



NAR Labs 國家實驗研究院

台灣海洋科技研究中心

Taiwan Ocean Research Institute

高頻雷達測流系統之徑向速度 與漂流浮標驗證結果及資料分級

黃郁軒 程嘉彥

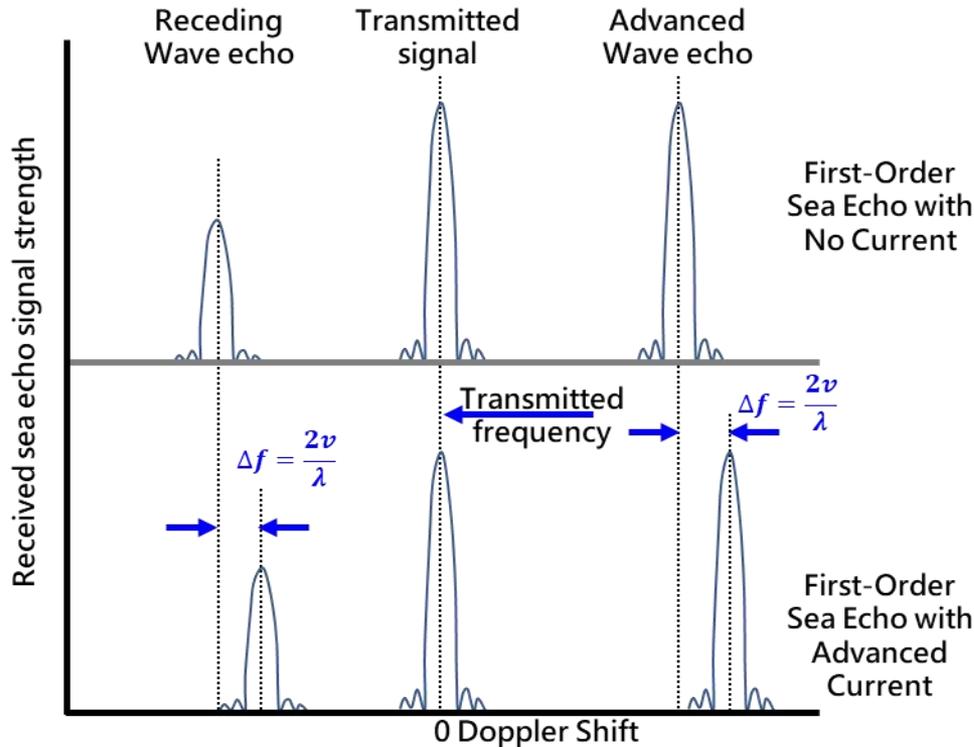
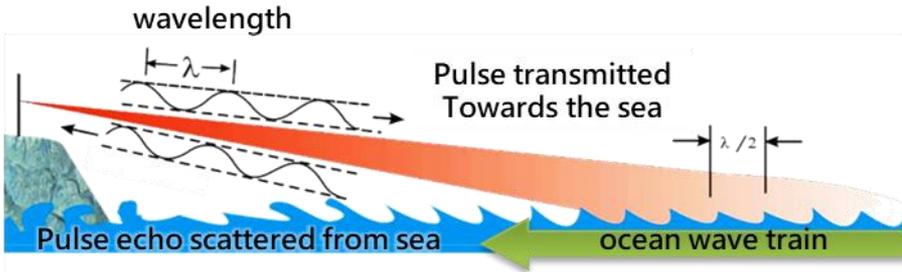
2024/09/05

Outline

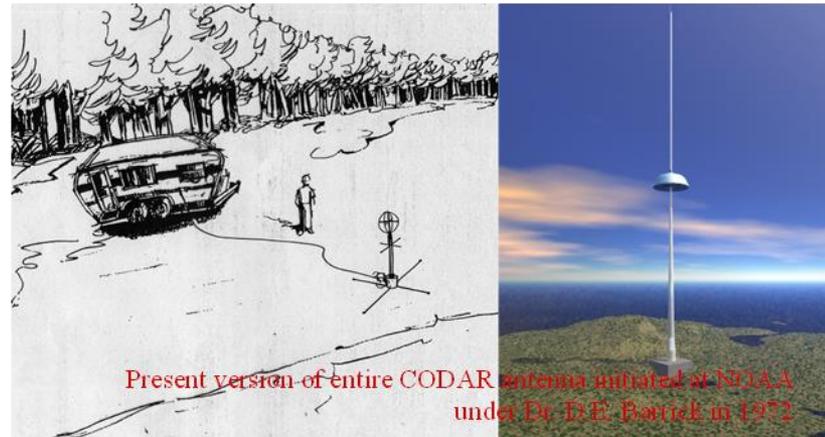
- 雷達測流理論及TOROS天線型式
- 徑向速度品質與分級
- 各級品質說明(各頻段之範例)
- 漂流浮標與徑向速度驗證結果
- 相位陣列雷達
 - 徑向速度品質
 - 導入TORI自行開發之合理性品質管制結果
- 結語

雷達測流理論

雷達測流理論及天線型式 > 徑向速度品質管與分級 > 各級品質說明 > 漂流浮標與徑向速度驗證結果 > 相位陣列雷達 > 結語



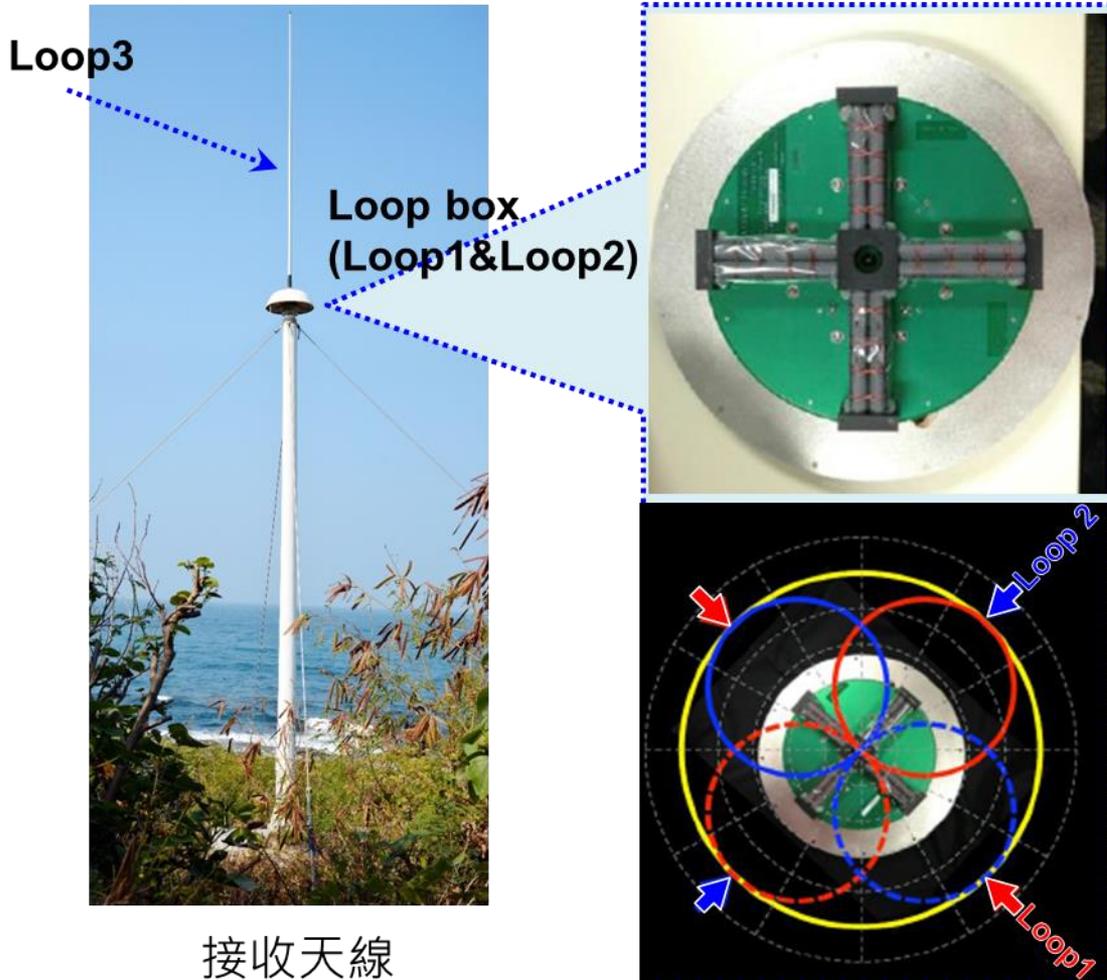
Receiving Array 8 MHz range 250 km



TOROS天線型式

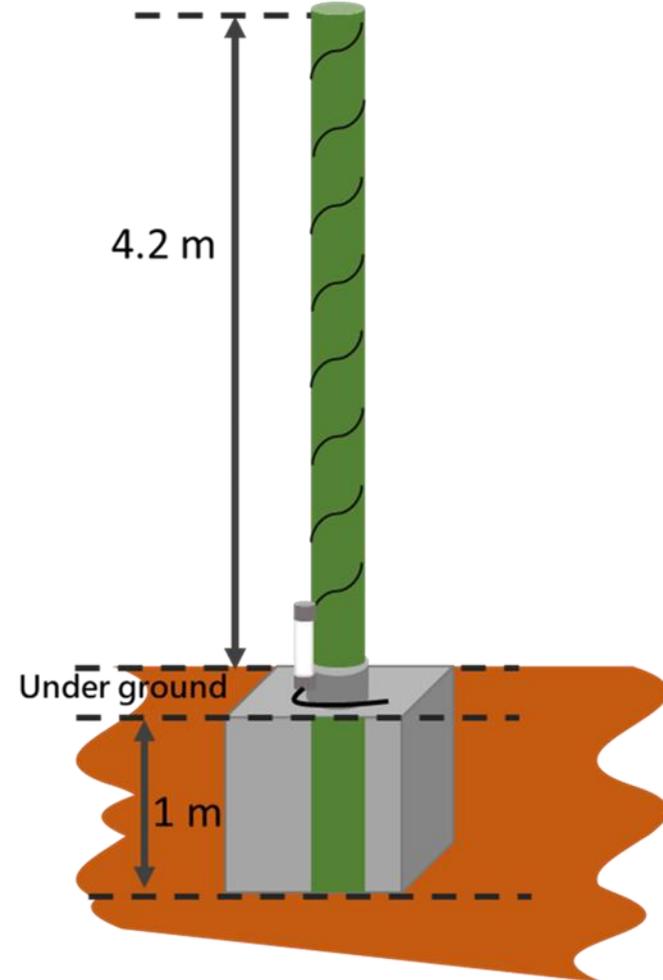
雷達測流理論及天線型式 > 徑向速度品管與分級 > 各級品質說明 > 漂流浮標與徑向速度驗證結果 > 相位陣列雷達 > 結語

1. CODAR 系統雷達定位、定向



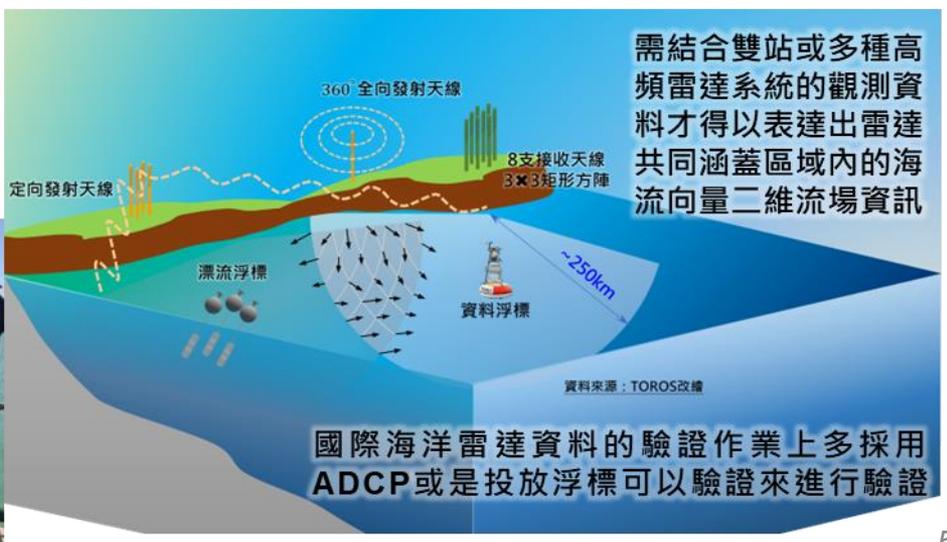
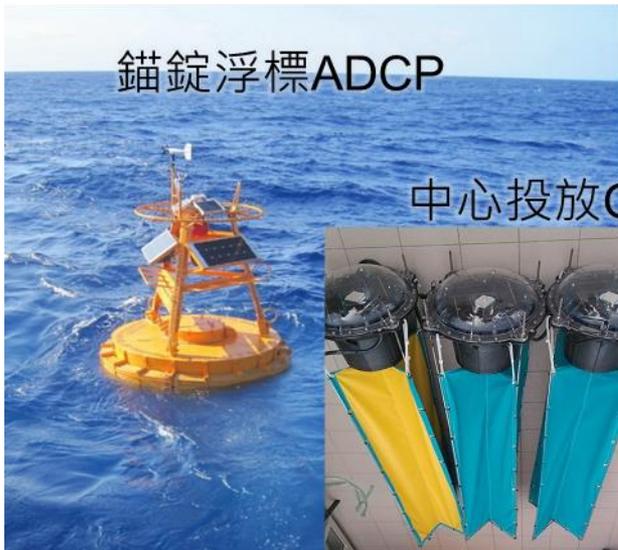
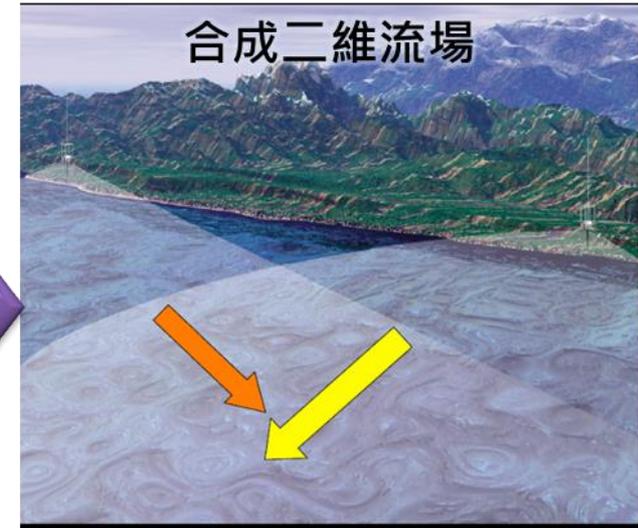
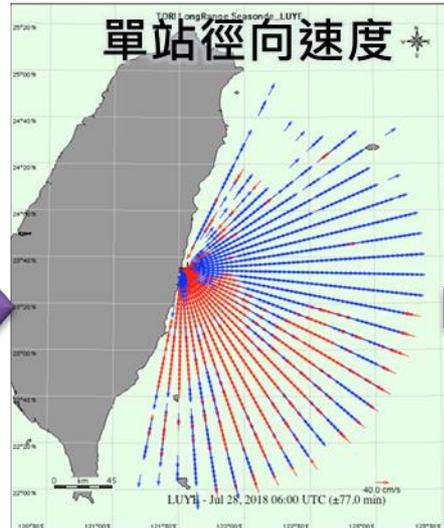
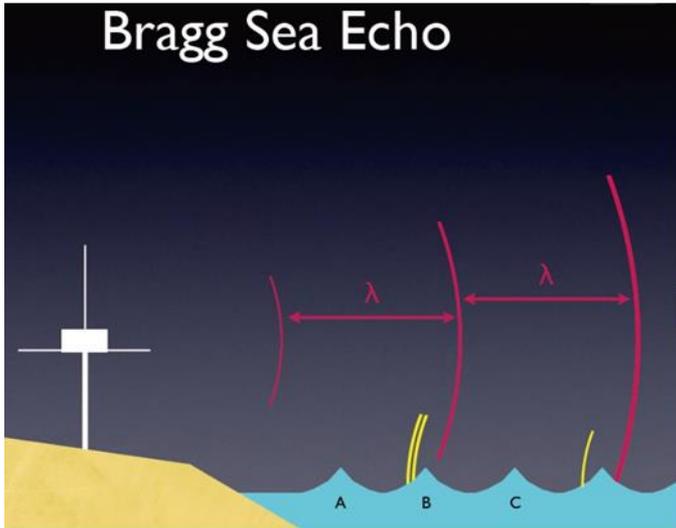
接收天線

2. LERA 相位陣列天線



徑向速度品管重要性

雷達測流理論及天線型式 ➤ 徑向速度品管與分級 ➤ 各級品質說明 ➤ 漂流浮標與徑向速度驗證結果 ➤ 相位陣列雷達 ➤ 結語



TOROS 徑向速度品管發展

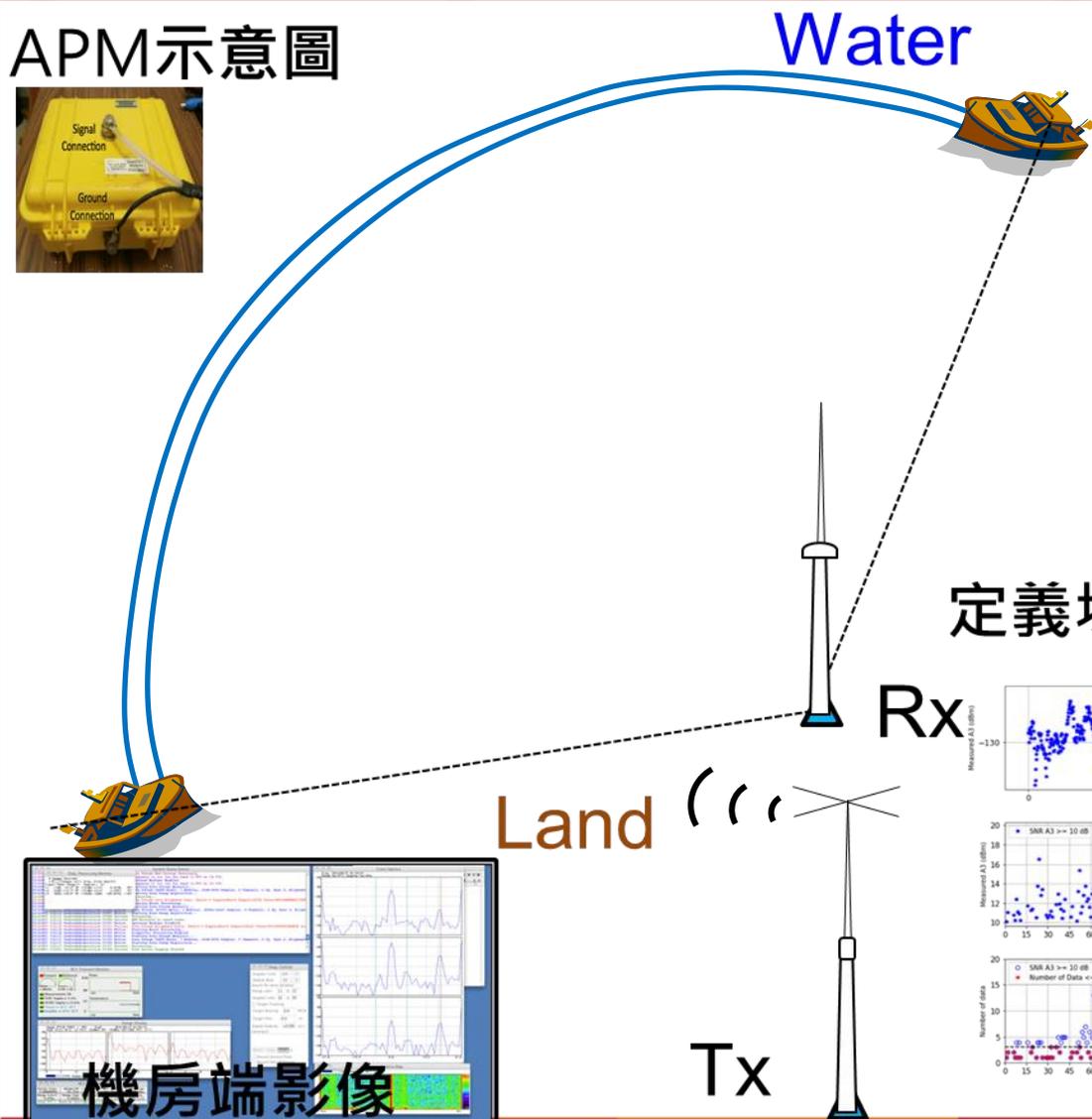
雷達測流理論及天線型式 ➤ 徑向速度品管與分級 ➤ 各級品質說明 ➤ 漂流浮標與徑向速度驗證結果 ➤ 相位陣列雷達 ➤ 結語



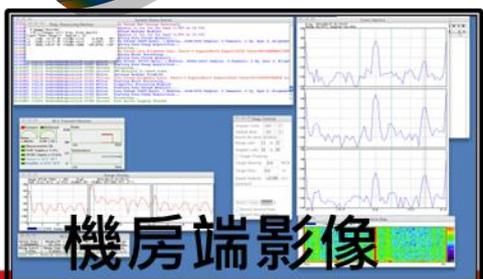
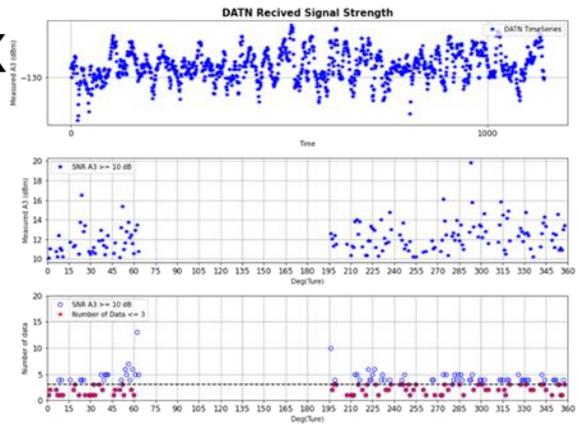
TOROS 徑向速度品管發展-校正作業標準化

➤ 雷達測流理論及天線型式 ➤ 徑向速度品管與分級 ➤ 各級品質說明 ➤ 漂流浮標與徑向速度驗證結果 ➤ 相位陣列雷達 ➤ 結語

APM示意圖



定義場型校正有效資料

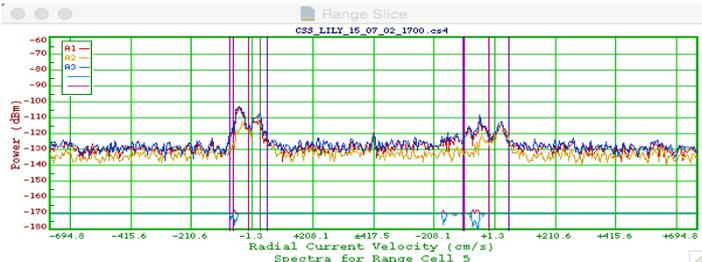
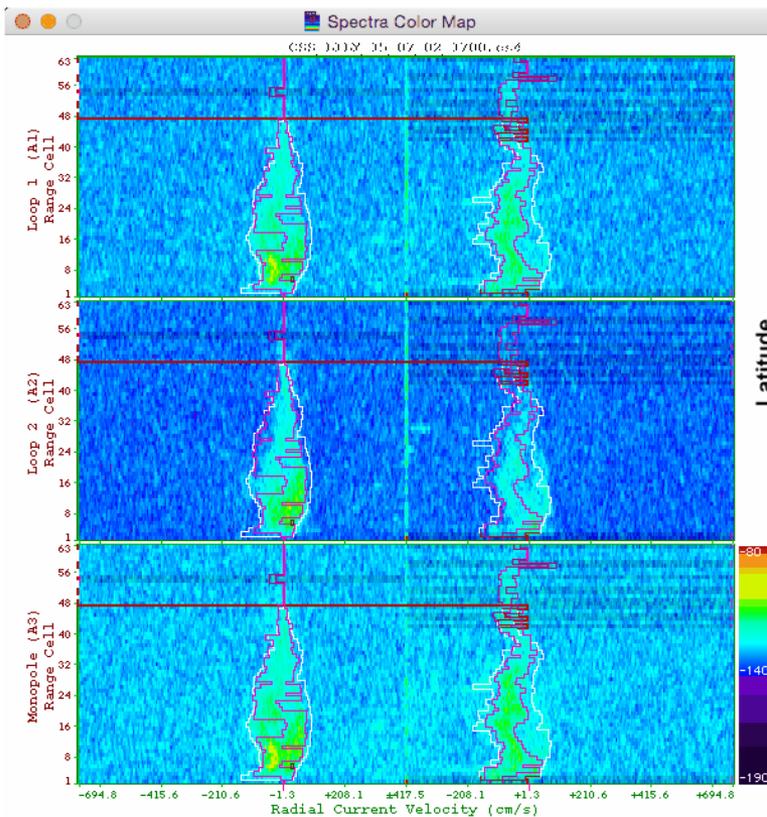


機房端影像

TOROS 徑向速度品管發展-能譜訊號框定最佳化

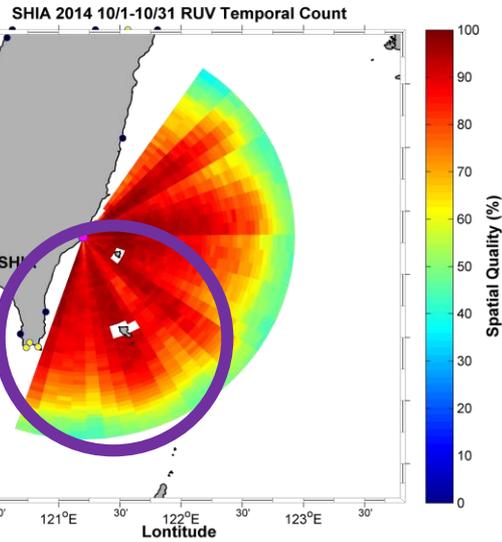
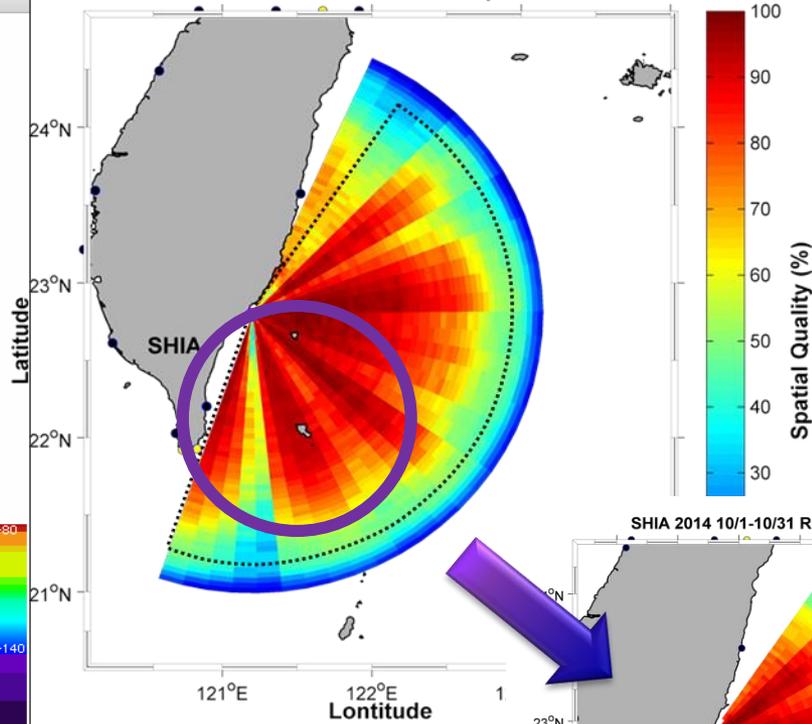


雷達測流理論及天線型式 ➤ 徑向速度品管與分級 ➤ 各級品質說明 ➤ 漂流浮標與徑向速度驗證結果 ➤ 相位陣列雷達 ➤ 結語



Red : default FOL
White : 最佳化 FOL

SHIA 2014 10/1-10/31 RUV Temporal Count

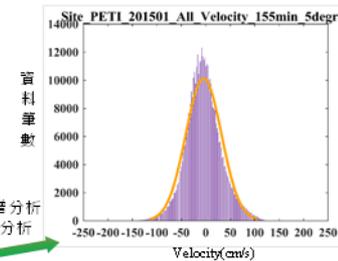
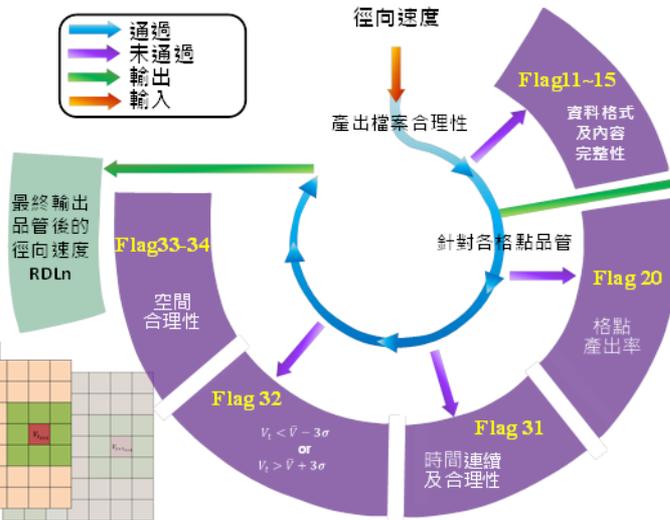
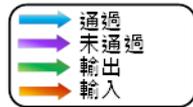


徑向速度合理性品管(TORI自行開發)

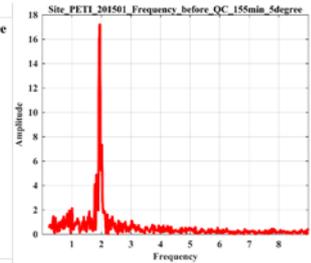
雷達測流理論及天線型式 ➤ 徑向速度品管與分級 ➤ 各級品質說明 ➤ 漂流浮標與徑向速度驗證結果 ➤ 相位陣列雷達 ➤ 結語

徑向資料品質管理分析流程

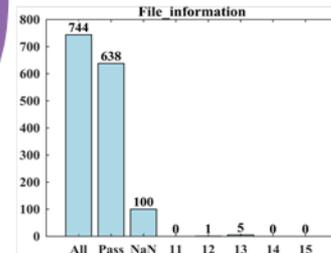
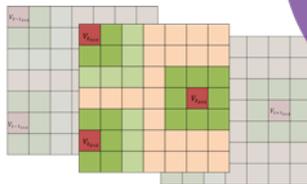
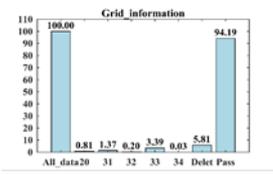
無法通過資料時間與空間檢核之標記對照表
標註 對應內容
20 此格點產出率不符合設定值
31 $ V_t - V_{t-1} > 54 \text{ cm/s}$ 且 $ V_t - \bar{V} > V_{t-1} - \bar{V} $
32 $V_t > \bar{V} + 3\sigma$ 或 $V_t < \bar{V} - 3\sigma$
33 時間與空間九宮格中有效 $V_{3 \times 3 \times 3}$ 數量小於9個
34 $V_t > \bar{V}_{3 \times 3 \times 3} + 3 \times \sigma_{3 \times 3 \times 3}$ 或 $V_t < \bar{V}_{3 \times 3 \times 3} - 3 \times \sigma_{3 \times 3 \times 3}$



檢視雷達資料是否符合常態分佈

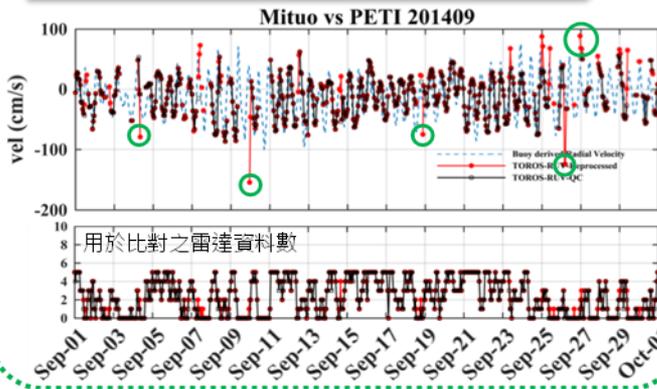


利用頻譜分析了解量測到的雷達資料是否符合觀測區域的歷史潮流特性



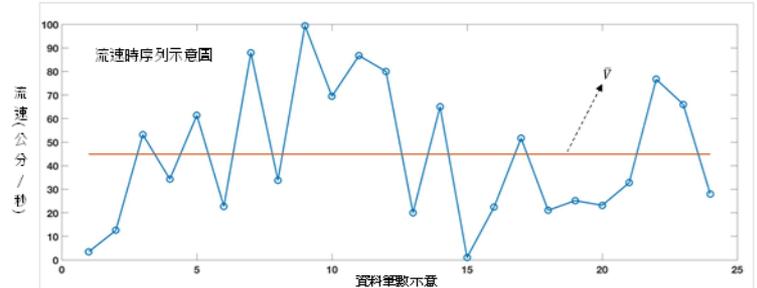
無法通過資料產出合理性檢核之標記對照表	
標註	對應內容
NaN	無此筆資料。
11	此筆資料寫入不完整。
12	此筆資料產出格點少於設定值。
13	此筆資料檔頭不完整。
14	此筆資料疊合時間不滿足設定值。
15	此筆資料欄位不符合設定值。

徑向資料品管前後驗證示意圖



主要參考文獻

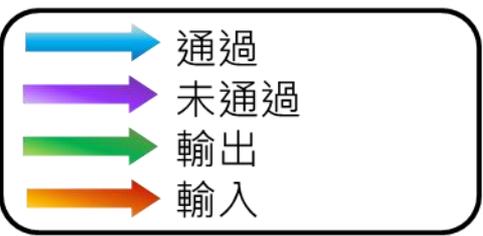
- 美國海洋綜合觀測系統 (IOOS), 海洋即時資料品保手冊 (QARTOD Manual): <https://www.oceanbestpractices.net/handle/11329/336>
- 董東璟*, 莊士賢、高家俊 (1997) 「海氣象觀測資料品管系統之建立」, 第19屆海洋工程研討會。



- Jian-Wu Lai*, Yu-Hsuan Huang, Chi-Chang Wu, Yi-Chieh Lu (2018) "Development of Standard Deviation Based Data Quality Processes for the TOROS HFRadar Network," The 4th Ocean Radar Conference for Asia-Pacific.
- 呂宜潔*, 賴堅成、黃郁軒、吳季莊 (2019) 「高頻雷達徑向資料品管流程之研發」, 108年天氣分析與預報研討會。

徑向速度品管流程(TORI自行開發)

雷達測流理論及天線型式 ➤ 徑向速度品管與分級 ➤ 各級品質說明 ➤ 漂流浮標與徑向速度驗證結果 ➤ 相位陣列雷達 ➤ 結語



① 近即時徑向速度 RDLm

第一次合理性品管

檔案不完整

② 1th QC RDLm

第二次合理性品管

Max Velocity RDLn

FOL Settings (回算作業)

③ 進階品管 RDLn

考慮區域潮流特性

Flag 5

$$V_t < \mu - 3\sigma$$

or

$$V_t > \mu + 3\sigma$$

Flag 4

time - space sampling
3 × 3 × 3

Flag 3

$$V_t < \mu - 3\sigma$$

or

$$V_t > \mu + 3\sigma$$

Flag 2

output rate
< 17%(1/6)

Flag 1

$$|V_{t-1} - V_t| > 54cm/s$$

時間連續性

有效資料產出率

最大流速門閥

空間連續性

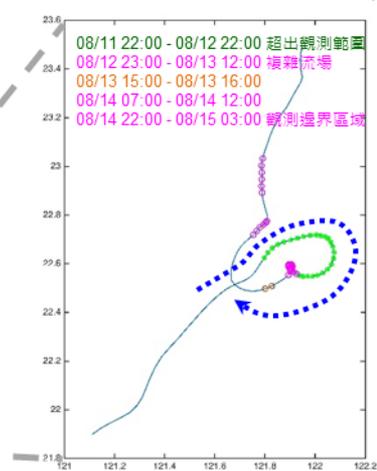
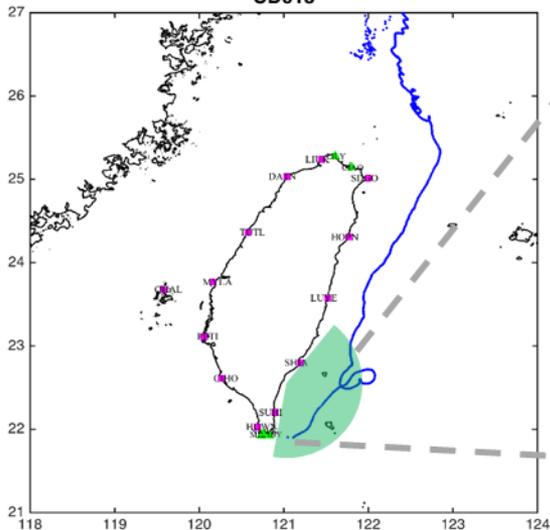
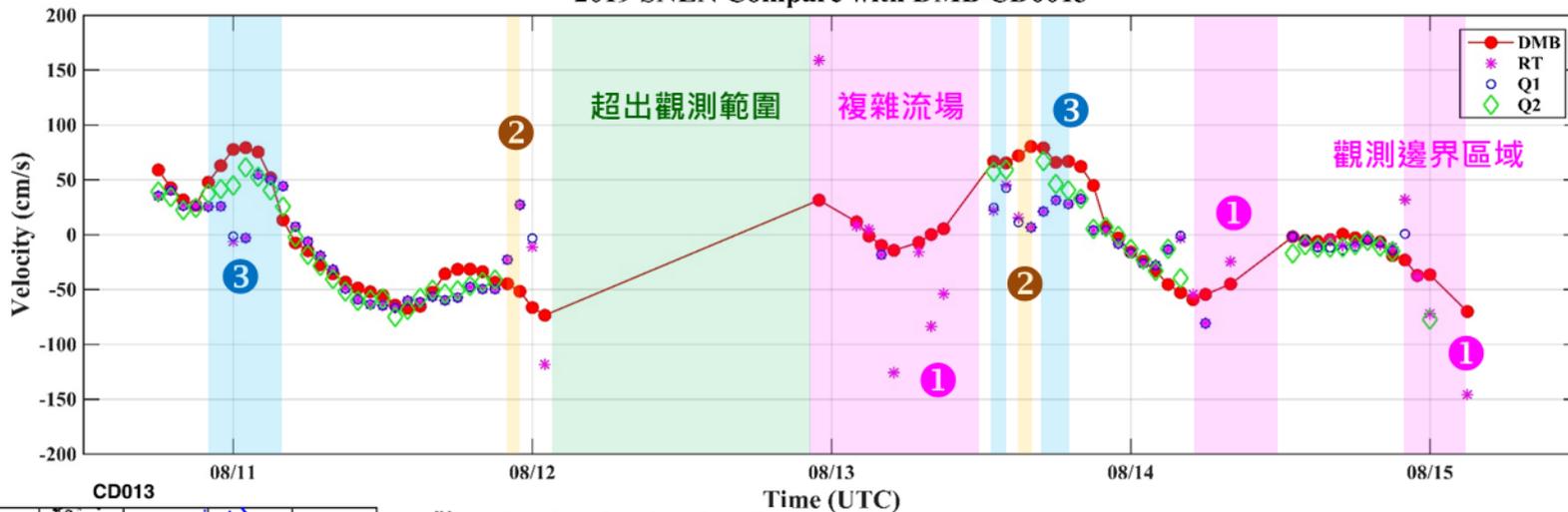
最大流速門閥

- Data classification**
- ① 近即時資料 **RT**: 原廠軟體(區域定常最佳化參數)
 - ② 初階品管 **Q1**: 作業化程式(自行開發)
 - ③ 進階品管 **Q2**: 人員檢視能譜及參數最佳化

各級徑向速度品質說明(13MHz範例)

雷達測流理論及天線型式 > 徑向速度品質管與分級 > **各級品質說明** > 漂流浮標與徑向速度驗證結果 > 相位陣列雷達 > 結語

2019 SNLN Compare with DMB CD0013

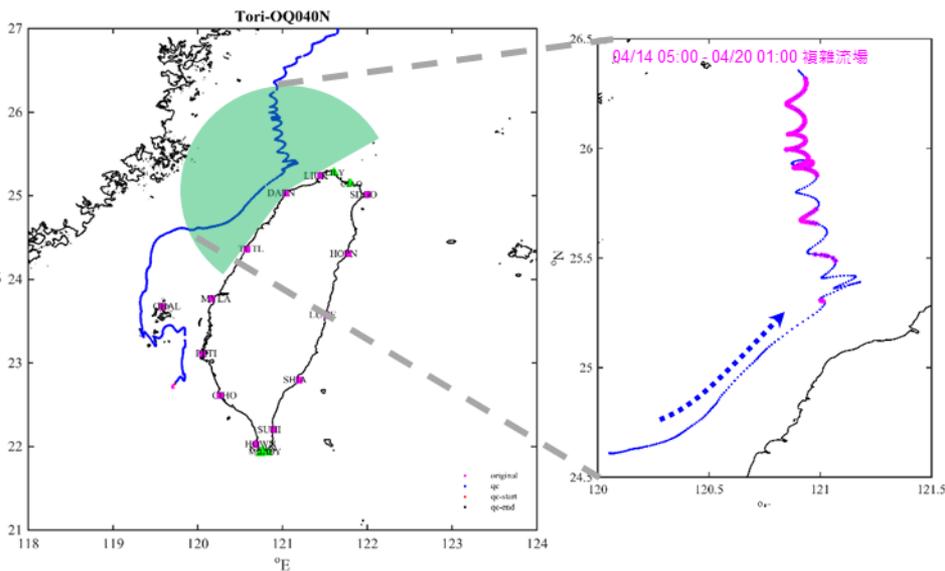
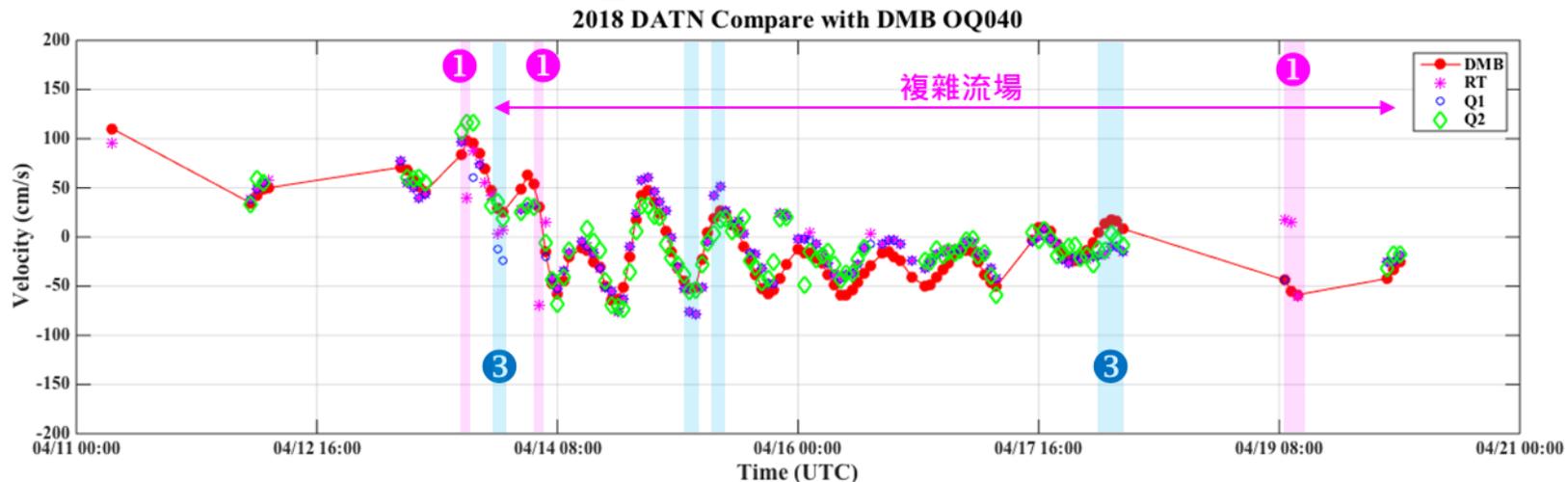


資料分級	相關係數 (CC)	均方根誤差 RMSD(cm/s)	資料點數 (N)
1. RT	0.679	38.36	72
2. Q1	0.781	30.69	59
3. Q2	0.960	15.24	52

- ① 透過合理性品質管可過濾 (RT) 之偏差徑向速度
- ② 透過FOLs機制過濾(RT、Q1)之偏差徑向速度
- ③ 透過FOLs機制進而修正徑向速度偏差

各級徑向速度品質說明(5MHz範例)

雷達測流理論及天線型式 > 徑向速度品質管與分級 > **各級品質說明** > 漂流浮標與徑向速度驗證結果 > 相位陣列雷達 > 結語

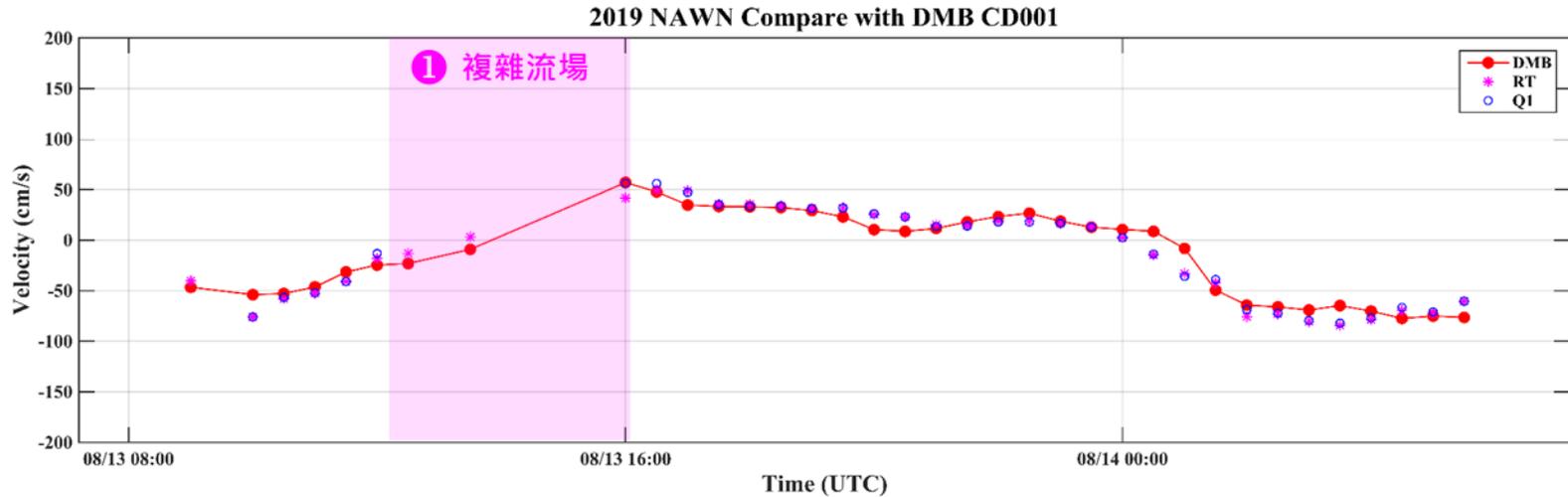


資料分級	相關係數 (CC)	均方根誤差 RMSD(cm/s)	資料點數 (N)
1. RT	0.866	21.63	115
2. Q1	0.885	17.74	107
3. Q2	0.906	16.54	100

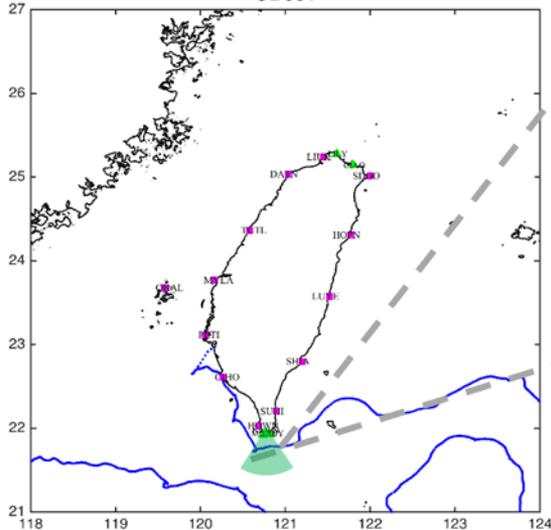
- ① 透過合理性品質管可過濾 (RT) 之偏差徑向速度
- ③ 透過FOLs機制進而修正徑向速度偏差

各級徑向速度品質說明(24MHz範例)

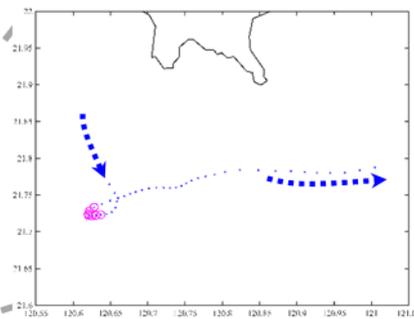
雷達測流理論及天線型式 > 徑向速度品質管與分級 > 各級品質說明 > 漂流浮標與徑向速度驗證結果 > 相位陣列雷達 > 結語



CD001



08/13 12:30 - 08/13 15:30 複雜流場



資料分級	相關係數 (CC)	均方根誤差 RMSD(cm/s)	資料點數 (N)
1. RT	0.969	11.07	36
2. Q1	0.971	11.01	33

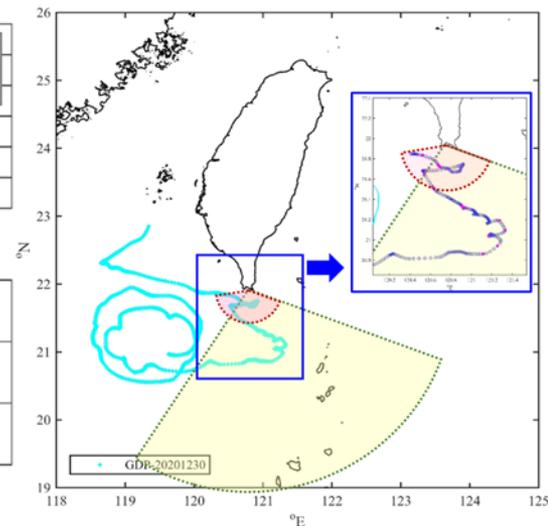
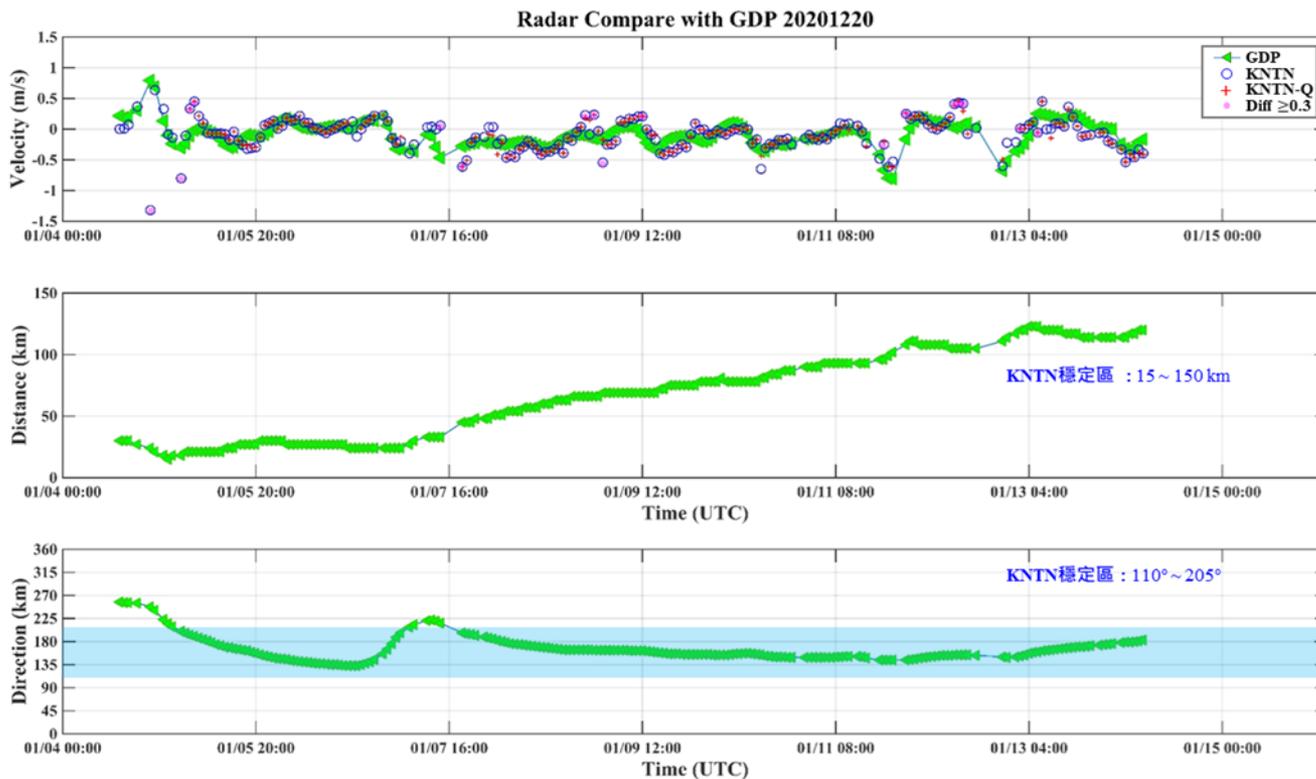
- ① 透過合理性品質管可過濾 (RT) 之偏差徑向速度
- ② 透過FOLs機制過濾(RT、Q1)之偏差徑向速度

相關係數介於0.72~0.79, 均方根誤差介於10.0~12.7cm/s
 相關係數介於0.85~0.90, 均方根誤差介於13.5~15.8cm/s

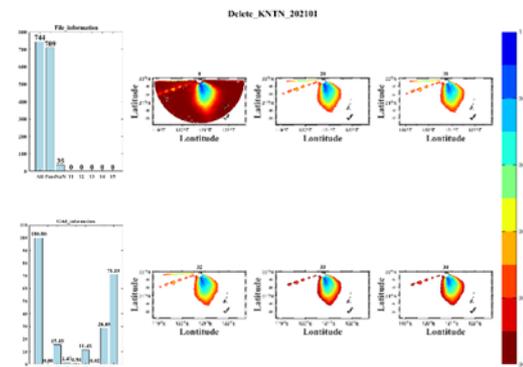
Paduan, J.D.; Kim, K.C.; Cook, M.S.; Chavez, F.P. Calibration and Validation of Direction-Finding High-Frequency Radar Ocean Surface Current Observations. IEEE J. Ocean. Eng. 2007, 31, 862–875.
 Guérin, C.-A., Dumas, D., Molcard, A., Quentin, C., Zakardjian, B., Gramoullé, A., and Berta, M.: High-Frequency radar measurements with CODARs in the region of Nice: improved calibration and performances, accepted, J. Atmos. Ocean. Tech., 38, 2003–2016, <https://doi.org/10.1175/JTECH-D-21-0058.1>, 2021.

相位陣列雷達品管前後徑向速度品質(2)

雷達測流理論及天線型式 > 徑向速度品管與分級 > 各級品質說明 > 漂流浮標與徑向速度驗證結果 > **相位陣列雷達** > 結語



合理性品管各階段篩選結果



- 相位陣列雷達徑向速度導入TORI自行開發之合理性品管機制
- 合理性品管可排除觀測不穩定的問題，但在複雜流場偏差改善上較無法發揮作用

- 本中心現有**集成式**及**相位陣列**兩種雷達系統，中心頻率分別採用5MHz、13MHz、24MHz及8MHz。
- 徑向速度採用之品管流程以逐月逐站的方式，檢核徑向速度**資料產出**、**時間**與**空間**三個項目之**合理性**與**連續性**，以提高雷達測流徑向資料之可靠性。
- 考量資料後處理時程及資料品質，將徑向速度品管標準化，並分級為**近即時(RT)**、**初階品管(Q1)**及**進階品管(Q2)**。
- 利用漂流浮標比對顯示各級徑向速度改善狀況及各級資料品質。
- TORI自行開發之合理性品管機制(Q1)導入相位陣列雷達系統，顯示資料在合理性與連續性有改善。但在改善複雜流場偏差上較無法發揮作用，需透過進階品管(Q2)後較有機會呈現複雜流場。



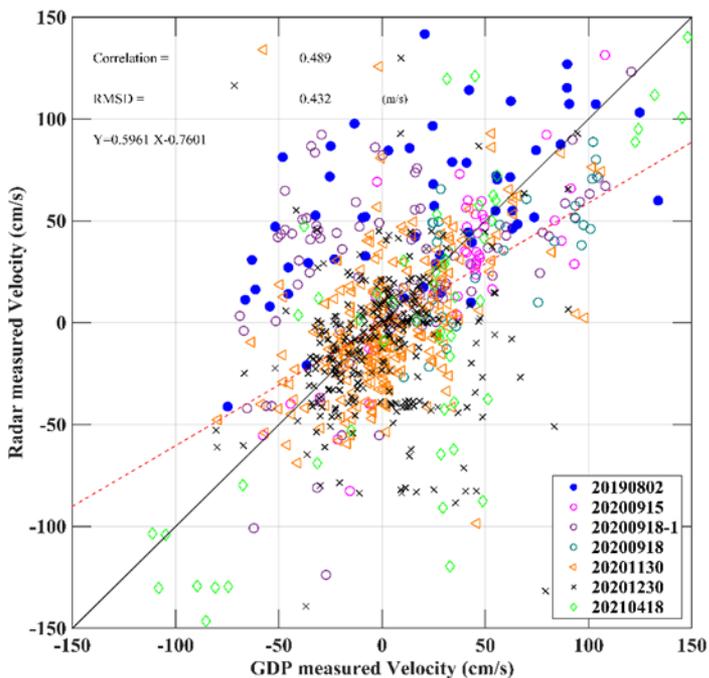
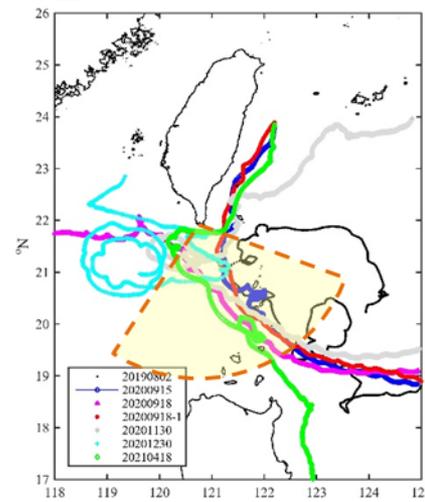
資料來源：TOROS改繪

相位陣列雷達徑向速度品質

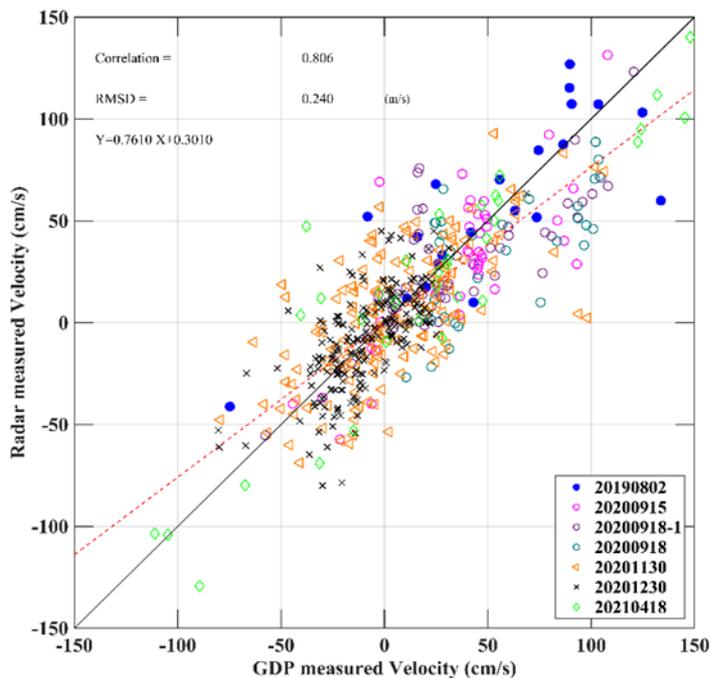
雷達測流理論及天線型式 > 徑向速度品質管與分級 > 各級品質說明 > 漂流浮標與徑向速度驗證結果 > 相位陣列雷達 > 結語

與全球表面漂流浮標 (GDP) 比對之結果

GDP通過KNTN觀測海域同時滿足KNTN運作期間之浮標共計7顆，徑向速度比對結果顯示平均相關性為0.49；若僅針對**穩定海域**進行分析平均相關性則提高至**0.81**。



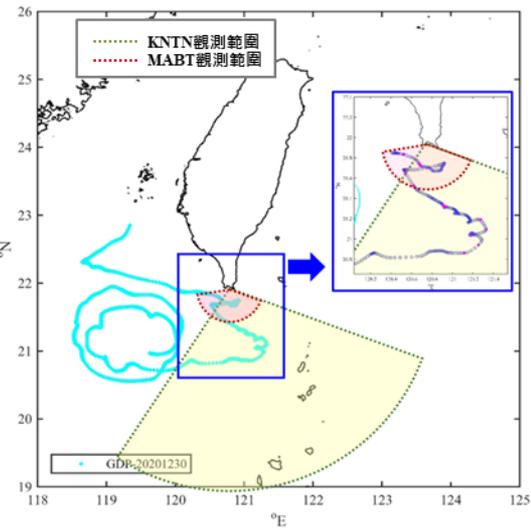
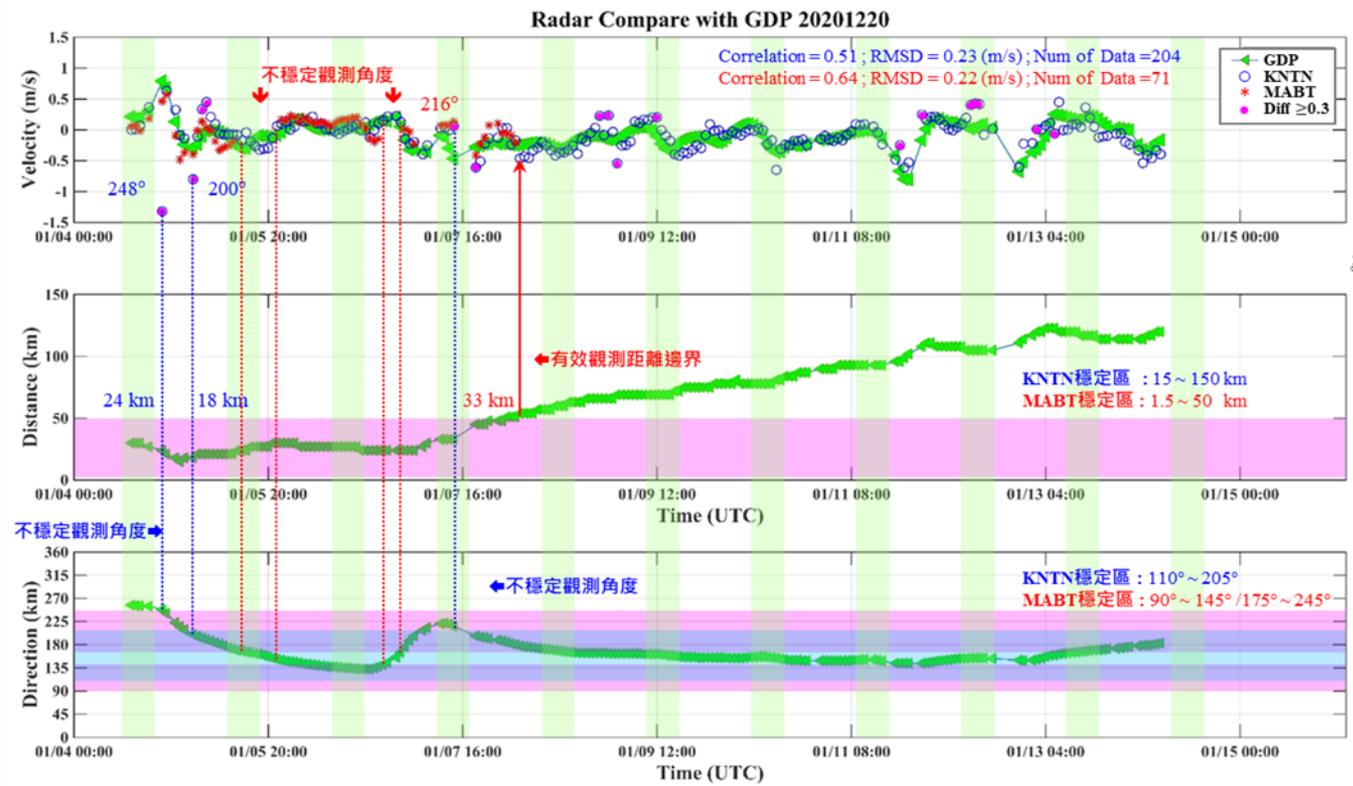
GDP轉換為徑向速度與KNTN比對結果



僅針對穩定海域比對結果

相位陣列雷達品管前後徑向速度品質(1)

雷達測流理論及天線型式 > 徑向速度品管與分級 > 各級品質說明 > 漂流浮標與徑向速度驗證結果 > 相位陣列雷達 > 結語



1. Codar雷達MABT與GDP-20201230之徑向速度較無明顯偏差
2. 相位陣列雷達KNTN與GDP-20201230之徑向速度出現明顯偏差(Diff ≥ 0.3)的原因
 - (1) 處於不穩定觀測角度：虛線
 - (2) 複雜流場(流速角度變化劇烈)：桃色點(與浮標軌跡桃色點一致)
3. 日夜變化波動約於每日(UTC)10:00至17:00間，資料產出狀況明顯變差(綠色區塊)。

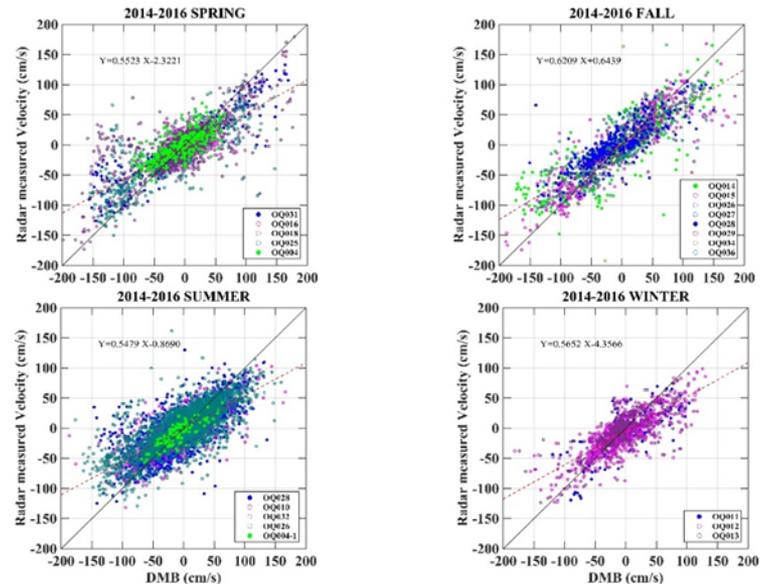
自行投放DMB浮標與徑向速度(Q2)驗證結果

雷達測流理論及天線型式 > 徑向速度品質管與分級 > 各級品質說明 > 漂流浮標與徑向速度驗證結果 > 相位陣列雷達 > 結語

- 徑向速度與DMB漂流浮標相關係數平均值介於0.62~0.81，以夏季表現最佳，春季最差。在均方根誤差方面，介於24.5 ~ 32.5 (cm/s)。
- 徑向速度與DMB漂流浮標相關係數平均值介於0.78~0.84，以南部表現最佳，西部相較之下較差均方根誤差方面，介於29.1 ~ 45.6 (cm/s)。

以季節區分2014~2016量化指標結果統計表

季節		浮標數 (顆)	比對 樣本 (個)	量化指標		區域與年分			
				Corr	RMSD (cm/s)	東 部	西 部	南 部	北 部
春	3-5月	6	2352	0.62	31.4	2016	2015	2015 2016	
夏	6-8月	5	6759	0.81	24.5		2015 2016	2015	
秋	9-11月	9	3754	0.77	32.5	2014	2015	2016	
冬	12-翌年 2月	3	1790	0.76	25.2		2014		



以區域區分2014~2016量化指標結果統計表

區域		浮標數 (顆)	比對 樣本 (個)	量化指標		年分		
				Corr	RMSD (cm/s)	2014	2015	2016
東	SDGO-SUHI	7	2358	0.80	45.6	✓		✓
南	MABT-BABY	4	188	0.84	29.12		✓	✓
西	LIUK-HOWN	15	11465	0.78	31.29	✓	✓	✓
北	CIAO-LILY	0	-	-	-	-	-	-

