM之初始場已較實測為高，以澎湖站位來看，平均約高2°C左右，案例模擬之結果僅能預期其可能之下降趨勢，但不能預期與實測值相同。

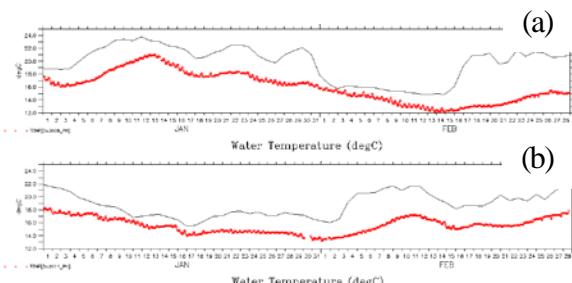


圖1 澎湖2008年(a)與2011年(b)寒害發生時HYCOM之模擬結果與實測比對

三、模式氣象輸入

SCHISM模式的氣象輸入包含10公尺高風速、海平面氣壓、2公尺高之氣溫、2公尺高之比濕(Specific humidity)、向下短波輻射、向下長波輻射。局內WRF皆提供了對應之氣象場資料，由於模擬案例皆為過去案例，WRF需重新計算，其計算時間亦較久，因此局內僅提供約1個月之時間長度資料，2008年案例之提供時間為1/25至2/24，2011年則為1/15至2/15，配合其時間，2個案例之模擬開始時間分別為2008/1/26與2011/1/15，皆進行30天之模擬。同時亦利用相同時間之CFSR氣象場進行模擬，氣象場之輸入值皆為逐時資料，局內WRF氣象場以15公里解析結果輸入進行計算。

氣象場的輸入決定了模式結果，因此對於氣象場之輸入進行初步比對，海溫的計算除了輻射場之影響外，氣溫對海溫亦提供了相等程度之影響，在此利用大氣資料庫之氣溫資料，分別比對不同測站之輸入氣溫，測站選擇以澎湖及其鄰近測站作為比對，由結果可知，越接近海峽南部，如小琉球、七股測站，模式輸入之氣溫高於實測值，其差值可到4度，2008年與2011年皆呈現類似高估之結果(僅展示2008年結果於圖2)，海峽北部如馬祖測站，2組氣象場皆低估實測，但以WRF結果較接近實測，海峽中部如澎湖、金門測站，則以CFSR之結果較靠近實測值，澎湖測站之比對，2組輸入之氣象場皆呈現高估之結果，金門測站以WRF較為高估，CFSR則些微低估，但整體以CFSR之比對結果較佳。

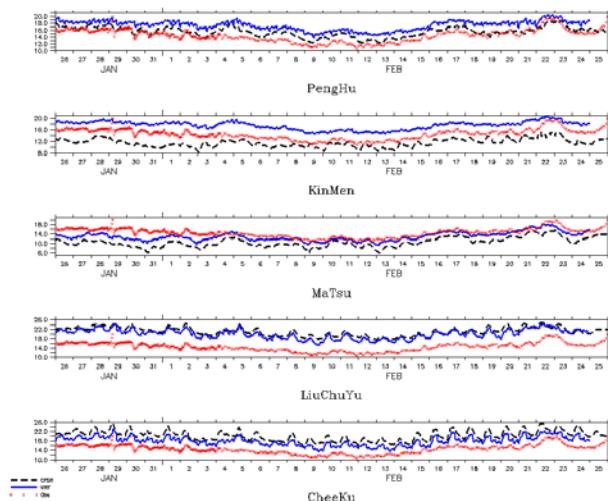


圖2 不同氣象場輸入氣溫與實測值之比對(2008年)，
黑虛線為CFSR，藍線為WRF，紅點為實測值

四、2008年案例模擬結果

以2組不同氣象場計算之單點比較結果如圖3所示，除澎湖測站外，另一併比較了澎湖浮標、金門與馬祖測站，了解寒害發生時這幾個鄰近測站之關係與模式表現。澎湖測站

之結果比對顯示，2組氣象場輸入之結果與HYCOM的計算結果皆高估於實測，但HYCOM提供之初值已高估量測約5度，因此僅能評估其下降趨勢，CFSR之計算結果有較接近HYCOM之下降趨勢，由20 °C下降至17 °C左右，WRF之計算結果僅些微下降，約下降1 °C左右。

澎湖浮標測站之比對則顯示HYCOM提供之初值與量測值相近，但開始模擬後之計算，HYCOM與2組模擬之結果皆先顯示溫度抬升後才開始有逐步下降之趨勢，其中WRF同澎湖測站顯示，僅顯示些微下降趨勢，但CFSR計算結果可下降至接近HYCOM結果，但仍無法降至與實測相同。

金門測站因缺乏實測資料，僅有模式間之比對，由模式結果比對顯示，以WRF驅動計算之水溫高於CFSR，但HYCOM模擬結果更低。

馬祖測站則顯示HYCOM提供之初值低估實測值約2 °C，WRF計算結果仍高估於CFSR，兩者皆高估於HYCOM結果，但三者之模擬趨勢類似，皆呈現逐步下降之趨勢。

由模式單點比對可知，以CFSR模擬之結果較WRF為佳，如以平面水溫變化來看，此一趨勢更為明顯，2008年發生之寒害，為大陸沿岸流往彰雲隆起侵入，同時間，海峽內之黑潮分支減弱，而造成冷水團入侵澎湖鄰近海域，以CFSR模擬之結果可清楚看到大陸冷水團入侵與黑潮減弱後逐漸增強之變化，但由WRF模擬之結果則顯示，雖然有黑潮減弱與增強之變化，但其現象較不明顯，大陸沿岸流並無入侵之現象，且其沿岸流之低溫分布較窄，限制於大陸沿岸。於海峽中段、澎湖西北邊之海域水溫明顯高估於CFSR之模擬結果，可見圖4。

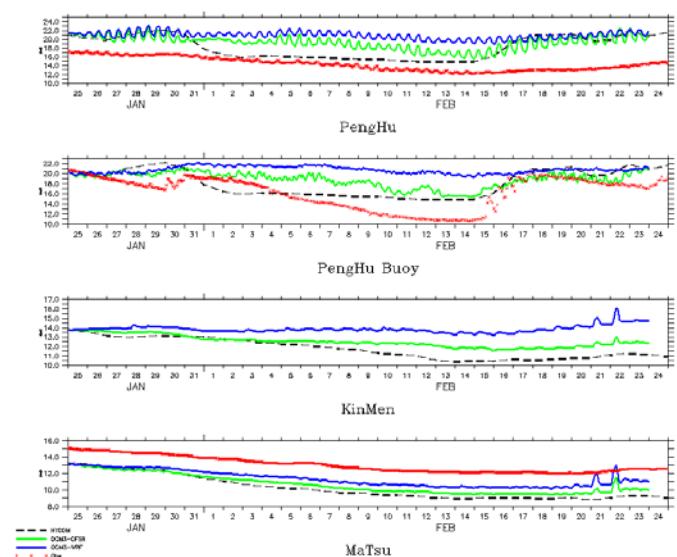


圖3 2008年寒害案例不同測站之海溫模擬結果與實測比對

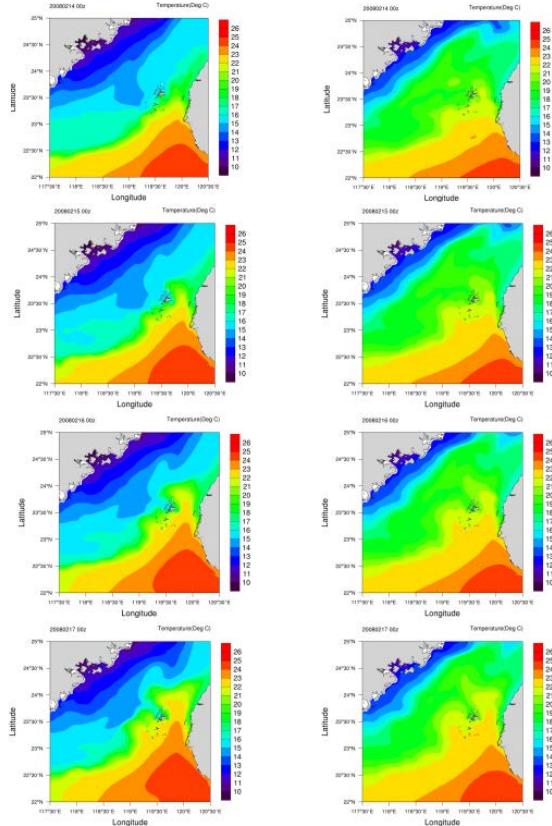


圖4以CFSR(左)與WRF(右)模擬之表面海溫變化(2008年)

五、2011年案例模擬結果

2011年案例同樣以澎湖、澎湖浮標、金門、馬祖測站作為單點比對之依據，其結果如圖5所示。澎湖測站比對結果顯示，WRF結果並無下降趨勢，僅CFSR與HYCOM有下降之趨勢，溫度下降值兩者極為接近，但3組模擬值皆高估於實測水溫。

澎湖浮標測站之比對，WRF結果同樣並無下降趨勢，CFSR與HYCOM結果皆顯示下降趨勢，CFSR結果下降之趨勢更為明顯，以CFSR模擬值較近實測值。

金門測站顯示，WRF與CFSR之結果無明顯差異，兩者之模擬結果皆高估於HYCOM模擬值，亦高估於實測水溫值，但其趨勢類似。

馬祖測站亦顯示WRF與CFSR無明顯之差異，也接近HYCOM模擬值，但3者皆高估於實測水溫值，但其趨勢相同。

整體來說，澎湖與鄰近測站之單點比較，CFSR之結果較WRF結果為佳。如以平面水溫變化比較(圖6)，CFSR之模擬較能呈現大陸沿岸流入侵之現象，WRF之模擬結果無法呈現出類似之變化，且海峽中段之水溫較高，需進一步透過氣象場之熱通量分析，得知兩者之輸入差異。

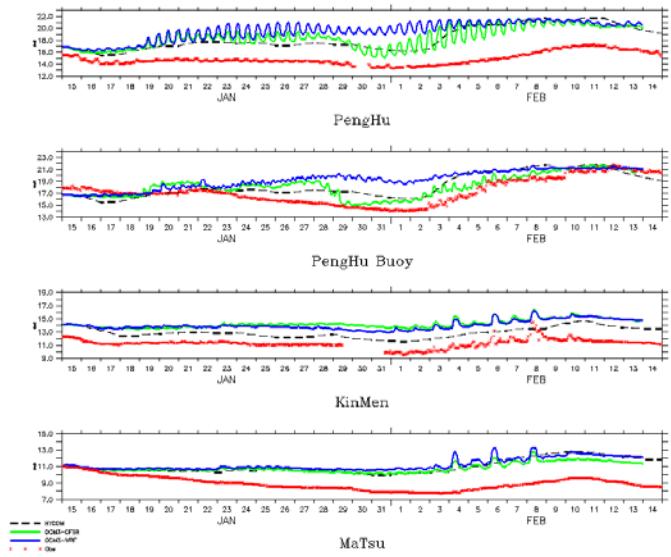


圖5 2011年寒害案例不同測站之海溫模擬結果與實測比對

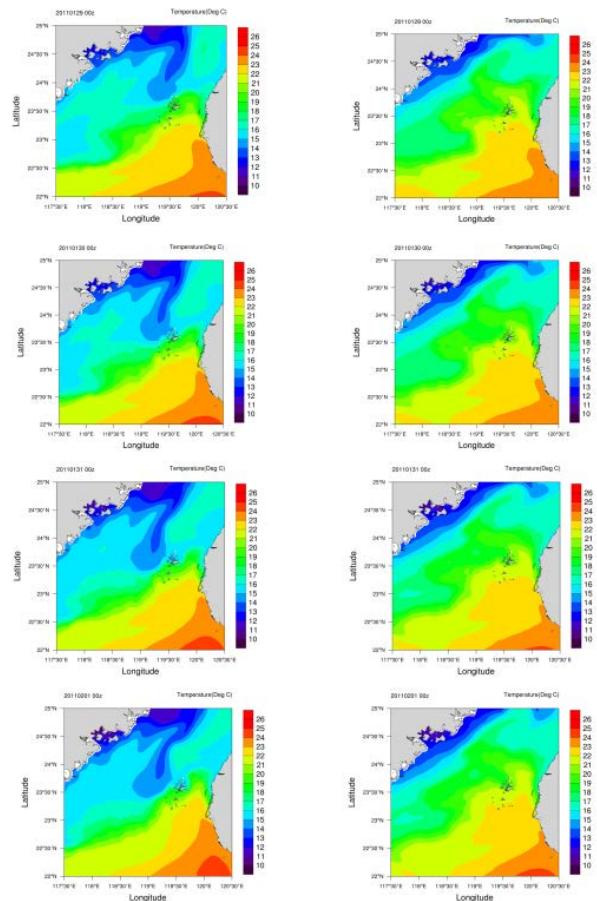


圖6 以CFSR(左)與WRF(右)模擬之表面海溫變化(2011年)

六、氣象場之輸入值差異

透過2組氣象場輸入之計算結果顯示，CFSR較WRF能掌握澎湖寒害之現象，為得知兩者之差異為何，除比對兩者

之輸入值外，亦透過模式中實際算之不同熱通量進行比較，了解水溫變化差異造成之主因。

2008年案例中，由澎湖測點位之熱通量結果顯示，WRF輸入之向下短波輻射明顯高於CFSR，其輸入值幾乎為CFSR之2倍(1/25~2/4)，輸入之向下長波輻射與無明顯差異，僅於寒害過後有較大之差異(2/14~2/21)，向上長波輻射為海溫之函數，因此與海溫變化趨勢一致，顯熱與潛熱兩者亦無明顯之差異。由圖7可以發現，模式海溫於模擬過程中之些微差異變化，由向下短波輻射於表層水體之加熱差異，逐漸累積至向上長波輻射熱通量之差異，由最後整體平衡之總熱通量亦顯示WRF輸入之熱通量高於CFSR，此為造成以WRF模擬之海溫結果高於CFSR之主要成因。

由澎湖浮標與金門浮標點位之分析，亦有類似之結果，WRF輸入之向下短波輻射幾乎為CFSR之2倍，輸入之向下長波輻射與無明顯差異，僅於寒害過後有較大之差異(2/14~2/21)，顯熱與潛熱兩者亦無明顯之差異。

如透過平面分布比較模式輸入之向下短波輻射與向下長波輻射，由於向下短波輻射僅於日照期間作用，夜晚其值為0，因此比較其最大發生時間，為下午2點(UTC為06:00)，由圖8可明顯發現WRF輸入之向下短波輻射遠高於CFSR，於台灣海峽內造成水溫較高之主因，向下長波輻射，兩者僅於陸地有較大之差異，台灣鄰近海域僅有些許差異，因此過強之向下短波輻射為WRF無法模擬出澎湖寒害海溫降低之主要成因。另外，CFSR計算出之表層海流速略大於WRF，顯示於寒害發生時海峽內帶動大陸沿岸流之東北季風風速，WRF較CFSR為低，WRF約為 $12\sim13\text{ms}^{-1}$ ，CFSR則為 18ms^{-1} ，海峽北部風速分布WRF明顯低於CFSR。

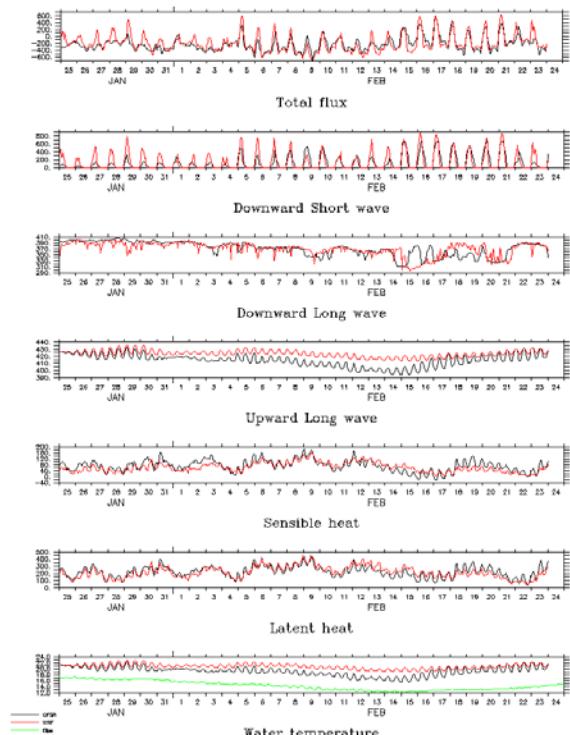


圖7 2008年案例，澎湖測點之各項熱通量值與水溫比較

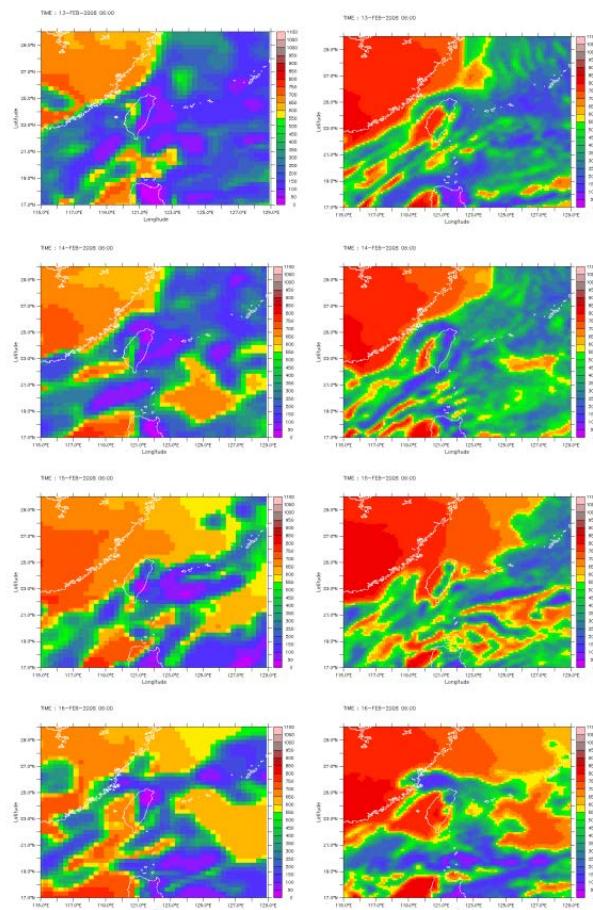


圖8 2008年案例，CFSR(左)與WRF(右)輸入之短波輻射分布

2011年案例則顯示，WRF輸入之向下短波輻射於模擬初期高於CFSR，其輸入值為CFSR之2倍(1/18~1/22)，之後於寒害開始發生時(1/29)，WRF之輸入值為CFSR之一半；輸入之向下長波輻射與無較明顯之差異；顯熱與潛熱兩者亦無明顯之差異；向上長波輻射由圖9可以發現，模式海溫於模擬過程中之初期差異變化，逐漸累積至向上長波輻射熱通量之差異，由最後整體平衡之總熱通量比較顯示，僅於模擬初期有較大之差異(1/18~1/22)，該差異由向下短波輻射造成，使得以WRF模擬之海溫於模擬初期呈現較高之趨勢，逐步累積至向上長波輻射，使得寒害發生初期(1/28~1/29)，CFSR之總熱通量較WRF為低，加上此期間CFSR之顯熱高於WRF，使得CFSR之海溫下降較WRF為低。

澎湖浮標測站之海溫分析結果亦呈現類似之分布，WRF輸入之向下短波輻射於模擬初期高於CFSR(1/18~1/22)，但此期間之CFSR之顯熱與潛熱高於WRF，使得兩者之總熱通量有所差距，逐步反映至海溫後，累積至向上長波輻射熱通量，於寒害發生前期(1/26~1/28)，CFSR總熱通量較WRF為低，使得CFSR之海溫較WRF為低。

金門浮標測站之海溫分析結果則顯示兩者之海溫模擬差距不大，兩者僅於寒害發生期間(1/28~2/1)有些許差異，此差異為向下短波輻射於寒害發生初期(1/25)之差異逐步累積至向上長波輻射熱通量，加上此期間之CFSR向下長波輻

射熱通量高於WRF，使得CFSR之水溫模擬結果略高於WRF。

如以向下短波輻射與向下長波輻射之平面分布分析，兩者之向下短波輻射差異於海峽內部有些許差異，但其最大值類似，WRF偶有較CFSR大範圍之最大值分布(圖10)。向下長波輻射，兩者並無明顯差異。由熱通量分析結果可知，其成為各熱通量於不同區域之平衡差異造成，另外，模式計算出之表層海流，CFSR較WRF為大，東北季風造成之表層流為主要帶動大陸沿岸南侵因素之一，CFSR於寒害發生期間，海峽內之最大風速約為 22 ms^{-1} ，WRF則為 17 ms^{-1} ，海峽北部風速CFSR明顯高於WRF，綜合以上因素造成以WRF輸入模擬之結果無法帶動大陸沿岸流往南流動。

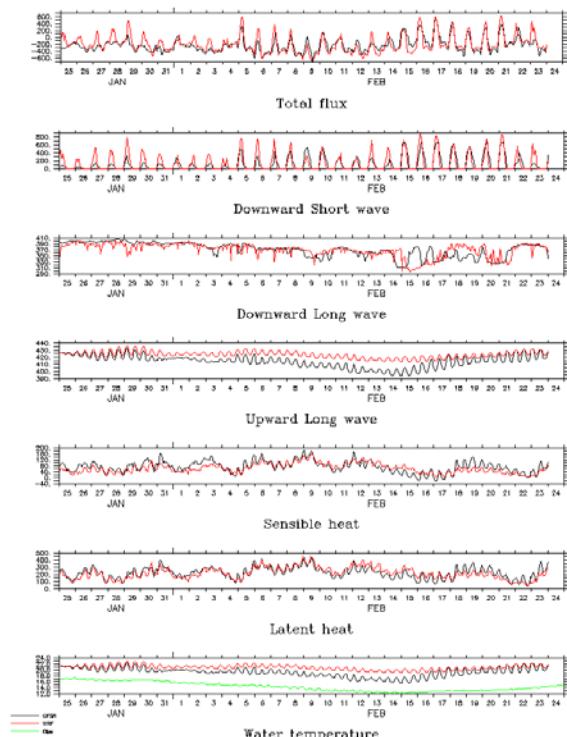


圖9 2011年案例，澎湖測站點之各項熱通量值與水溫比較

七、結論

透過現有台灣海域作業化海流模式之應用，顯示在適當的氣象條件輸入下，OCM3能適當的模擬出寒潮發生時之現象，藉由2008年與2011年發生之寒害作為案例，利用HYCOM重分析場資料作為初始場與邊界場，並以CFSR與局內WRF作為氣象場輸入，模式案例結果顯示，HYCOM之初始場與量測溫度資料比較下，HYCOM之初始場較為高估，此初始誤差在計算的過程中並無法貼近實測值而消爾，但模式結果與實測值有類似之趨勢，在適當之氣象條件驅動下之計算結果顯示水溫明顯下降。由計算結果與實測之比對評估，CFSR呈現較佳之結果，WRF則由於輸入之短波輻射較CFSR為高，使得水溫呈現較高之趨勢。

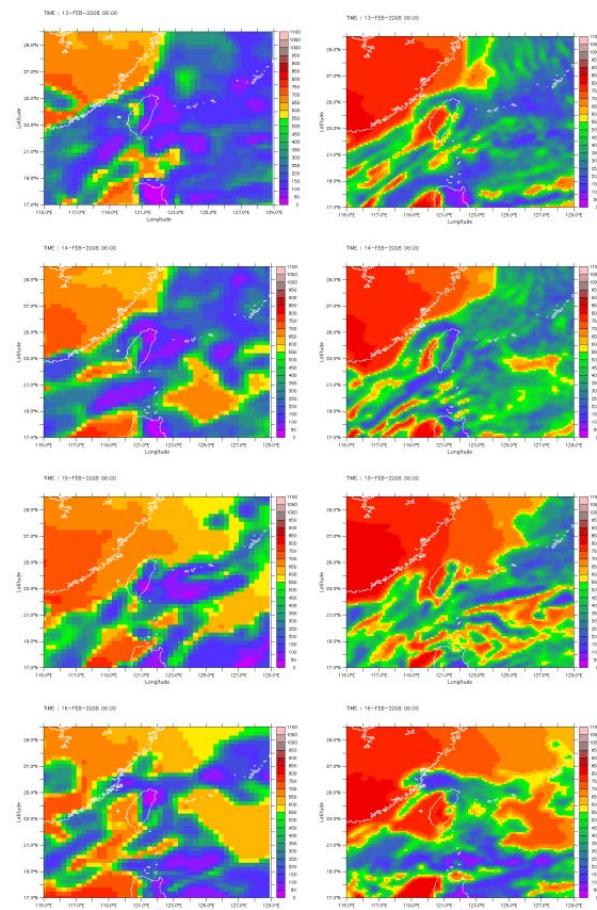


圖10 2011年案例，CFSR(左)與WRF(右)輸入之短波輻射分佈

八、參考文獻

- Liao E.H., Jiang Y.W., Li Li, Hong H.S., Yan X.H. (2013) The cause of the 2008 cold disaster in the Taiwan Strait. *Ocean Modelling*, 62, 1-10.
- Zhang, Y., and Baptista, A.M. (2008) SELFE: A semi-implicit Eulerian-Lagrangian finite-element model for cross-scale ocean circulation, *Ocean Modelling*, 21(3-4), 71-96