



**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

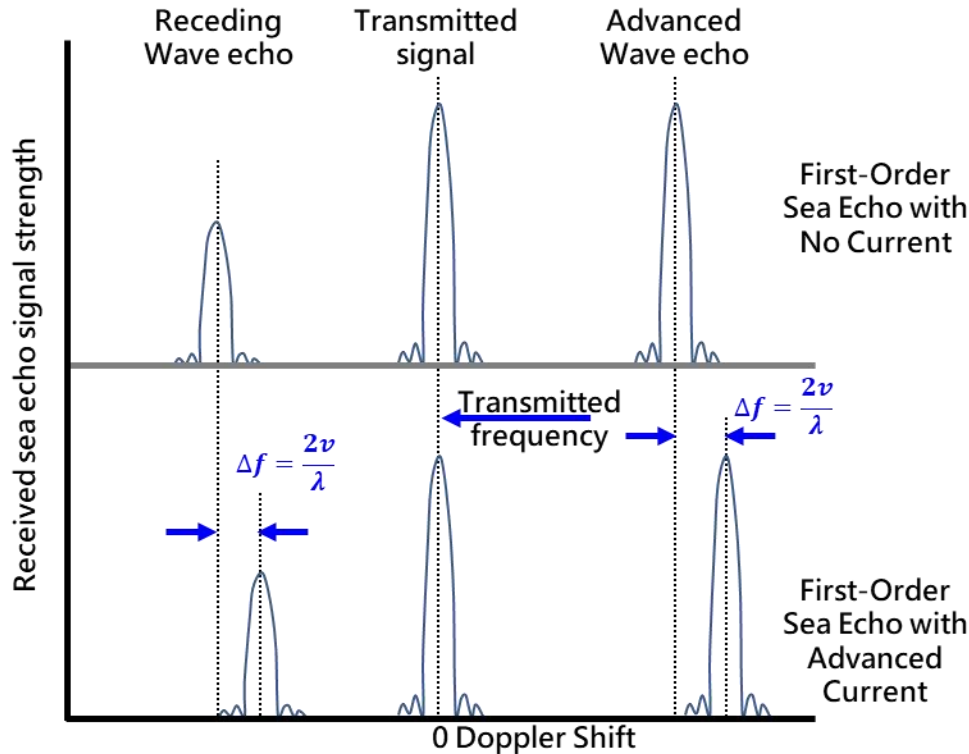
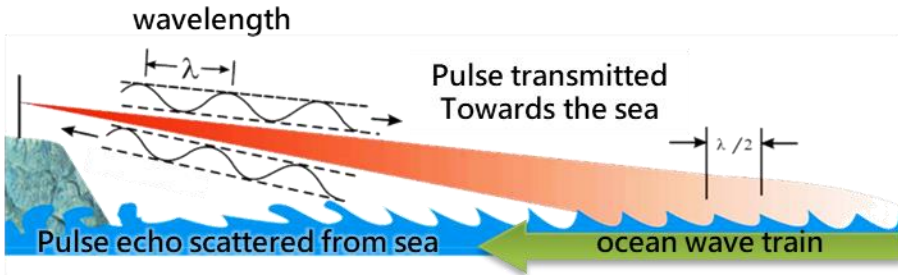
2024/09/05

# Outline

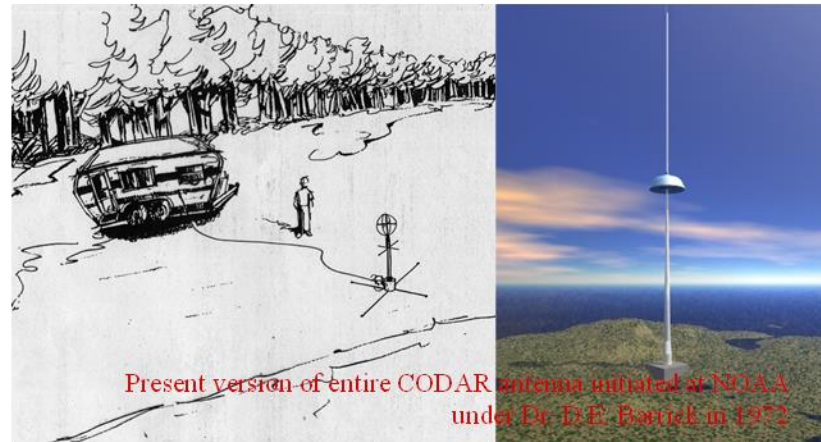
- 雷達測流理論及TOROS天線型式
- 徑向速度品質與分級
- 各級品質說明(各頻段之範例)
- 漂流浮標與徑向速度驗證結果
- 相位陣列雷達
  - 徑向速度品質
  - 導入TORI自行開發之合理性品質管制結果
- 結語

# 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



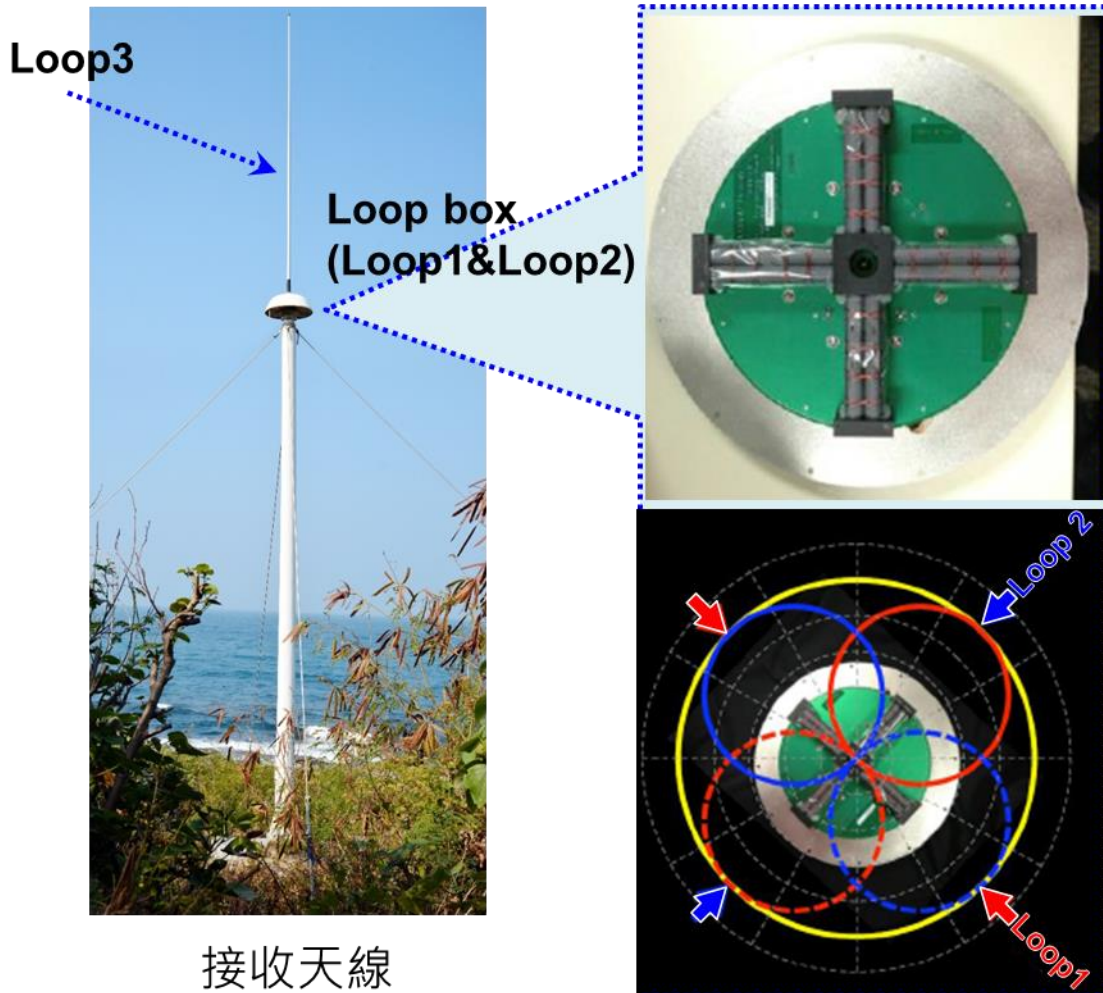
Receiving Array 8 MHz range 250 km



# TOROS天線型式

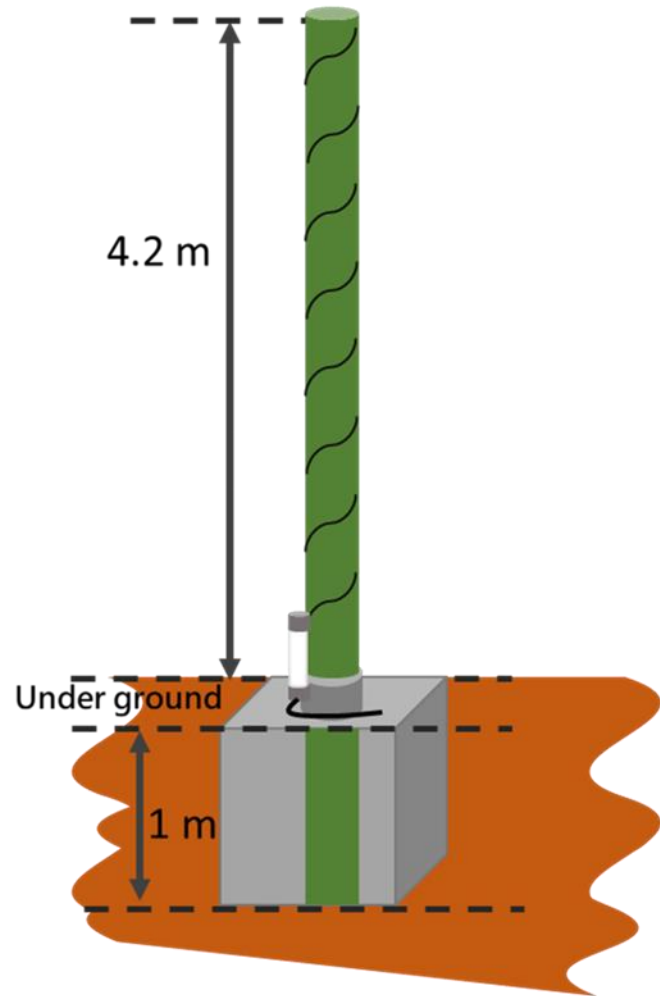
雷達測流理論及天線型式 > 徑向速度品管與分級 > 各級品質說明 > 漂流浮標與徑向速度驗證結果 > 相位陣列雷達 > 結語

## 1. CODAR 系統雷達定位、定向



接收天線

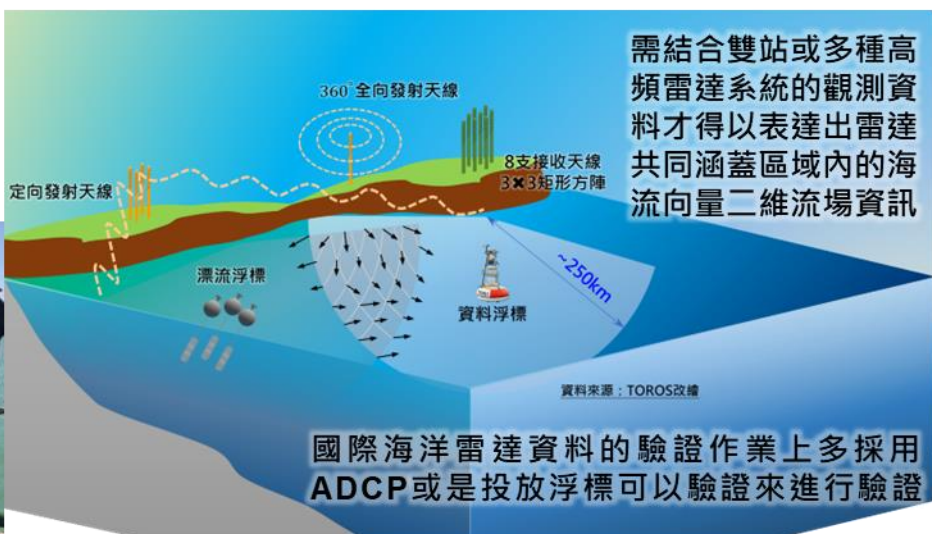
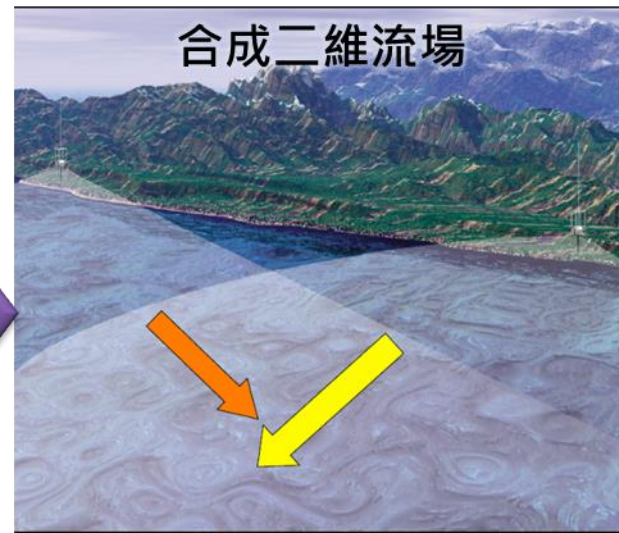
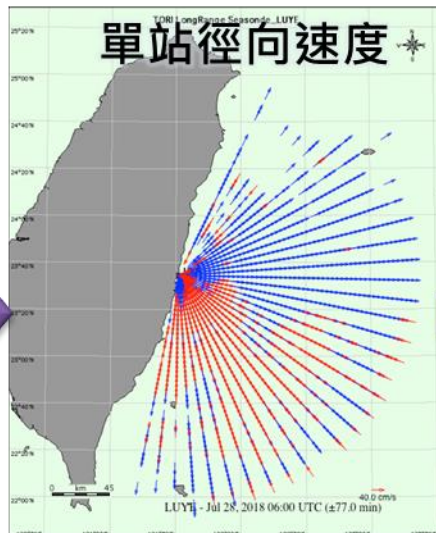
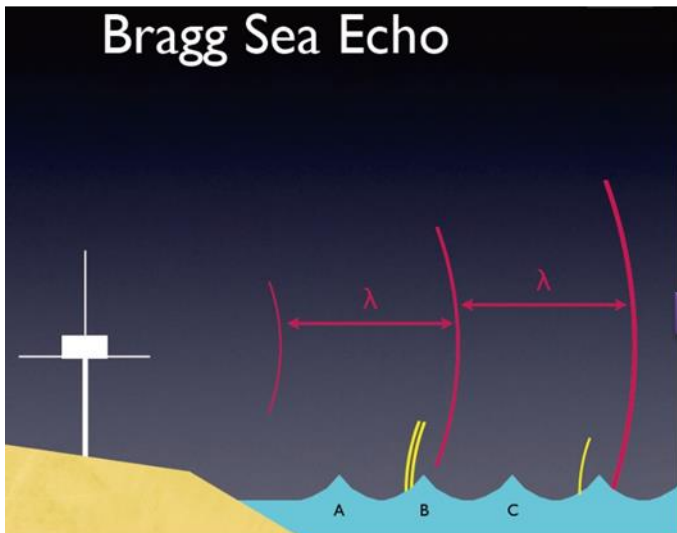
## 2. LERA 相位陣列天線





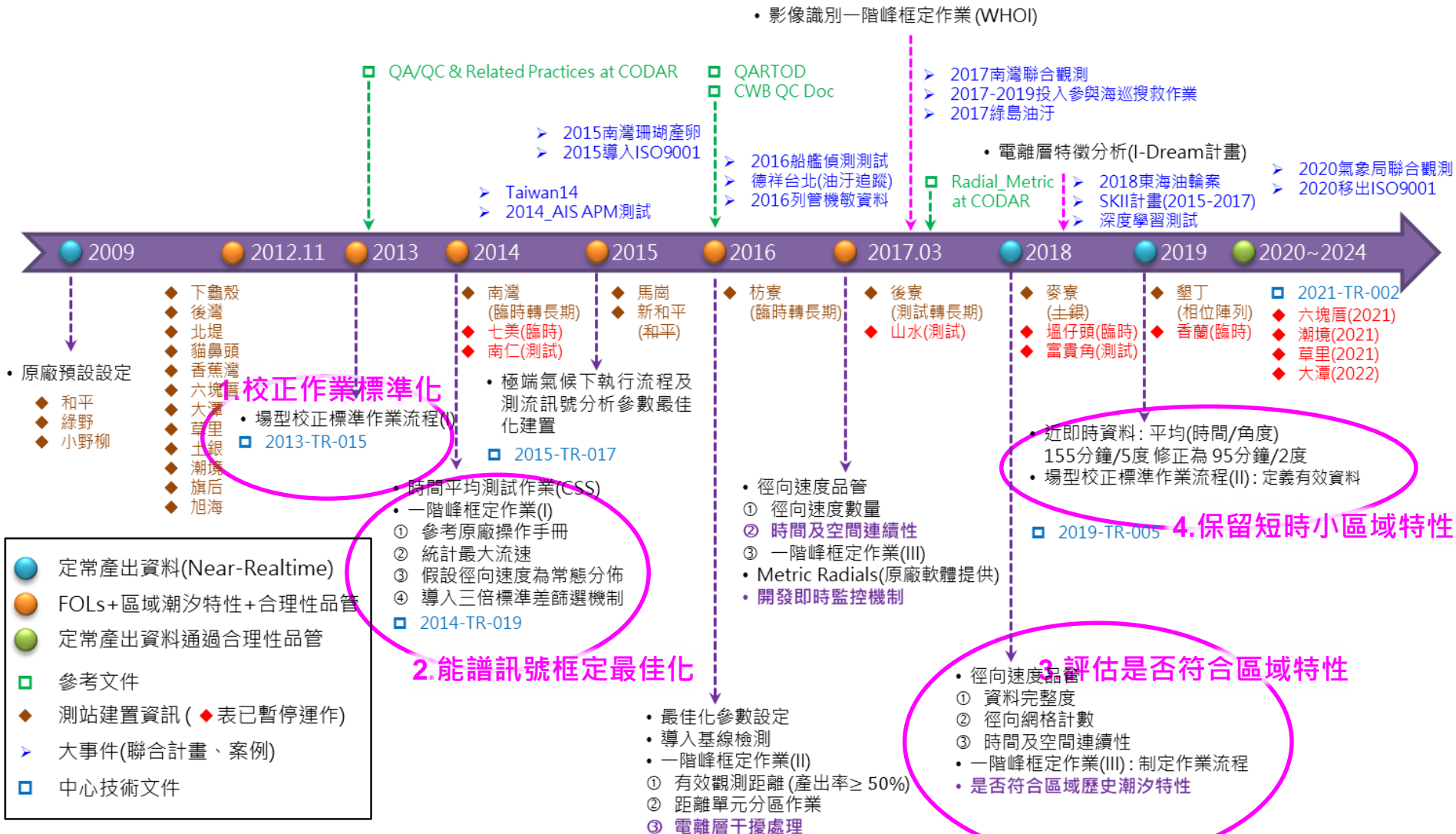
# 徑向速度品管重要性

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

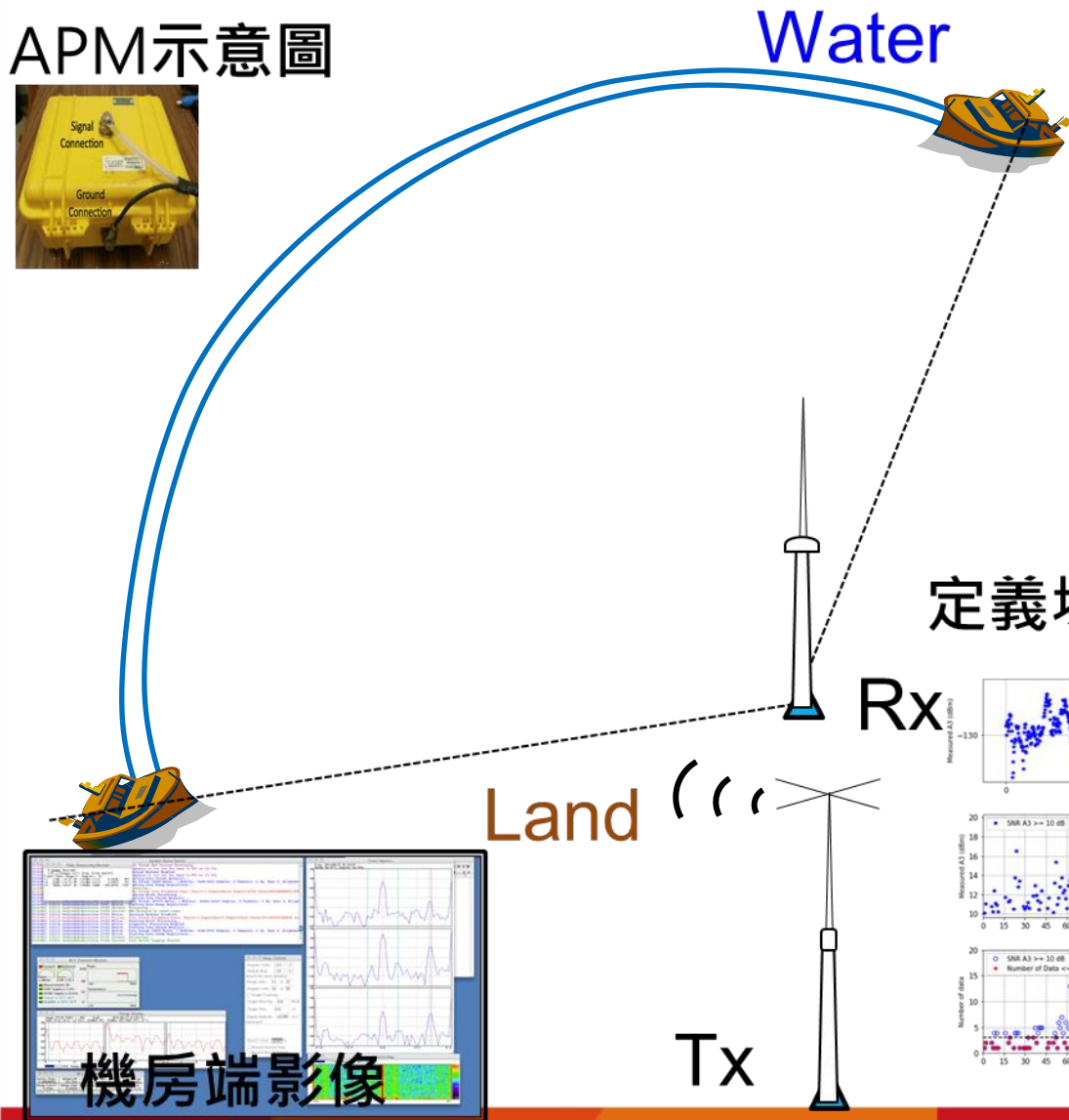




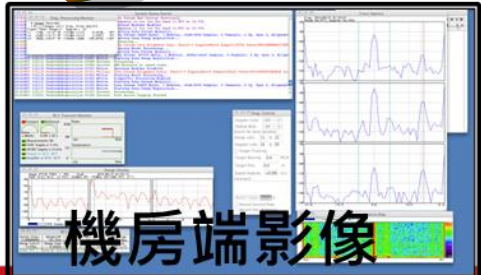
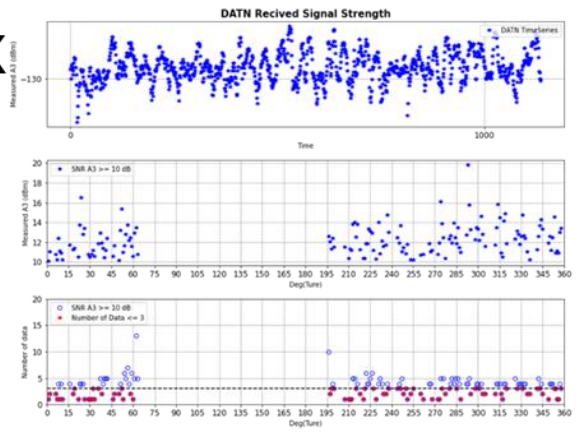
# TOROS 徑向速度品管發展-校正作業標準化

➤ 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



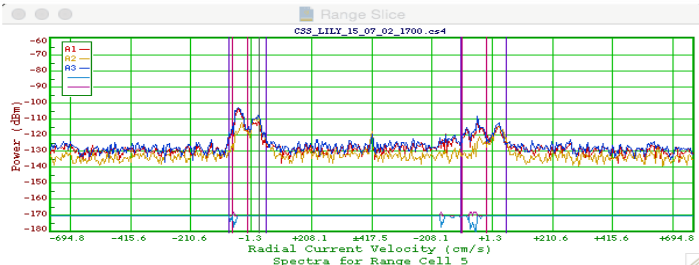
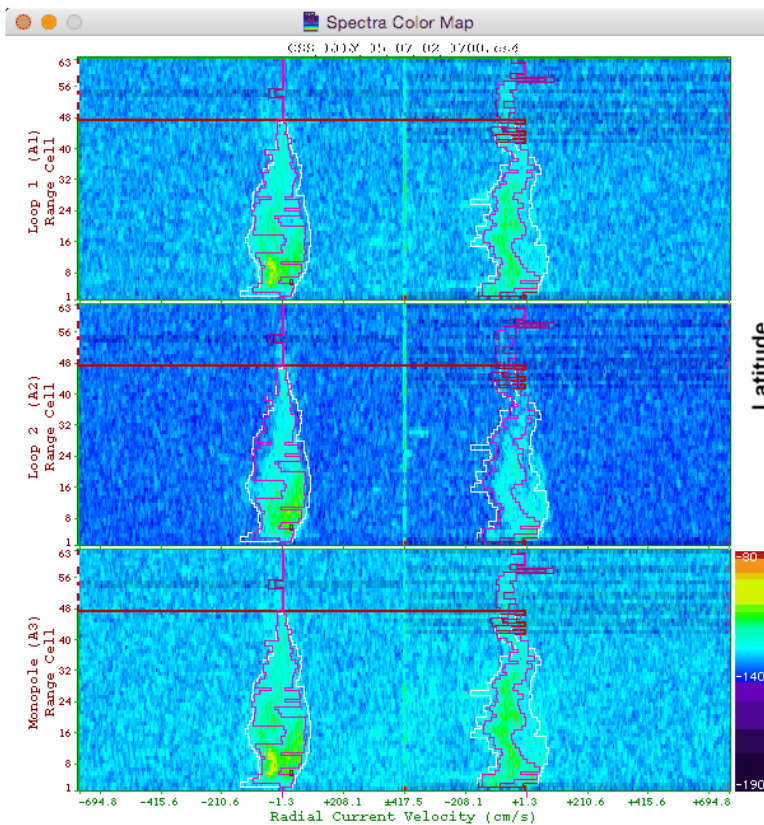
## 定義場型校正有效資料



# TOROS 徑向速度品管發展-能譜訊號框定最佳化 TORI

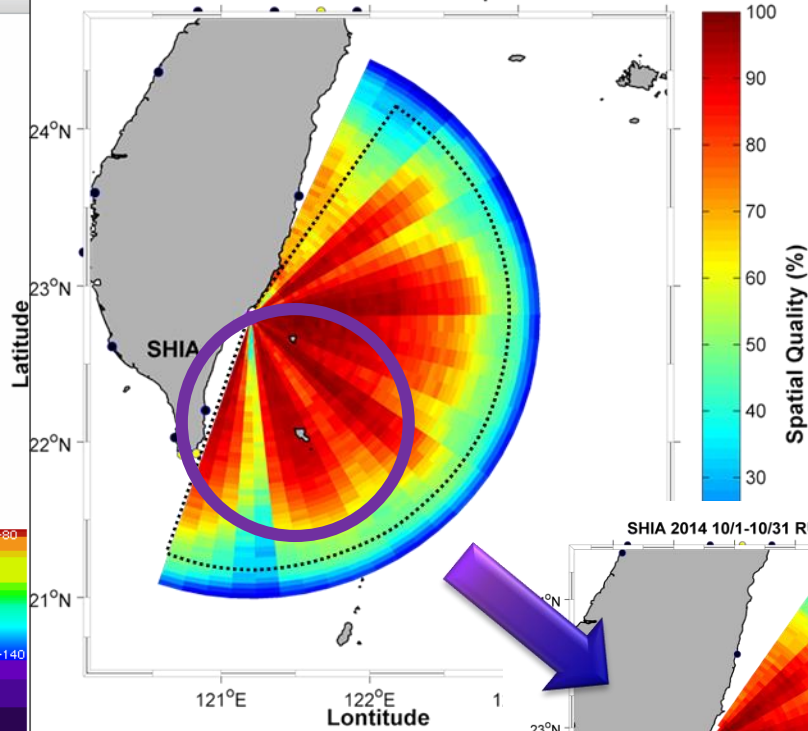


雷達測流理論及天線型式 ➤ 徑向速度品管與分級 ➤ 各級品質說明 ➤ 漂流浮標與徑向速度驗證結果 ➤ 相位陣列雷達 ➤ 結語

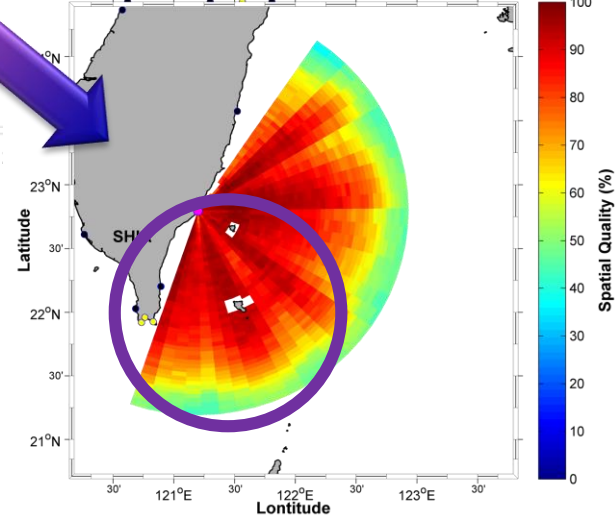


Red : default FOL  
White : 最佳化 FOL

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



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



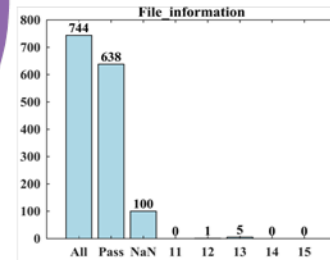
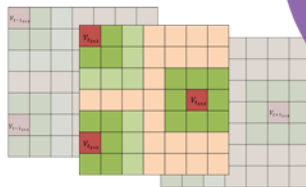
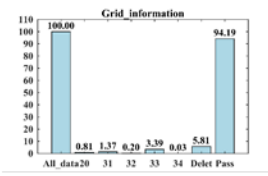
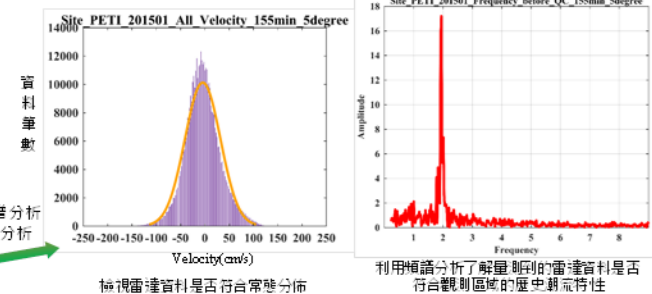
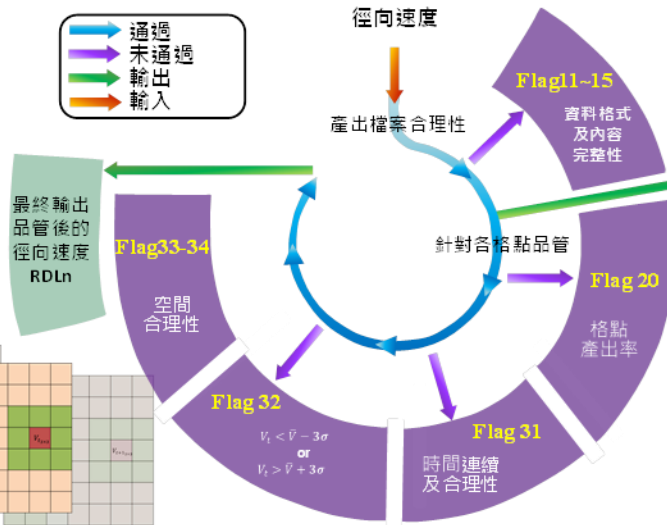
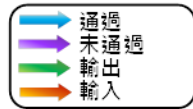


## 徑向速度合理性品管(TORI自行開發)

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

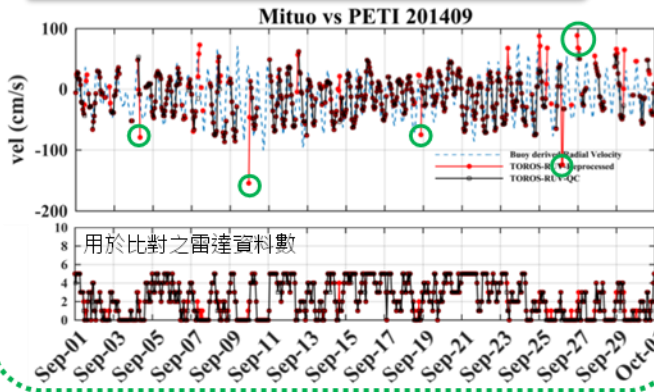
### 徑向資料品質管理分析流程

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 $V_t < \bar{V}_{3 \times 3 \times 3} - 3 \times \sigma_{3 \times 3 \times 3}$



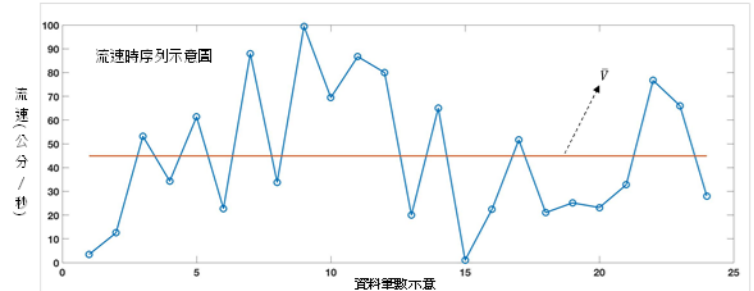
無法通過資料產出合理性檢核之標記對照表	
標註	對應內容
NaN	無此筆資料。
11	此筆資料寫入不完整。
12	此筆資料產出格點少於設定值。
13	此筆資料檔頭不完整。
14	此筆資料疊合時間不滿足設定值。
15	此筆資料欄位不符合設定值。

### 徑向資料品管前後驗證示意圖



### 主要參考文獻

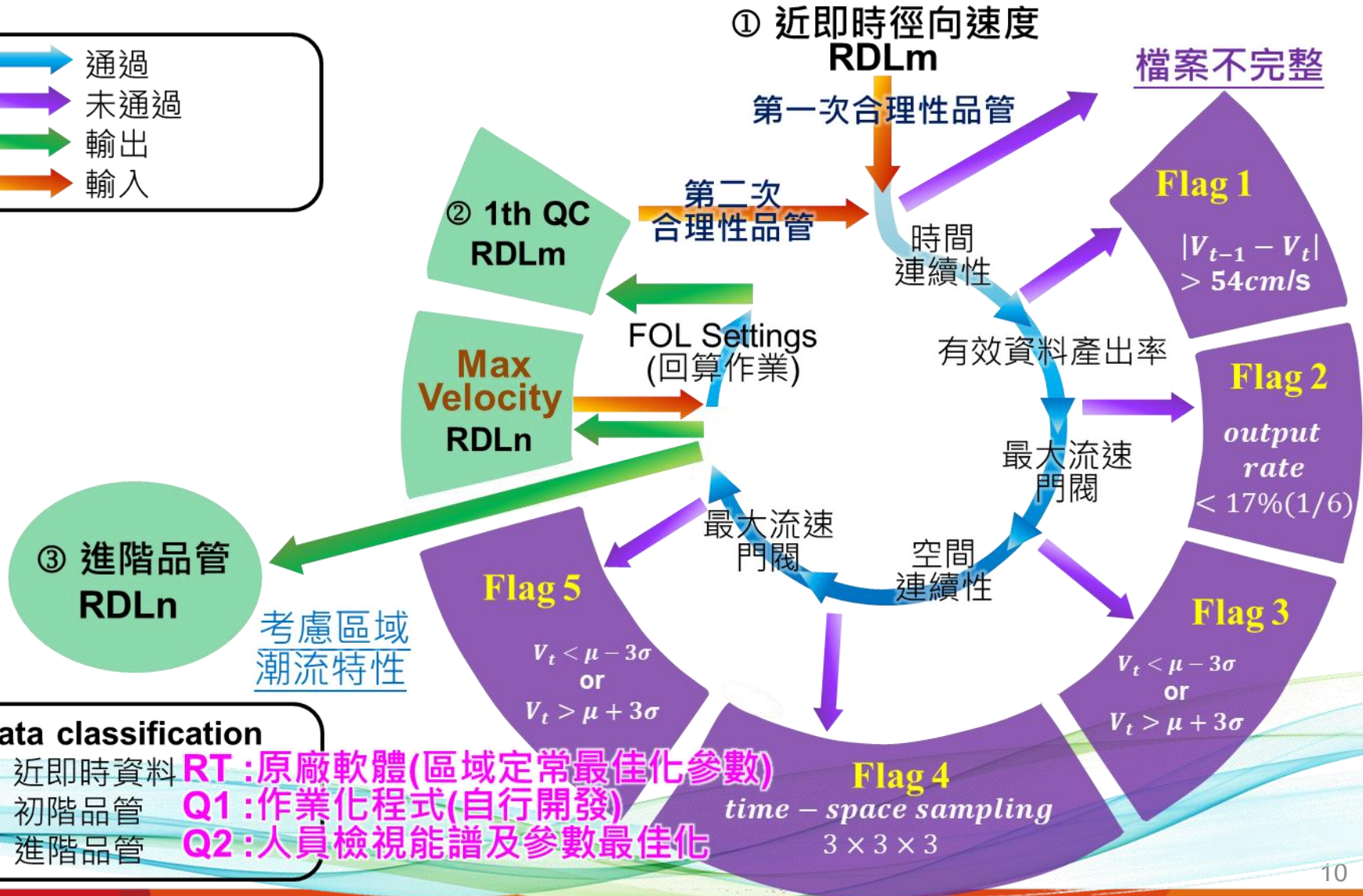
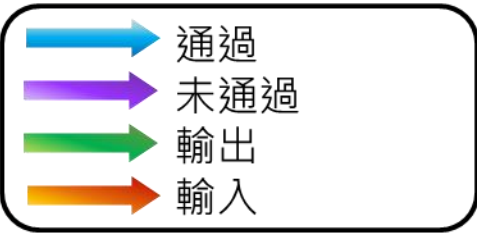
- 美國海洋綜合觀測系統(IOOS), 海洋即時資料品保手冊 (QARTOD Manual): <https://www.oceanbestpractices.net/handle/11329/336>
- 董東璟\*, 莊士賢、高家俊 (1997) 「海氣象觀測資料品管系統之建立」, 第19屆海洋工程研討會。



- 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)

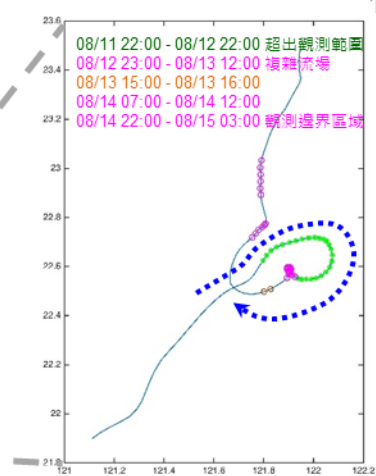
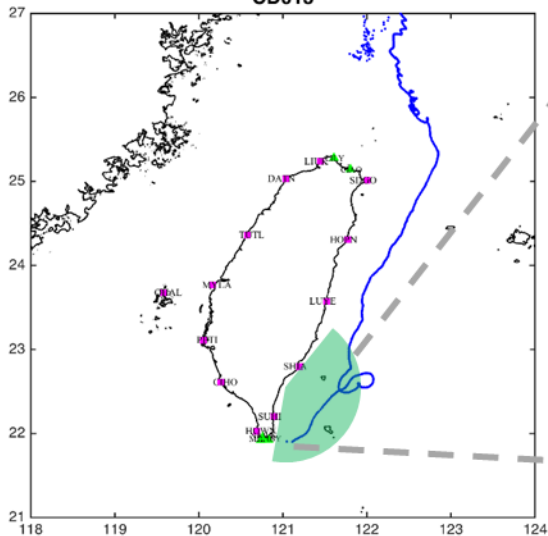
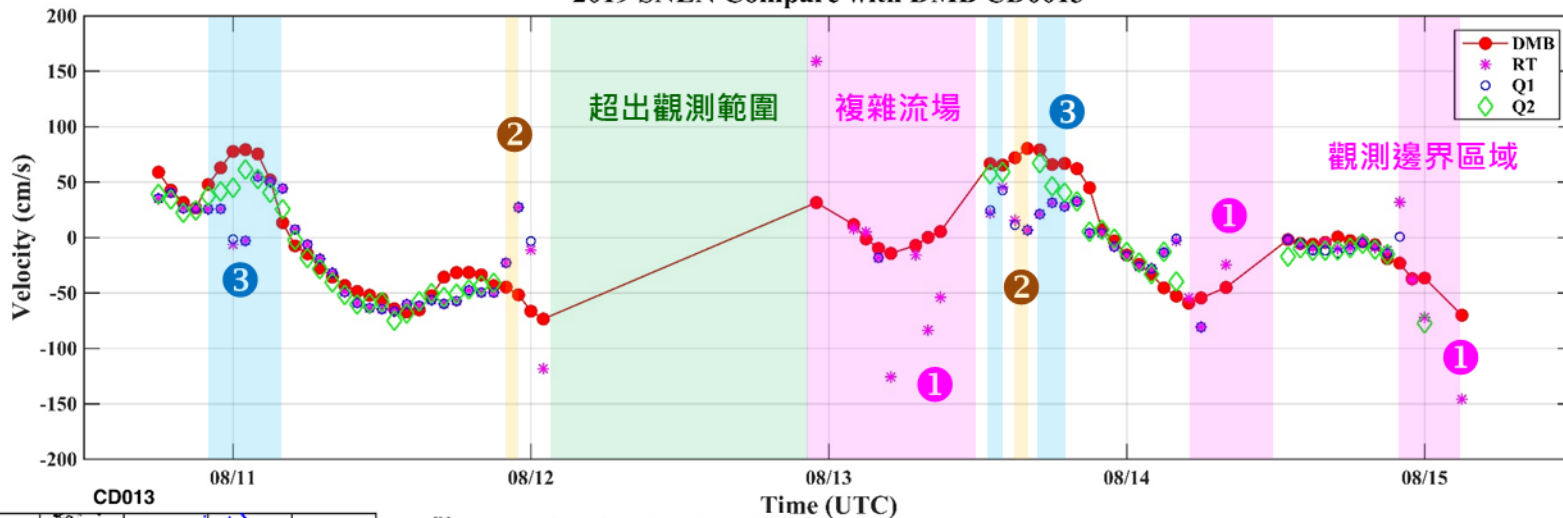
雷達測流理論及天線型式 ➤ 徑向速度品管與分級 ➤ 各級品質說明 ➤ 漂流浮標與徑向速度驗證結果 ➤ 相位陣列雷達 ➤ 結語



# 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



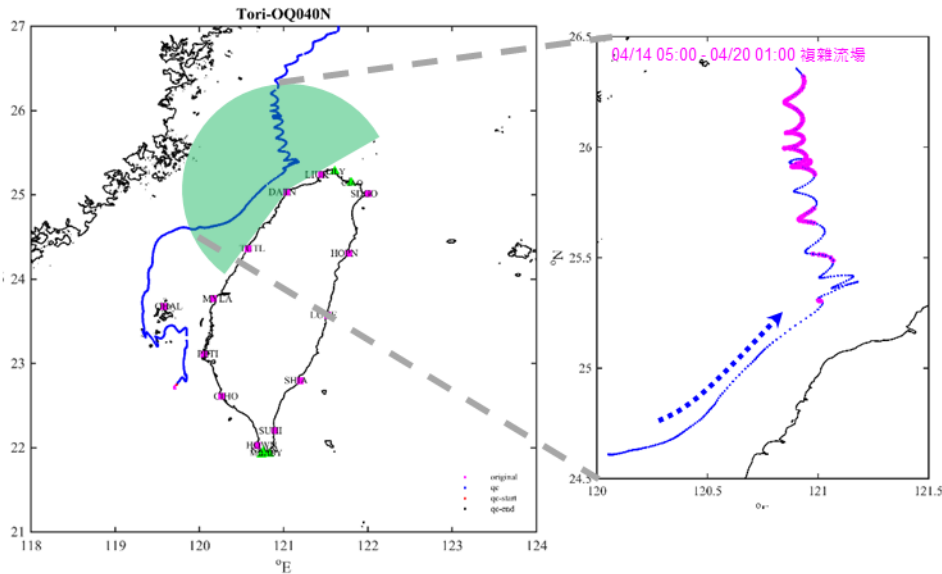
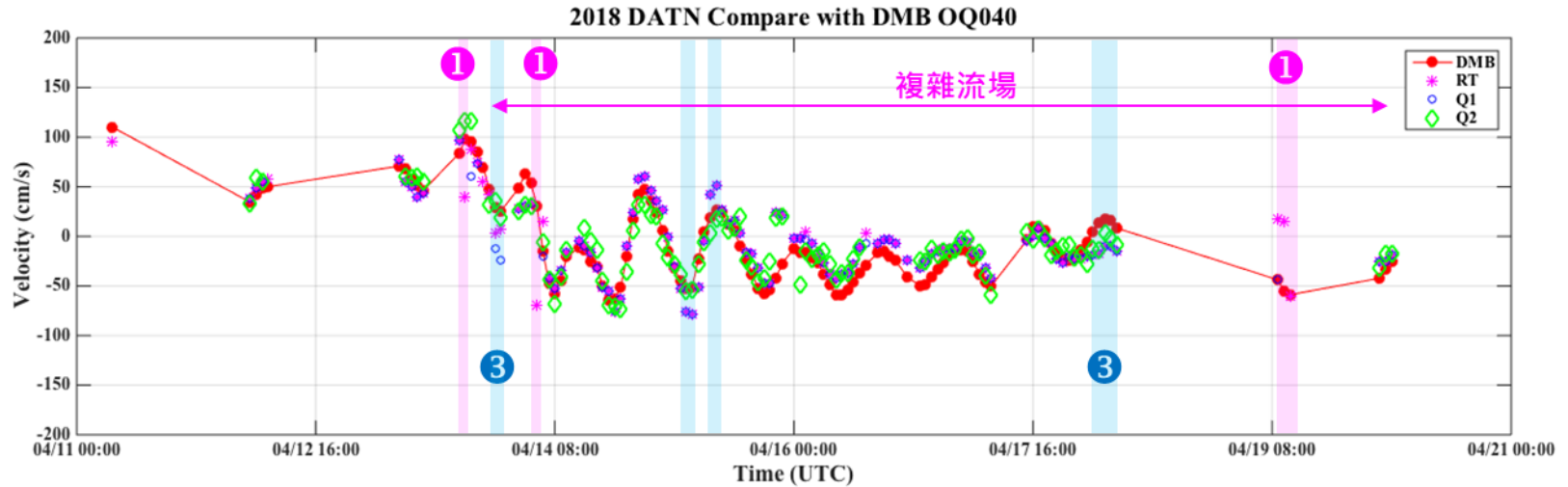
資料分級	相關係數 (CC)	均方根誤差 RMSD(cm/s)	資料點數 (N)
1. RT	0.679	38.36	72
2. Q1	0.781	30.69	59
3. Q2	0.960	15.24	52

- 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

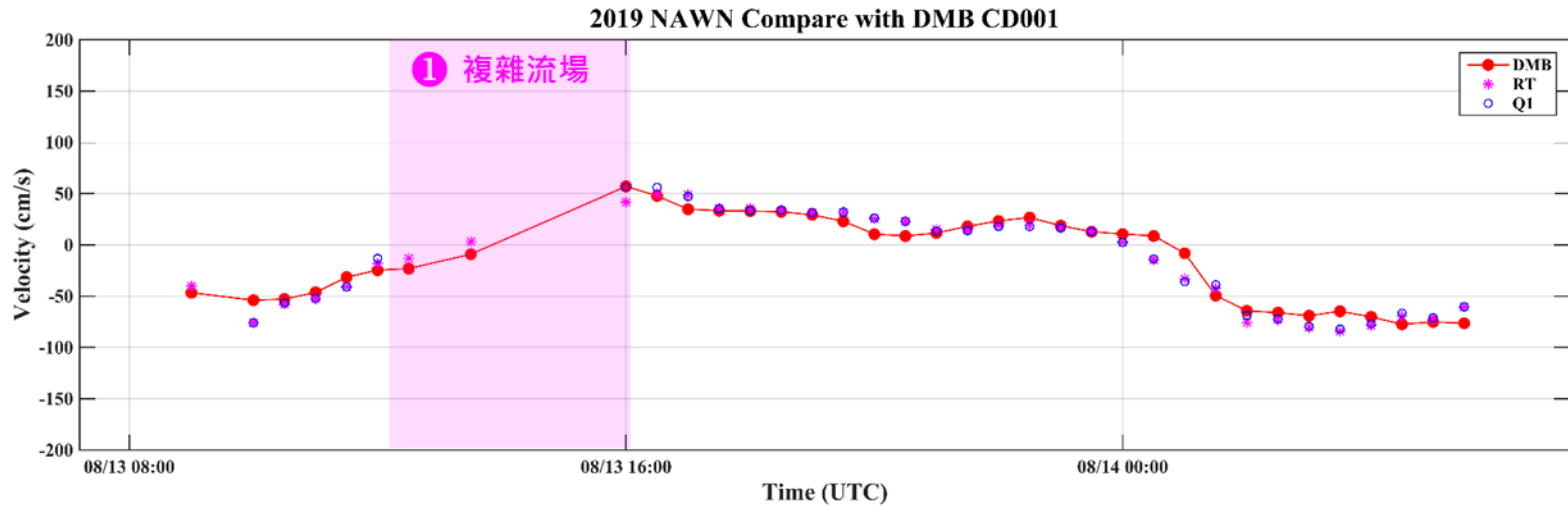


資料分級	相關係數 (CC)	均方根誤差 RMSD(cm/s)	資料點數 (N)
1. RT	0.866	21.63	115
2. Q1	0.885	17.74	107
3. Q2	0.906	16.54	100

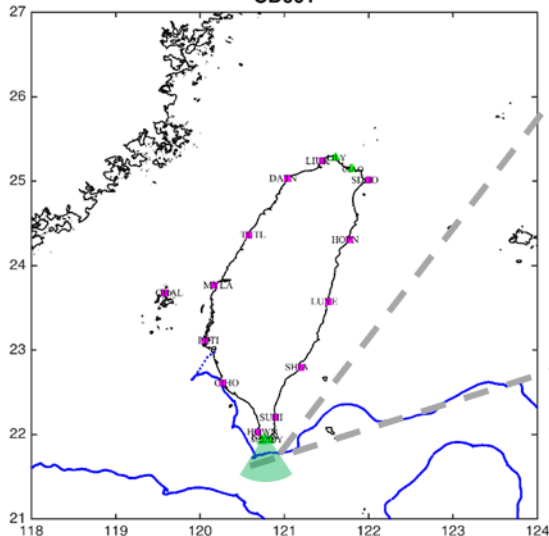
- ① 透過合理性品質管可過濾 (RT) 之偏差徑向速度
- ③ 透過FOLs機制進而修正徑向速度偏差

## 各級徑向速度品質說明(24MHz範例)

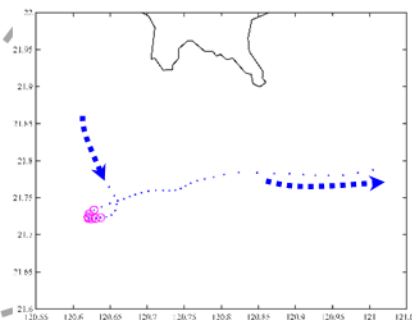
雷達測流理論及天線型式 > 徑向速度品質管與分級 > 各級品質說明 > 漂流浮標與徑向速度驗證結果 > 相位陣列雷達 > 結語



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

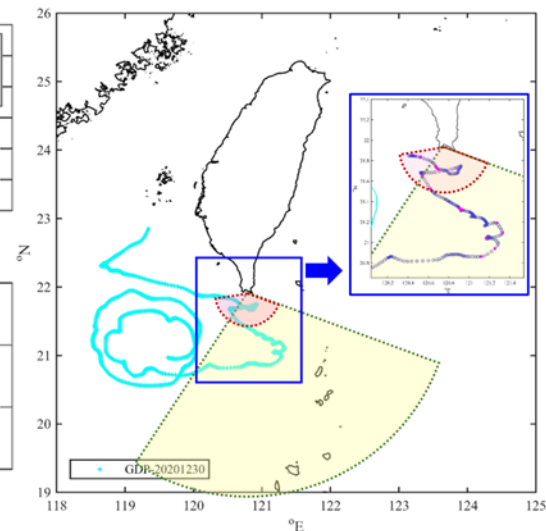
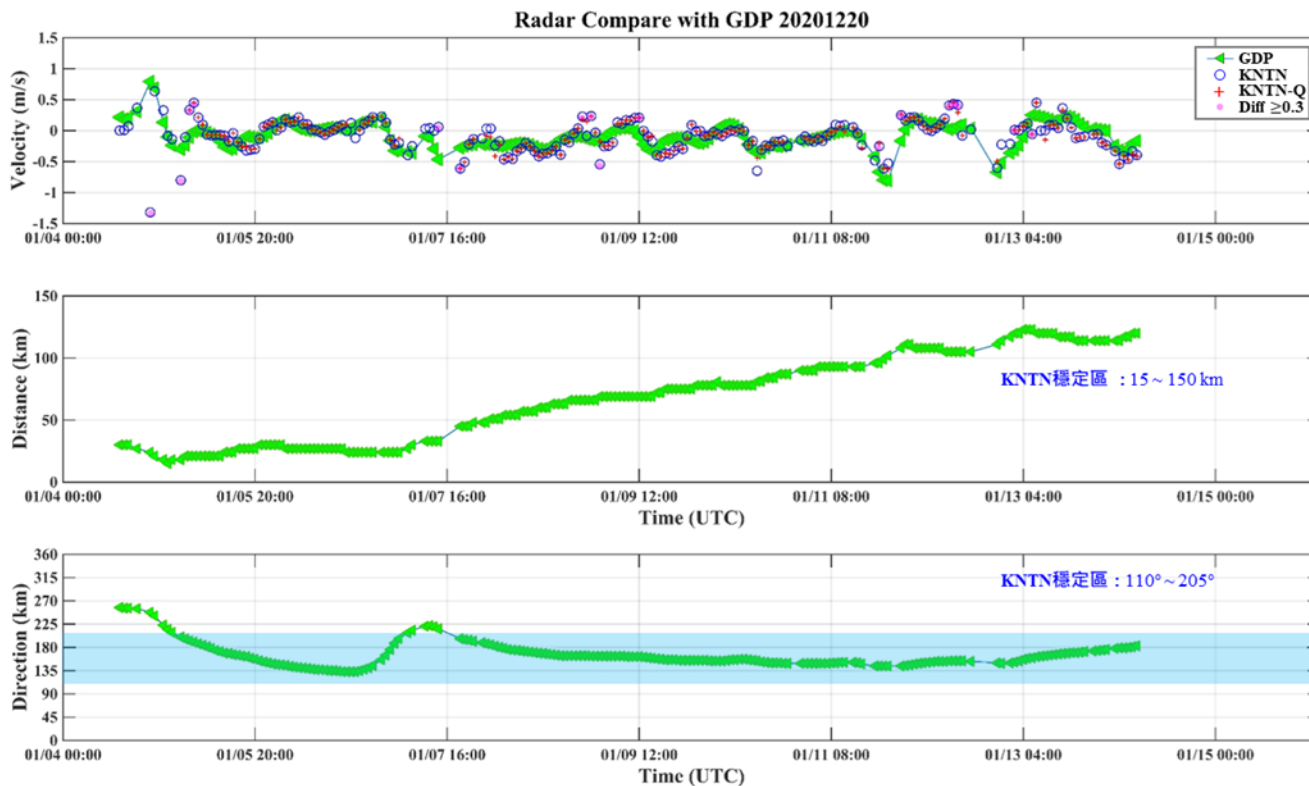
- ① 透過合理性品質管可過濾 (RT) 之偏差徑向速度
- ② 透過FOLs機制過濾(RT、Q1)之偏差徑向速度

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

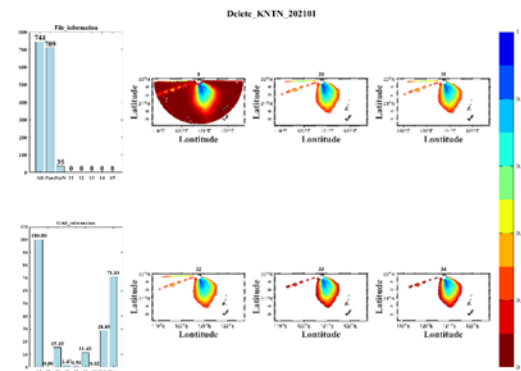
Paduan, J.D.; Kim, K.C.; Cook, M.S.; Chavez, F.P. Calibration and Validation of Direction-Finding High-Frequency Radar Ocean Surface Current Observations. IEEE J. Ocean. Eng. 2007, 31, 862-875.  
 Guérin, C.-A., Dumas, D., Molcard, A., Quentin, C., Zakardjian, B., Gramoullé, A., and Berta, M.: High-Frequency 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。



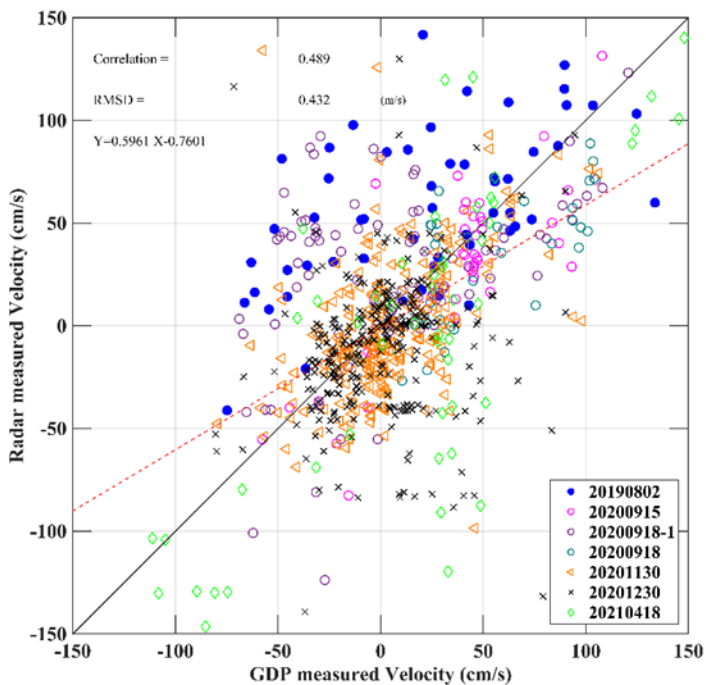
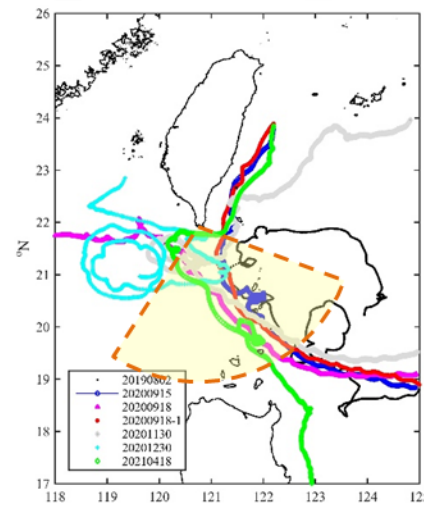
資料來源：TOROS改繪

# 相位陣列雷達徑向速度品質

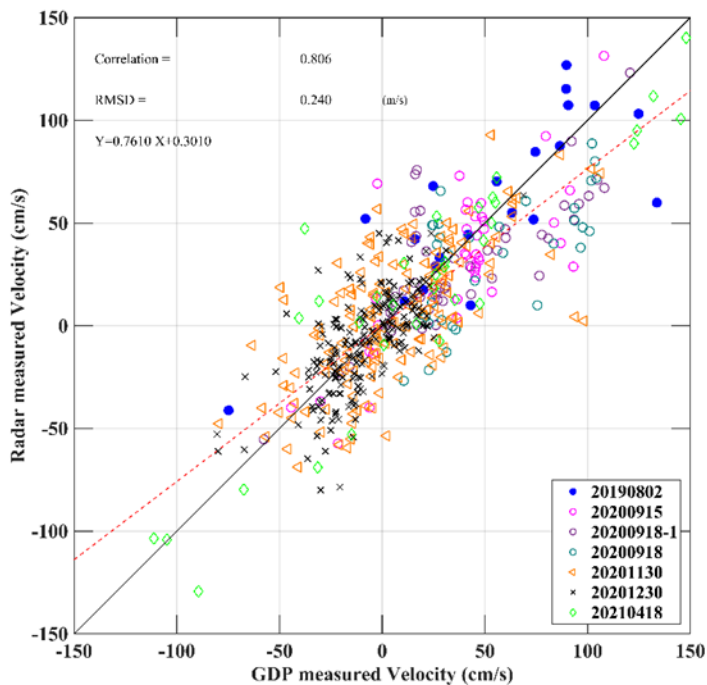
雷達測流理論及天線型式 ➤ 徑向速度品質管與分級 ➤ 各級品質說明 ➤ 漂流浮標與徑向速度驗證結果 ➤ **相位陣列雷達** ➤ 結語

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

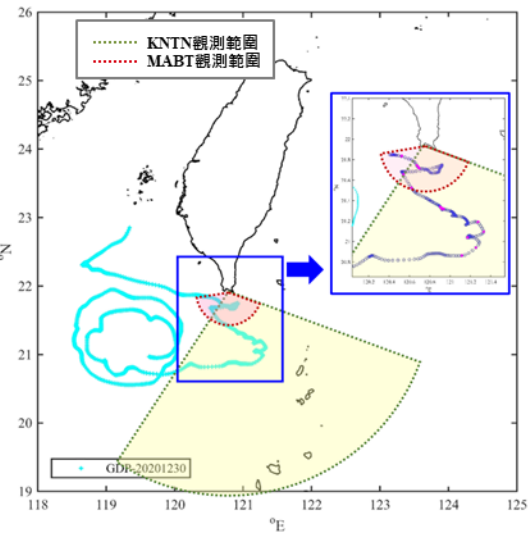
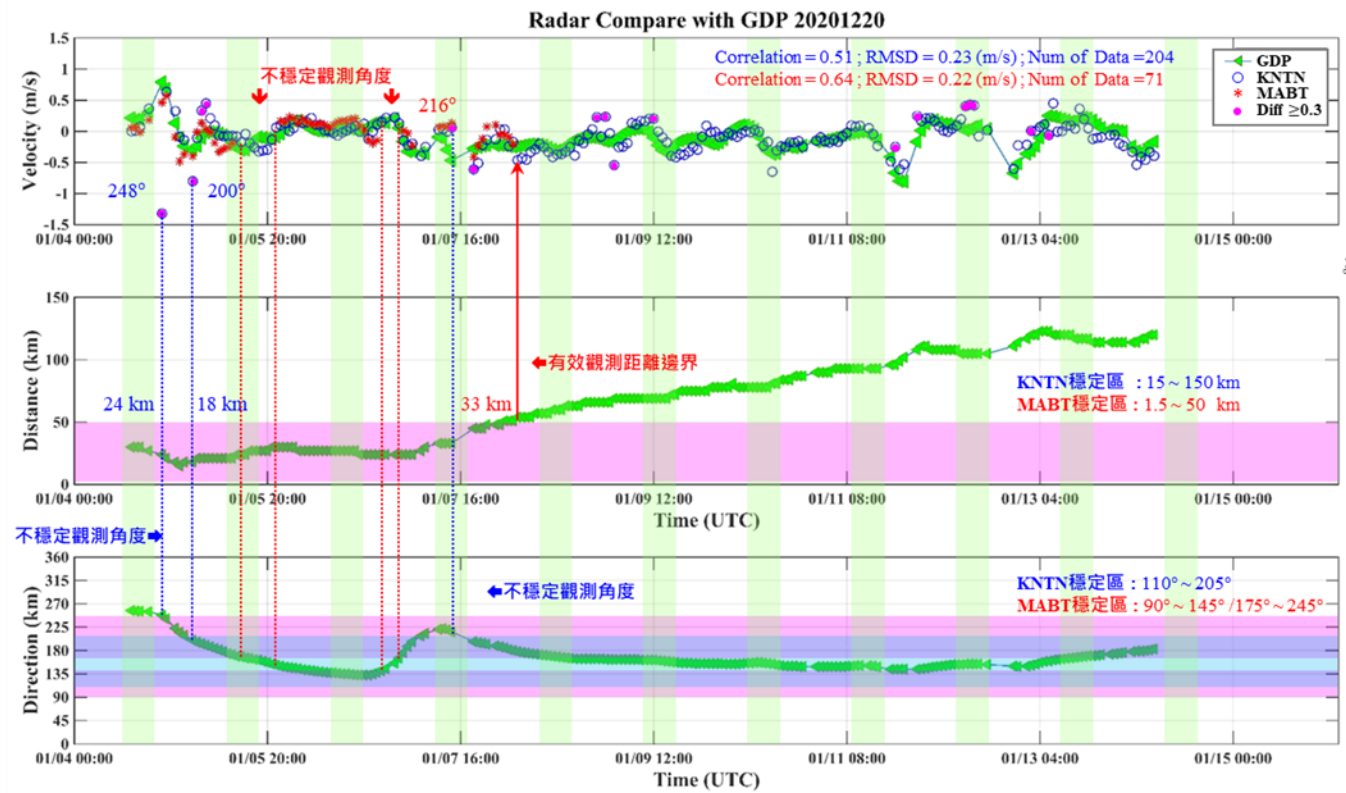


僅針對穩定海域比對結果



# 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)。

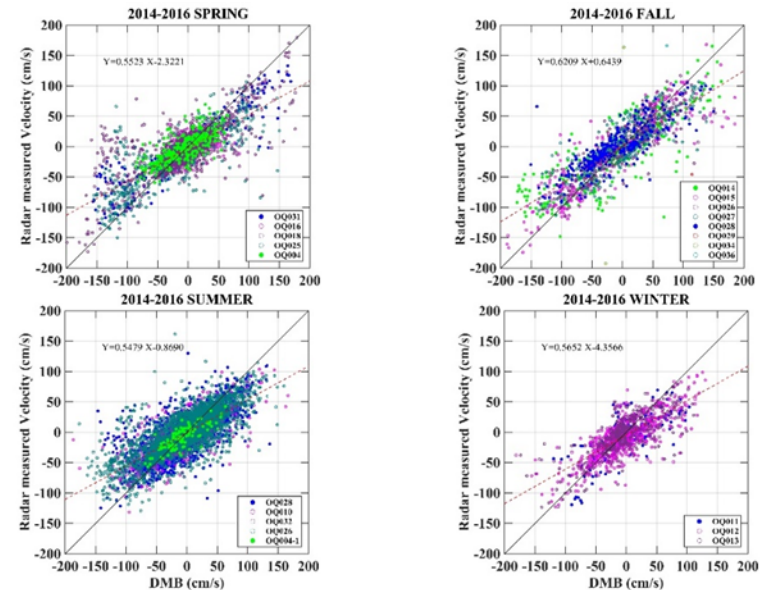
## 自行投放DMB浮標與徑向速度(Q2)驗證結果

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	-	-	-	-	-	-

