

2024測繪科技成果發表會



中華民國
內政部國土測繪中心
National Land Surveying and Mapping Center,
Ministry of the Interior, R.O.C (Taiwan)

開發GNSS連續觀測站 遠距頻率校正技術



葉大綱、連紫猗

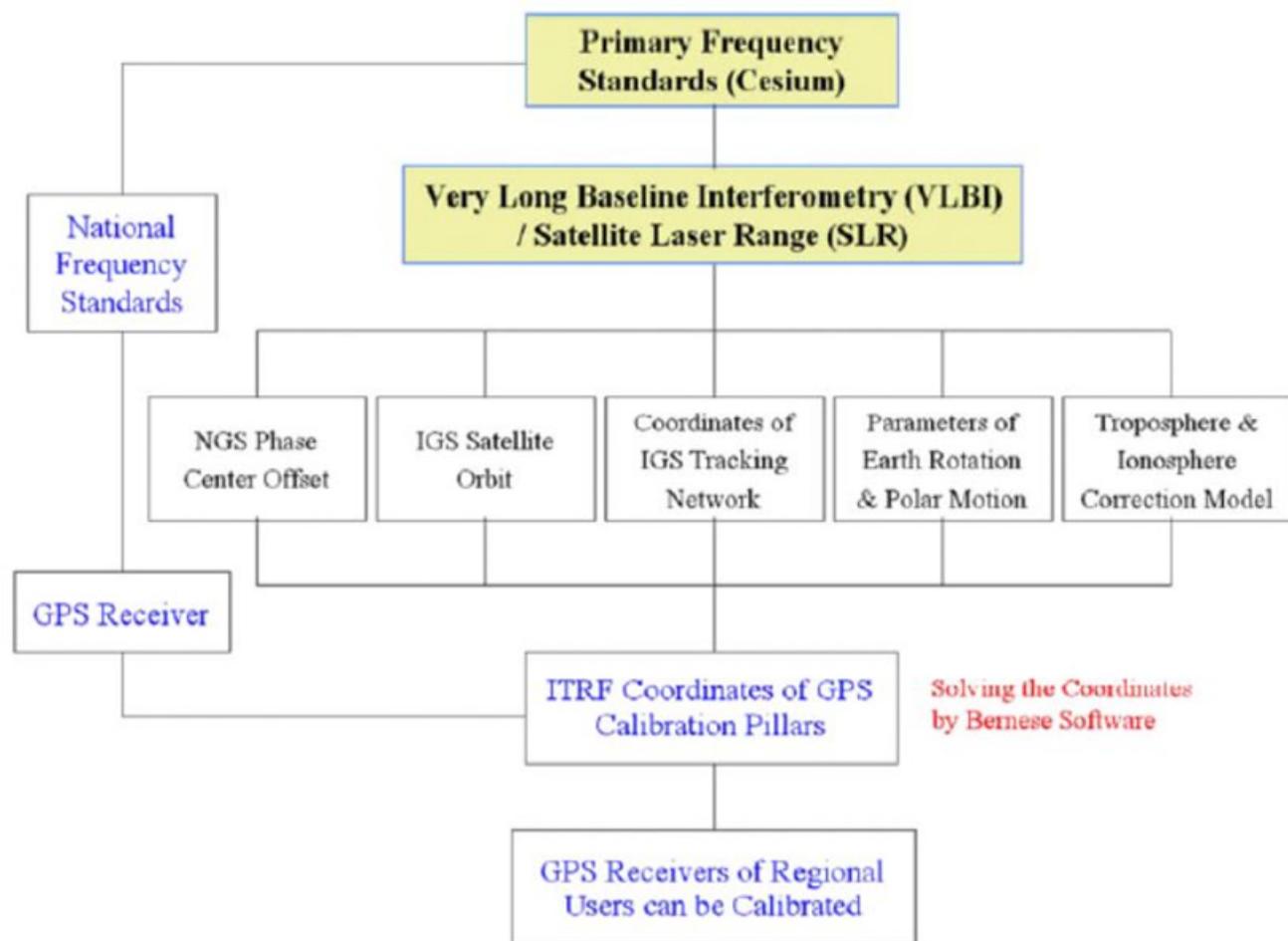


林信嚴

研究主旨

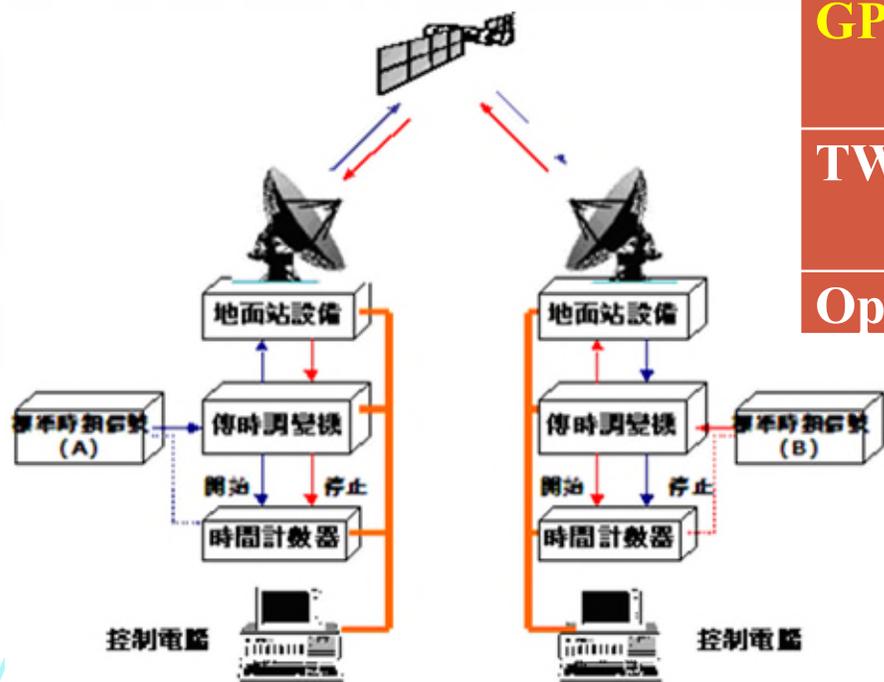
單位名稱	測站數量	主要廠牌	應用領域
中央研究院 地球科學研究所	60	Trimble	板塊運動
經濟部 水利署、地質調查及礦業管理中心	120	Trimble Leica	地層下陷 斷層調查
交通部 中央氣象署	160	Trimble Topcon	地震觀測 水氣求定
內政部 地政司、國土測繪中心	90	Trimble Topcon	國土測繪 e-GNSS

研究主旨



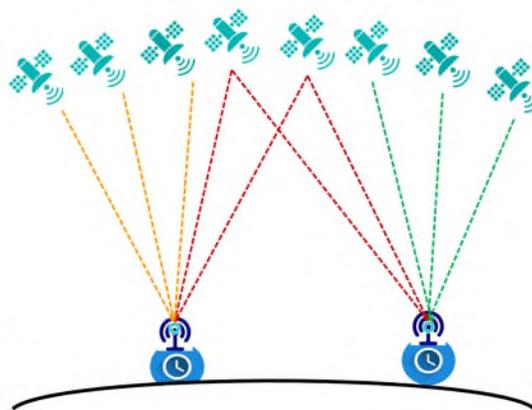
- 國內超過400座GNSS連續觀測站
 - 追溯：透過頻率追溯至SI單位
 - 校正：透過坐標比對，但GNSS連續觀測站不適合將儀器拆卸送實驗室校正，若採游校需耗費大量時間
- 開發GNSS遠距頻率校正技術
- 探討頻率誤差對定位精度之影響
 - 短、中、長距離靜態相對定位
 - 精密單點定位

文獻蒐集

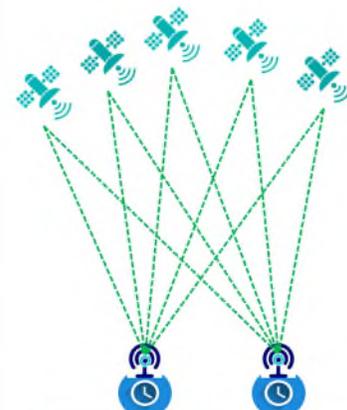


衛星雙向傳時技術TWSTFT
(Two-way satellite time and frequency transfer)

技術	距離	設施	費用
GPS AV	無限制 (對空無遮蔽即可)	接收儀	低
GPS CV	5000 km (兩站須接收同一顆衛星)	接收儀	低
TWSTFT	10000 km (同步衛星訊號覆蓋區域)	訊號發射器 接收儀	高
Optical fiber	3000 km	光纖鏈路	高



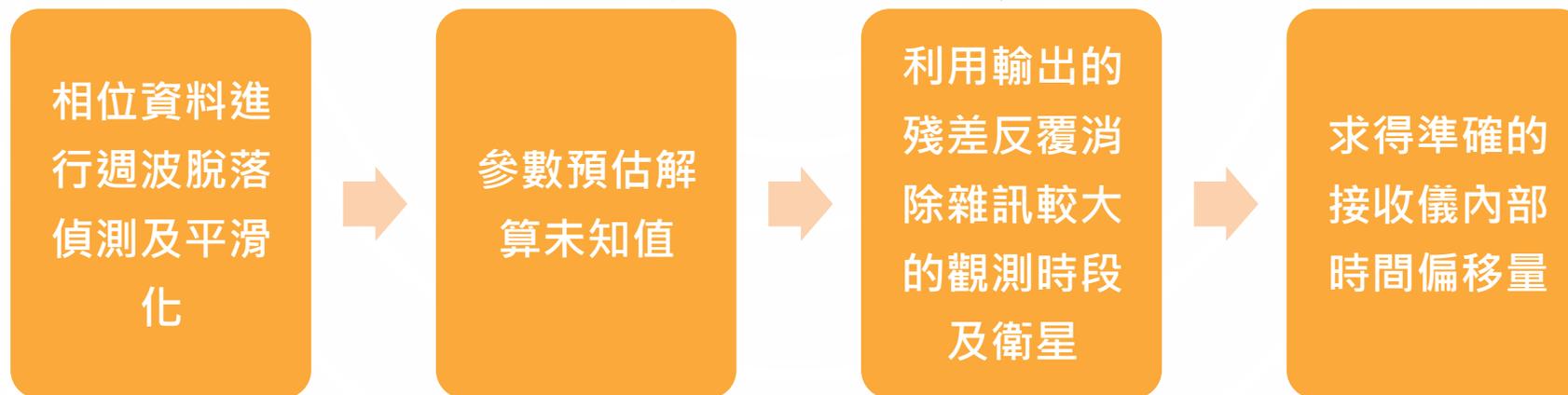
GPS AV (all-in-view)



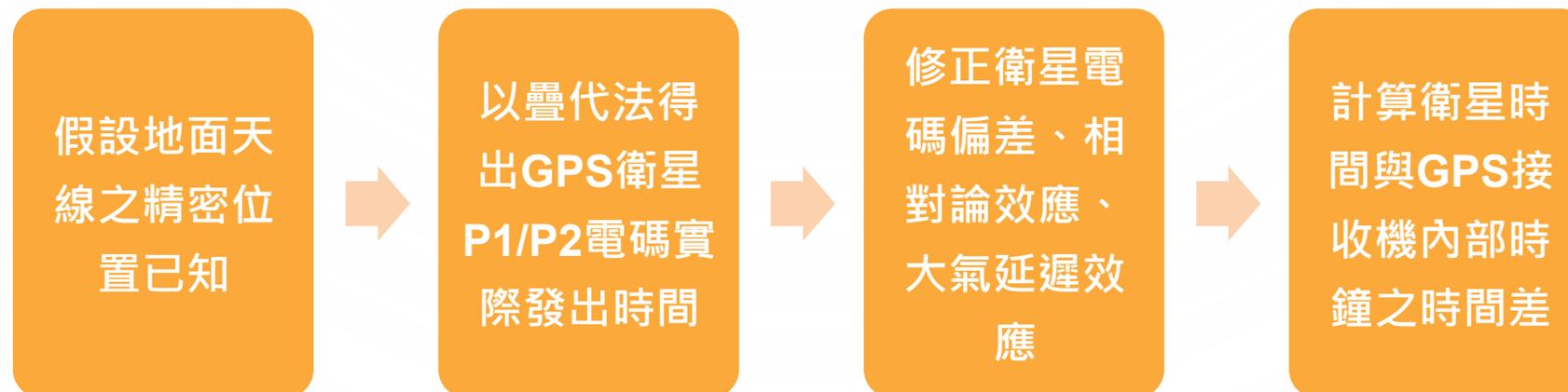
GPS CV (common-view)

研究說明

相位法透過未差分的GPS相位資料推求接收儀時錶誤差



電碼法利用雙頻GPS接收機解算P1及P2電碼



研究說明

- 利用GPS共視法 (GPS CV)
 - 相位法
 - 電碼法
- 挑選14站：**不同廠牌儀器**
- 時間：2023/1/1~1/7
- 計算國家時間與頻率標準實驗室TWTF與各接收機之**頻率穩定度及頻率偏移量**
- 探討頻率誤差對定位精度之影響

基線距離	站名	點號	接收儀廠牌型號	建置機關
主站	楊梅	TWTF	Sept PolarX4TR 外接鉅鐘	中華電信研究所 (IGS站)
短	臺北大學	NTPU	Trimble Alloy 外接鉅鐘	臺北大學
	陽明山	YMSM	Trimble Alloy	內政部地政司
	工研院	TNML	Trimble NetR9 外接鉅鐘	工研院(IGS站)
	南寮	SHJU	Trimble NetR9	國土測繪中心
中	麗水派出所	TC32	Trimble Alloy	臺中市政府地政局
	測繪中心	LSB0	Trimble NetR9 外接鉅鐘	國土測繪中心
	二林	VR02	Trimble NetR9	國土測繪中心
	和美	VR01	Leica GR50	國土測繪中心
	萬榮	WARO	Topcon Net-G3A	國土測繪中心
長	成大測量	CKSV	Trimble Alloy	國土測繪中心 (IGS站)
	金門	KMNM	Trimble Alloy	國土測繪中心 (IGS站)
	大武	DAWU	Trimble NetR9	國土測繪中心
	瑪家	MAJA	Leica GR50	國土測繪中心
	七美	CIME	Topcon Net-G3A	國土測繪中心

研究說明

頻率穩定度(Frequency stability)

Overlap Allan Deviation

$$\sigma_y(\tau) = \left[\frac{1}{2(N-2m)\tau^2} \sum_{k=1}^{N-2m} [x_{k+2m} - 2x_{k+m} + x_k]^2 \right]$$

x_k : 每一時間節點的偏移量(相位差)

τ : 取樣時間

N : 時間節點數

m : 取樣組數

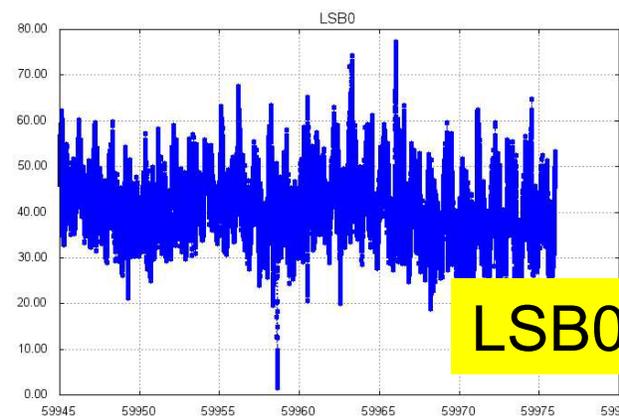
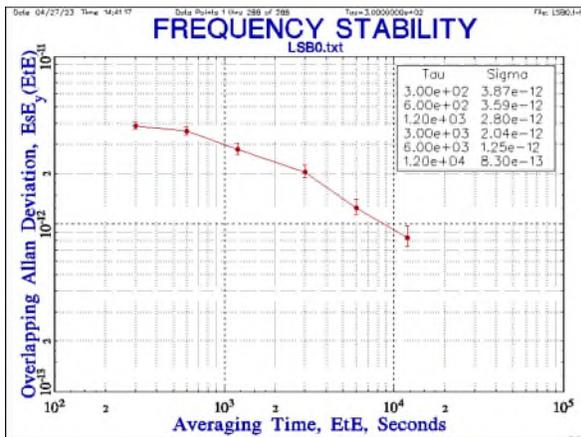
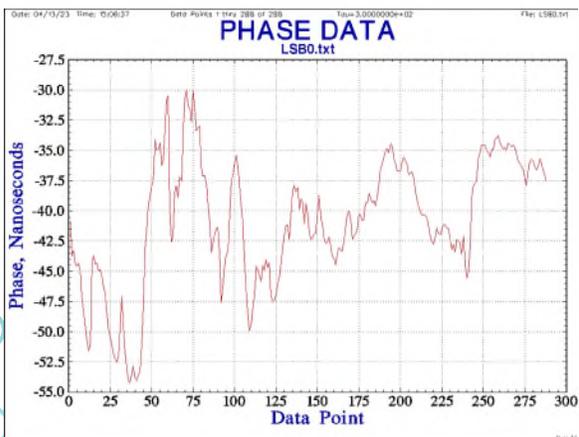
頻率偏移量(Frequency offset)

$$(f_0 - f)/f_0$$

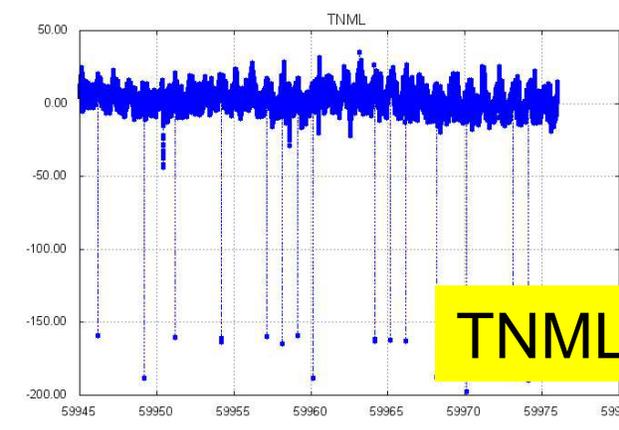
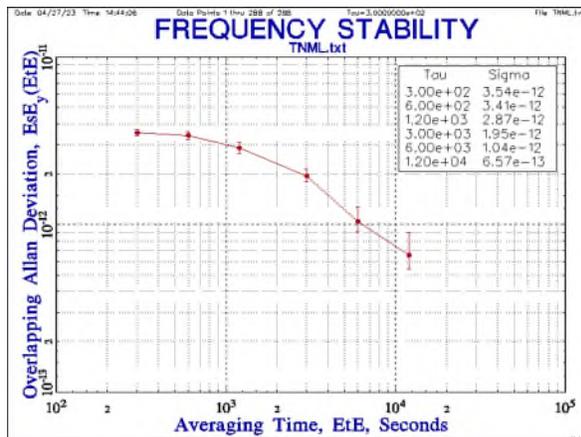
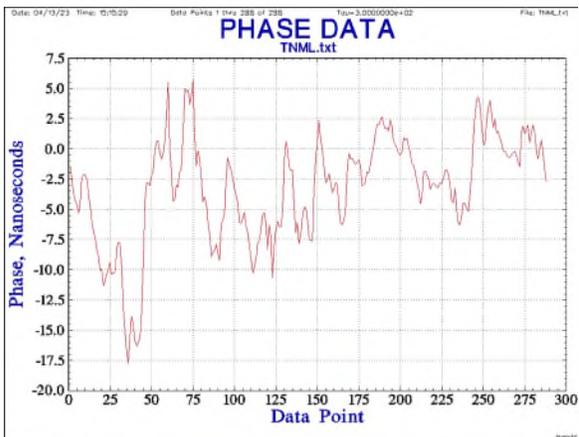
- 取相位差(phase offset)的線性擬合(linear fit)來做平均
- 使用Stable32計算頻率穩定度與頻率偏移

研究成果：時間偏移量

Trimble NetR9 外接鈷鐘：LSB0、TNML



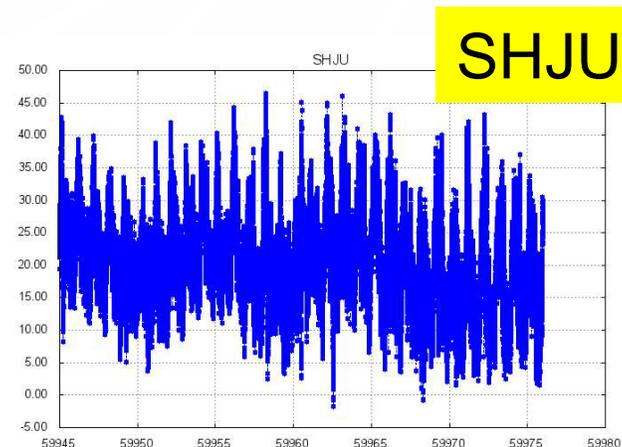
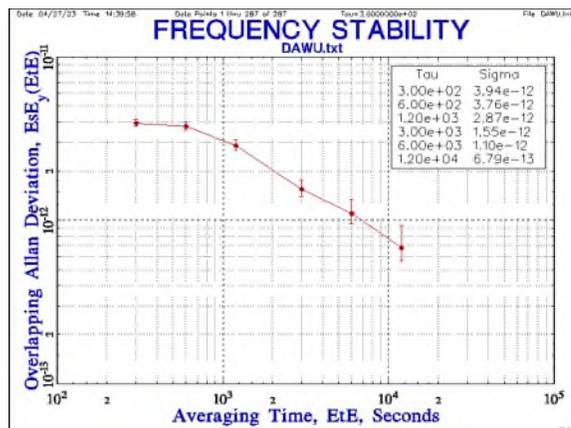
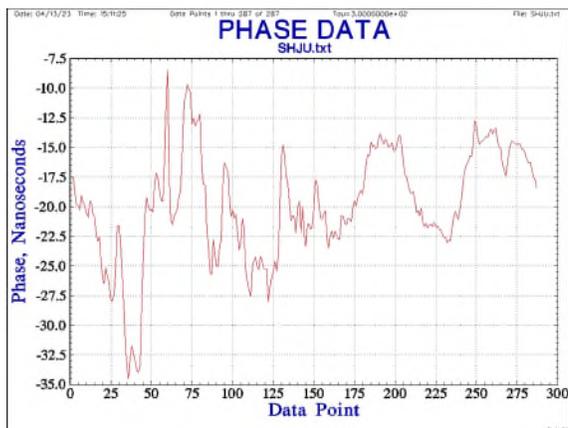
- 時間偏移量的規格在正負30~50 ns
- LSB0時間偏移平均40 ns，可能與訊號線延遲有關



- TNML有異常低值，查看RINEX發現多了G28衛星，而G28已於2021年6月28日退役，應更新儀器韌體

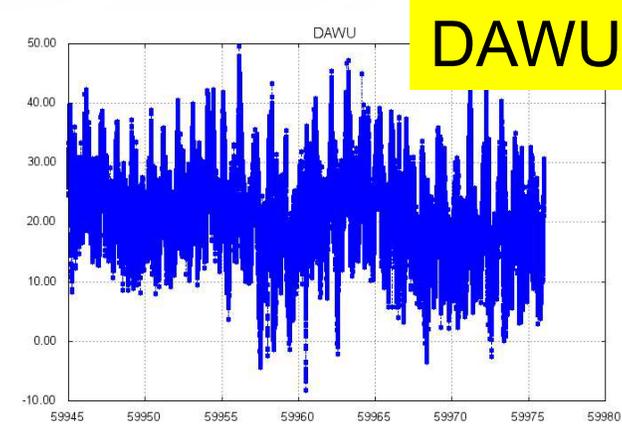
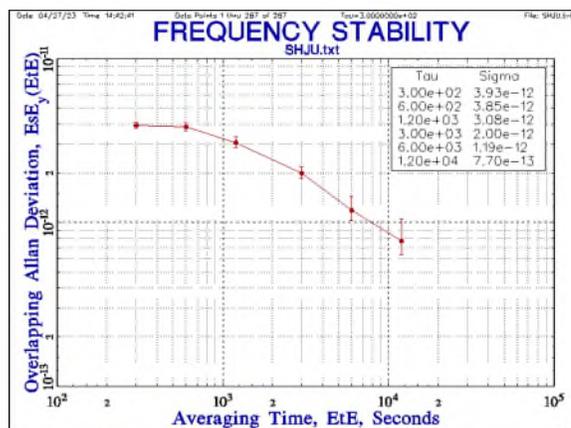
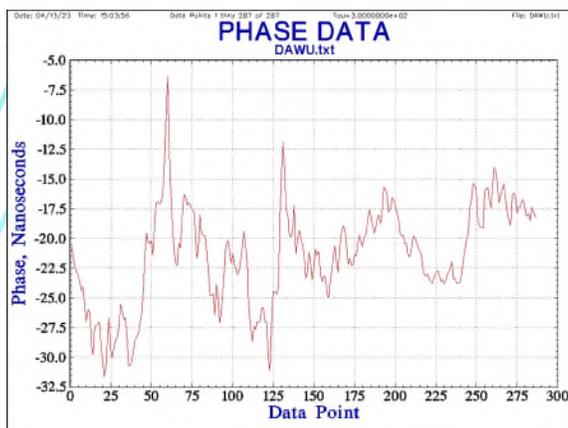
研究成果：時間偏移量

Trimble NetR9



- 時間偏移平均30 ns

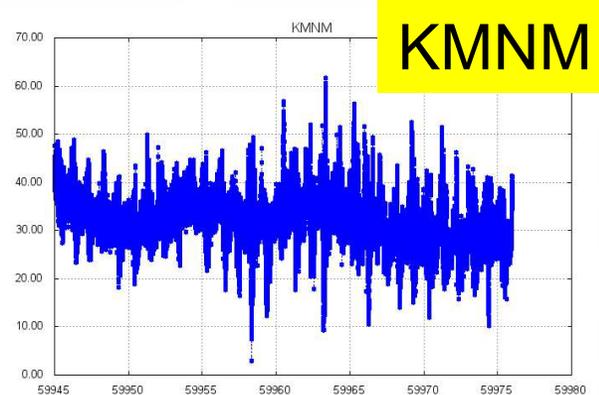
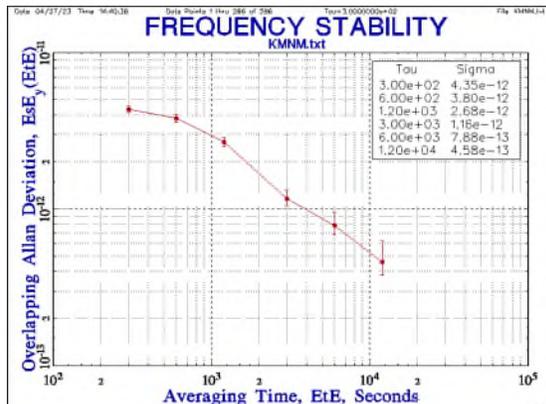
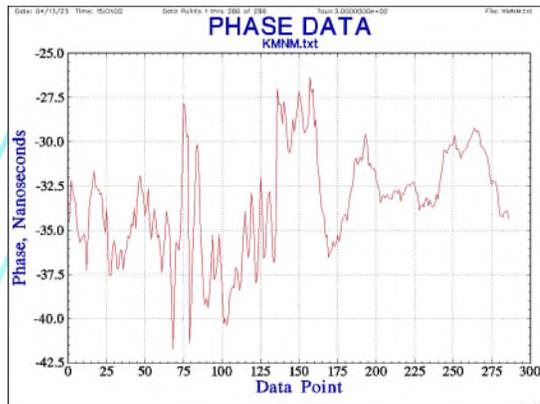
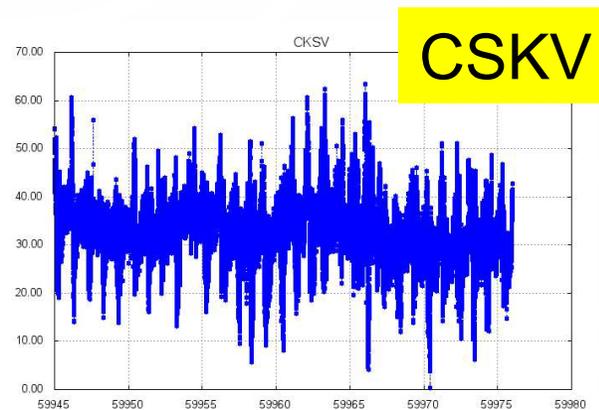
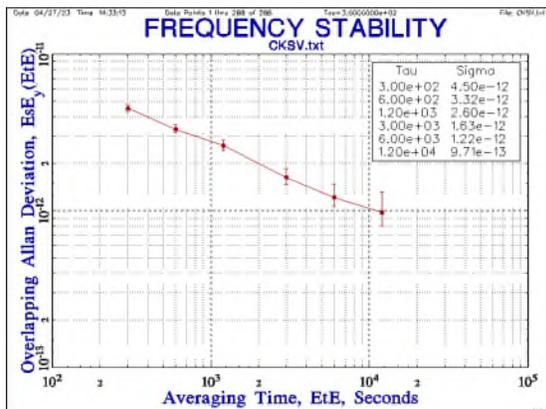
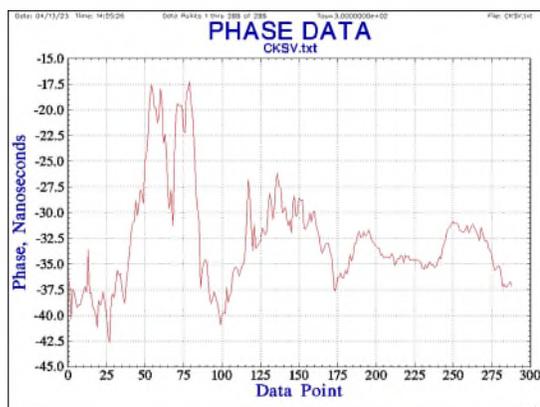
- 時間飄移現象



- 可能受日夜溫差影響：SHJU安裝於野外儀器箱

研究成果：時間偏移量

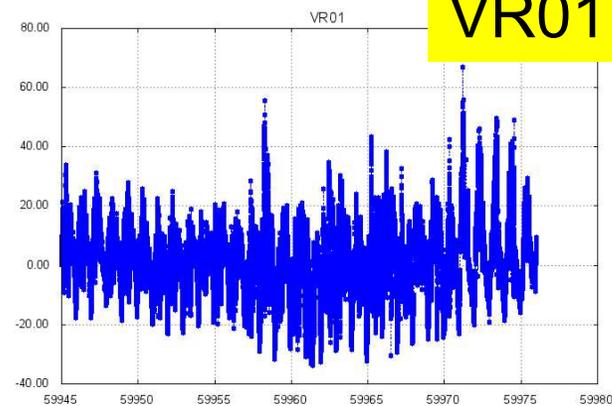
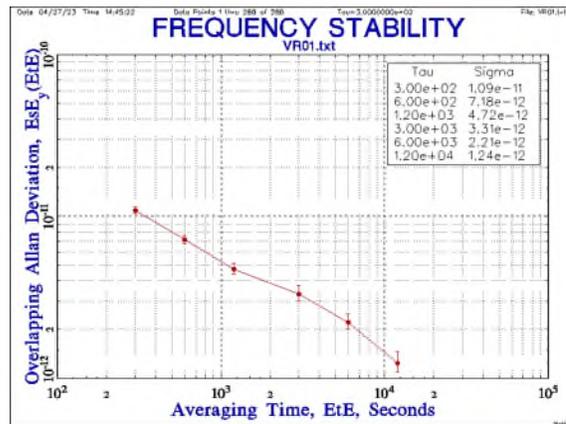
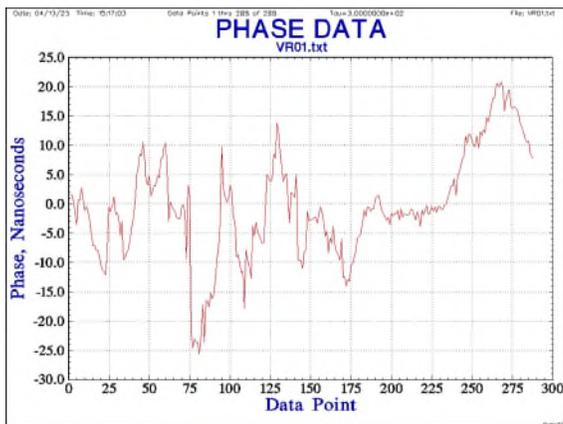
Trimble Alloy



- 時間偏移平均30 ns
- 可能與訊號線延遲有關
- 可針對訊號線延遲進行補償：訊號線長度

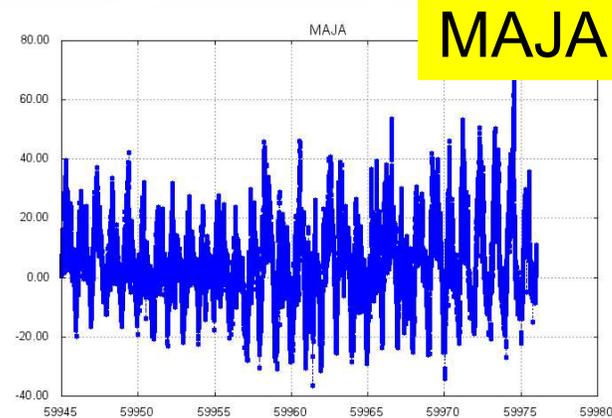
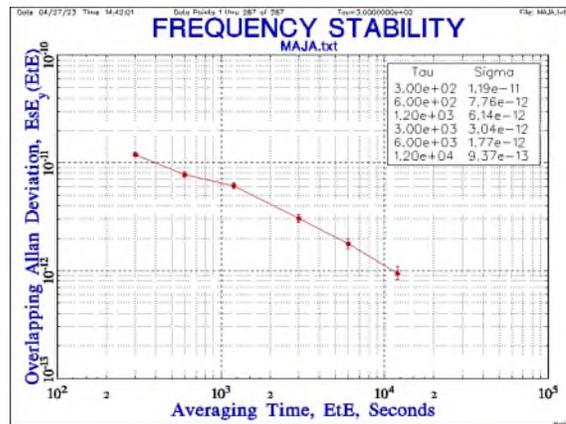
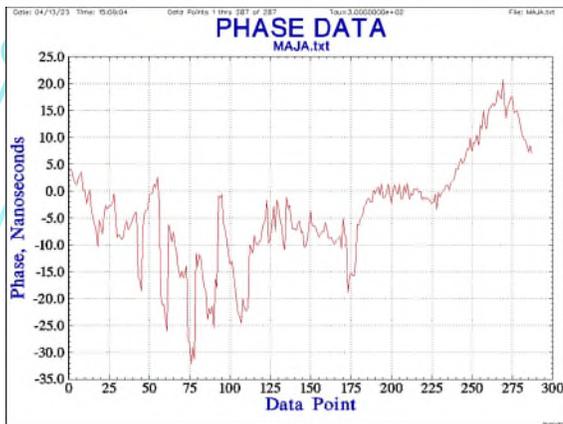
研究成果：時間偏移量

Leica GR50



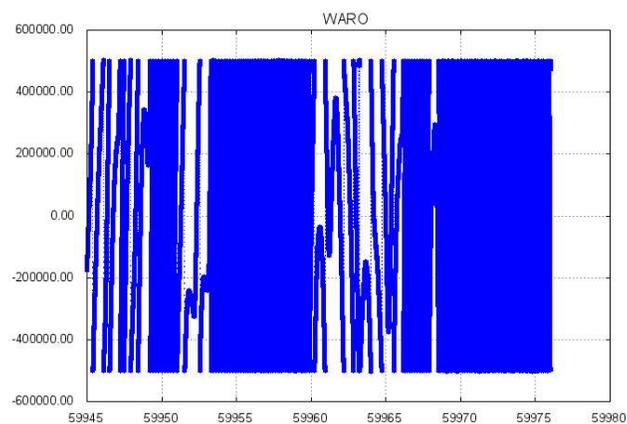
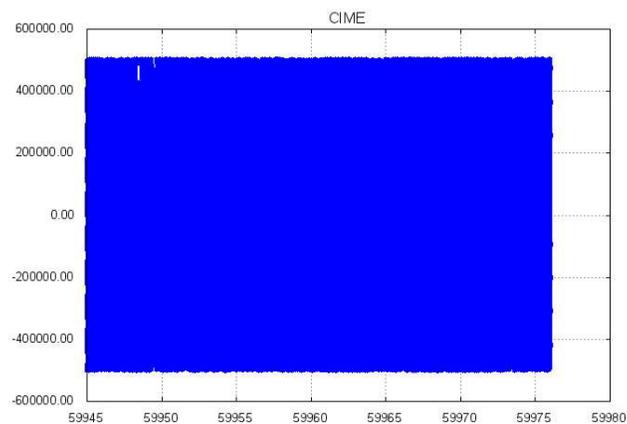
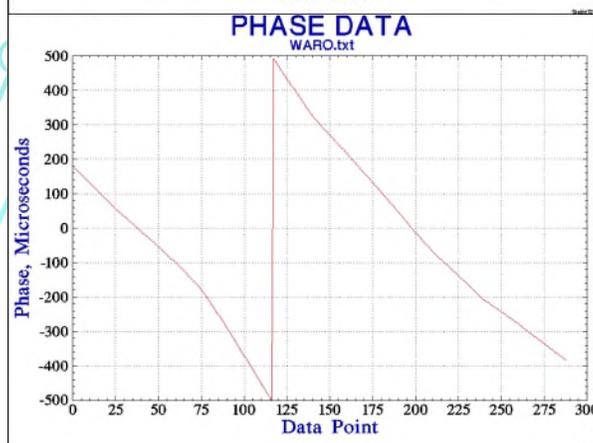
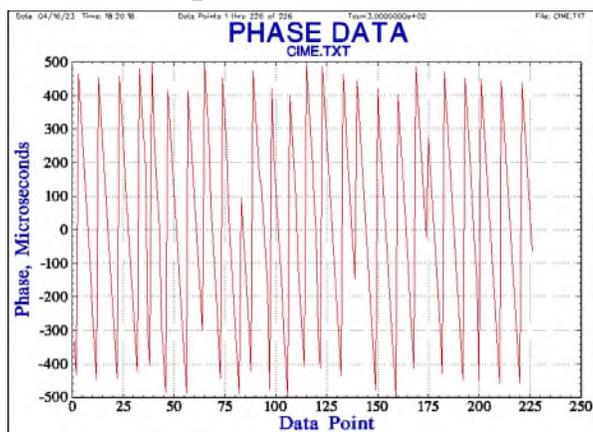
- 時間偏移接近於零

- 可能是內部延遲跟訊號線延遲正負相消



研究成果：時間偏移量

Topcon Net-G3A



- 七美CIME與萬榮WARO，其時間偏移量達正負**500000 ns**
- 如果是**溫控型石英震盪器**，頻率偏移大約在 $10^{-8} \sim 10^{-9}$ sec左右；若是溫度補償型，大約在 10^{-6} sec左右
- 頻率偏移亦明顯超過儀器規格
- 初判這兩台儀器的**石英震盪器疑似故障**

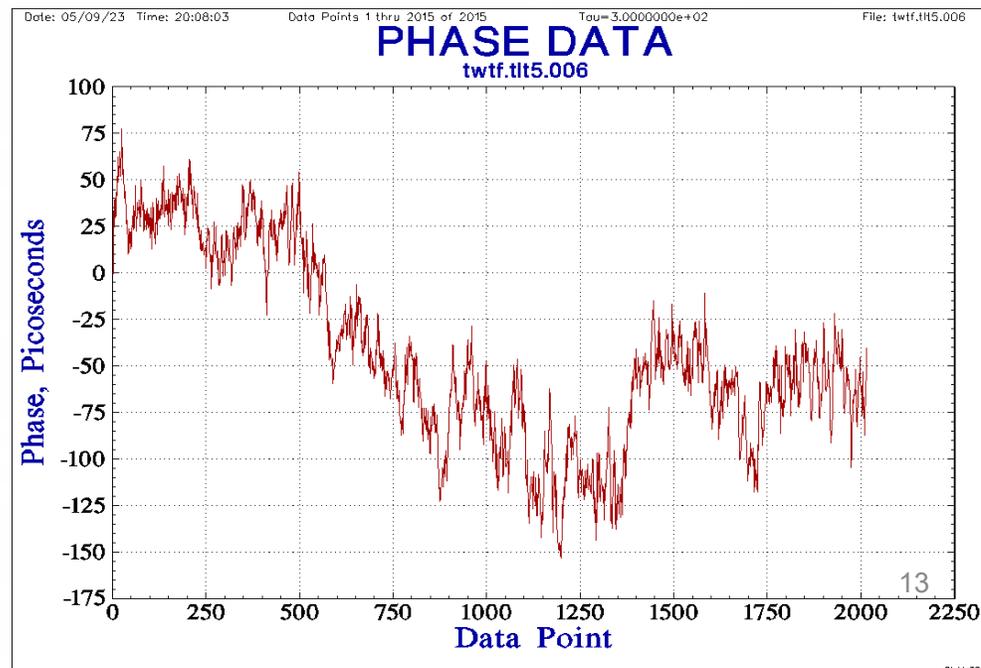
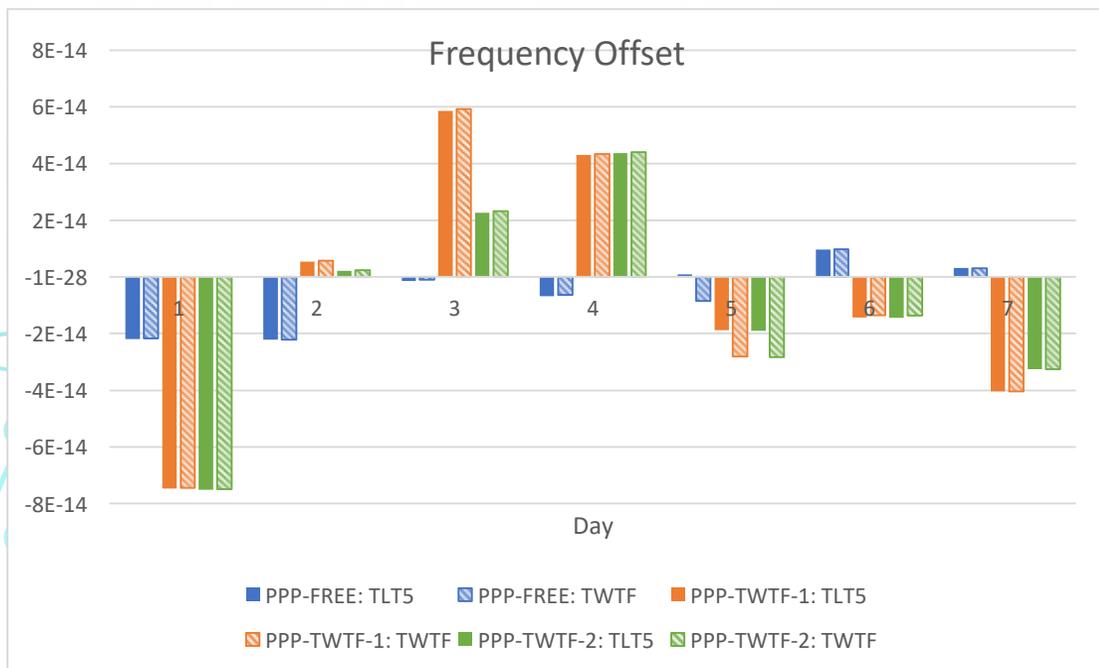
程式驗證：TWTF與TLT5共站共鐘

相位法

- 1) PPP-FREE：Bernese程式自行挑選參考鐘
- 2) PPP-TWTF-1：Bernese解算後設定參考鐘
- 3) PPP-TWTF-2：Bernese解算前後皆設定參考鐘

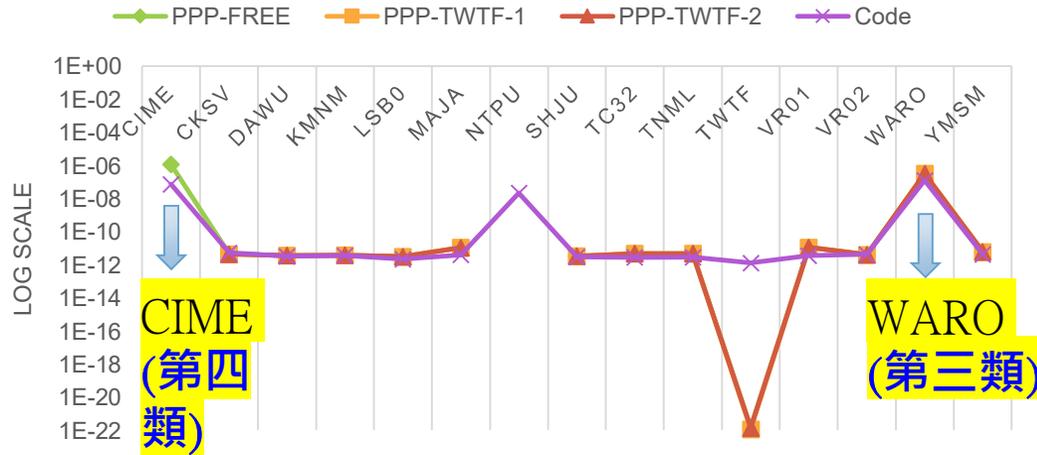
電碼法

共鐘時間偏移量在 10^{-12} 秒(Picoseconds)的範圍，屬於正常偏差值，去掉boundary後基本是一致的，符合共用參考時鐘的結果。

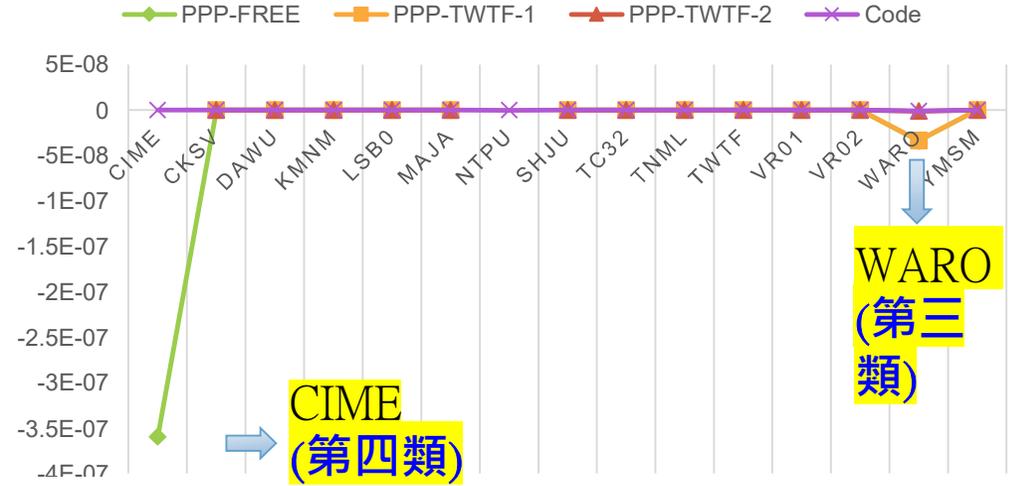


測站分類：依儀器時鐘表現分四類

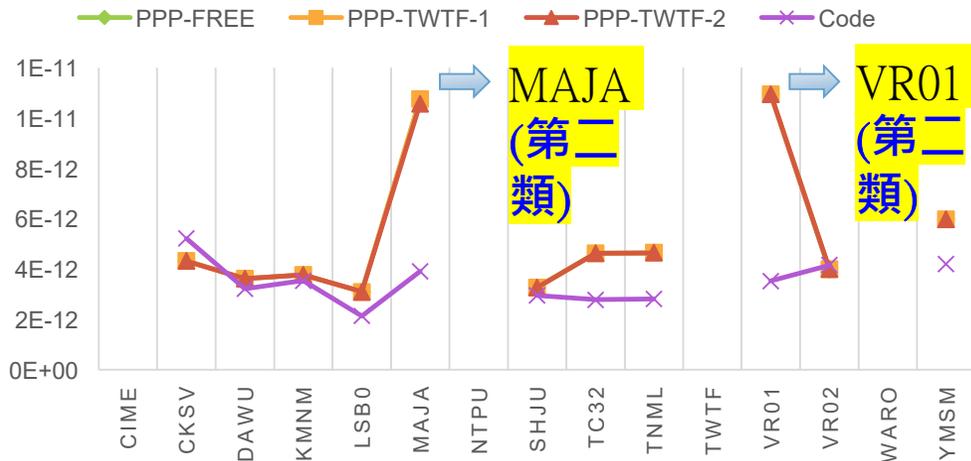
FREQUENCY STABILITY



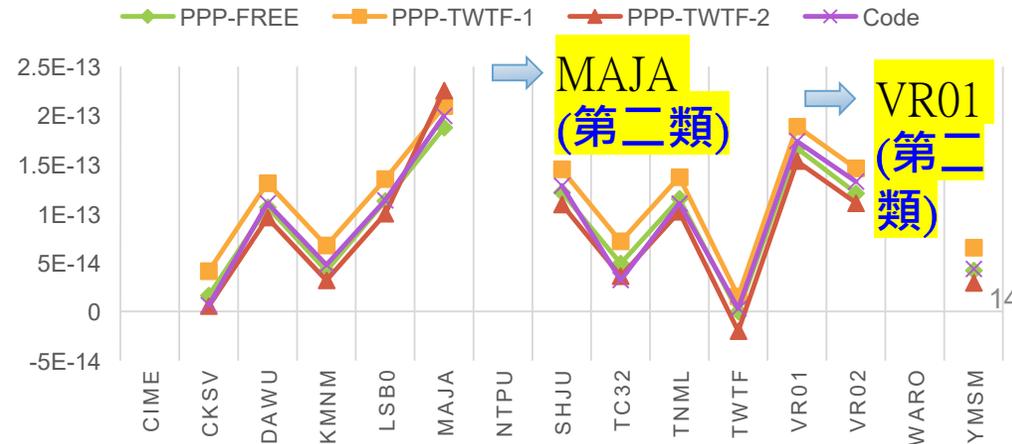
FREQUENCY OFFSET



FREQUENCY STABILITY



FREQUENCY OFFSET

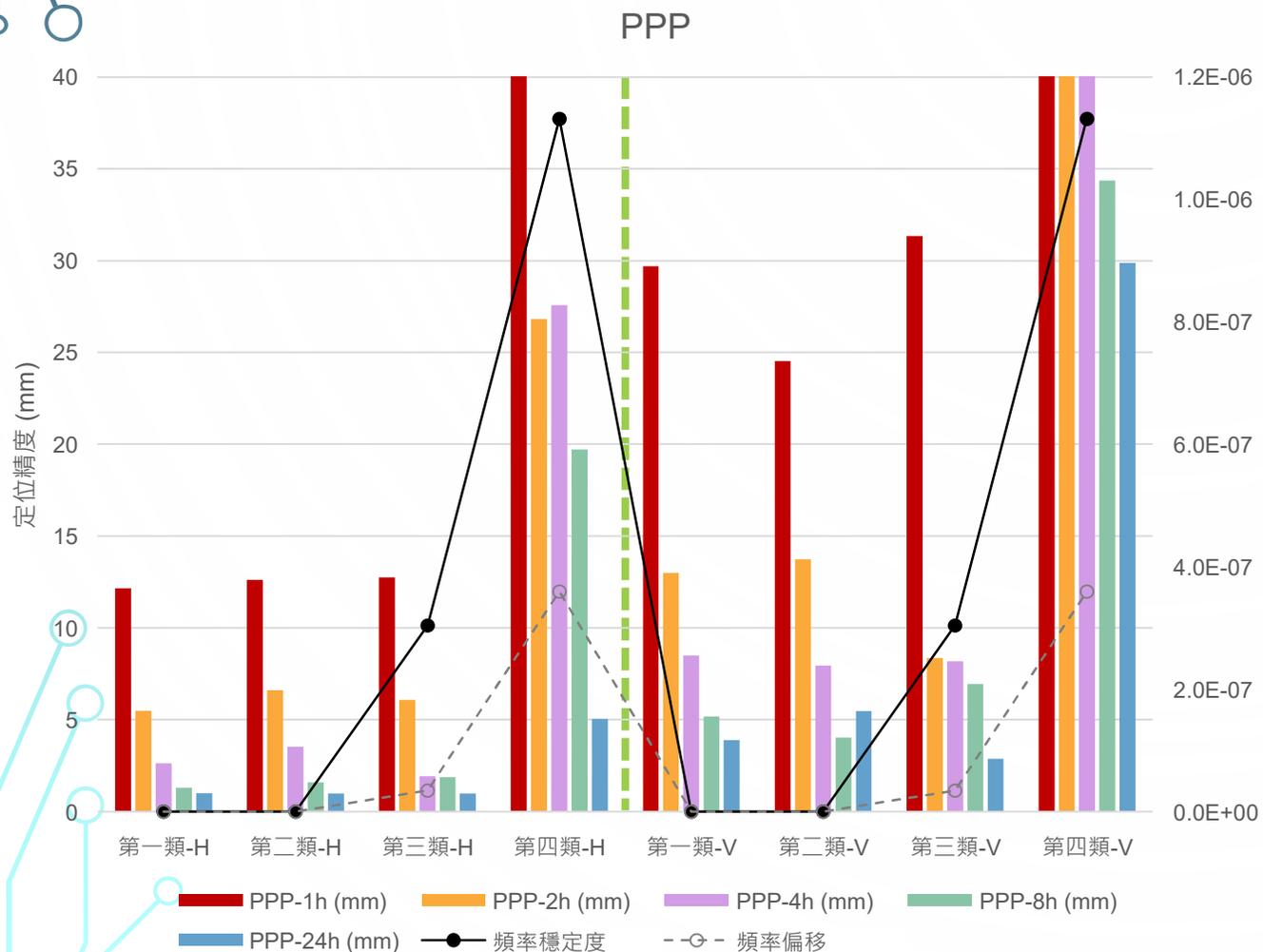


研究成果：精密單點定位(PPP)定位精度

第一類	YMSM, TNML, SHJU, TC32, LSB0, VR02, CKSV, KMNM, DAWU
第二類	VR01, MAJA
第三類	WARO
第四類	CIME

	頻率穩定度	頻率偏移量	PPP-1h (mm)	PPP-2h (mm)	PPP-4h (mm)	PPP-8h (mm)	PPP-24h (mm)
第一類-H	3.7E-12	7.3E-14	12.2	5.5	2.6	1.3	1.0
第二類-H	1.1E-11	1.8E-13	12.6	6.6	3.5	1.6	1.0
第三類-H	3.0E-07	3.4E-08	12.8	6.1	1.9	1.9	1.0
第四類-H	1.1E-06	3.6E-07	42.4	26.8	27.6	19.7	5.0
第一類-V	3.7E-12	7.3E-14	29.7	13.0	8.5	5.2	3.9
第二類-V	1.1E-11	1.8E-13	24.5	13.7	8.0	4.0	5.5
第三類-V	3.0E-07	3.4E-08	31.3	8.4	8.2	7.0	2.9
第四類-V	1.1E-06	3.6E-07	160.2	105.5	122.1	34.4	29.9

研究成果：精密單點定位(PPP)定位精度



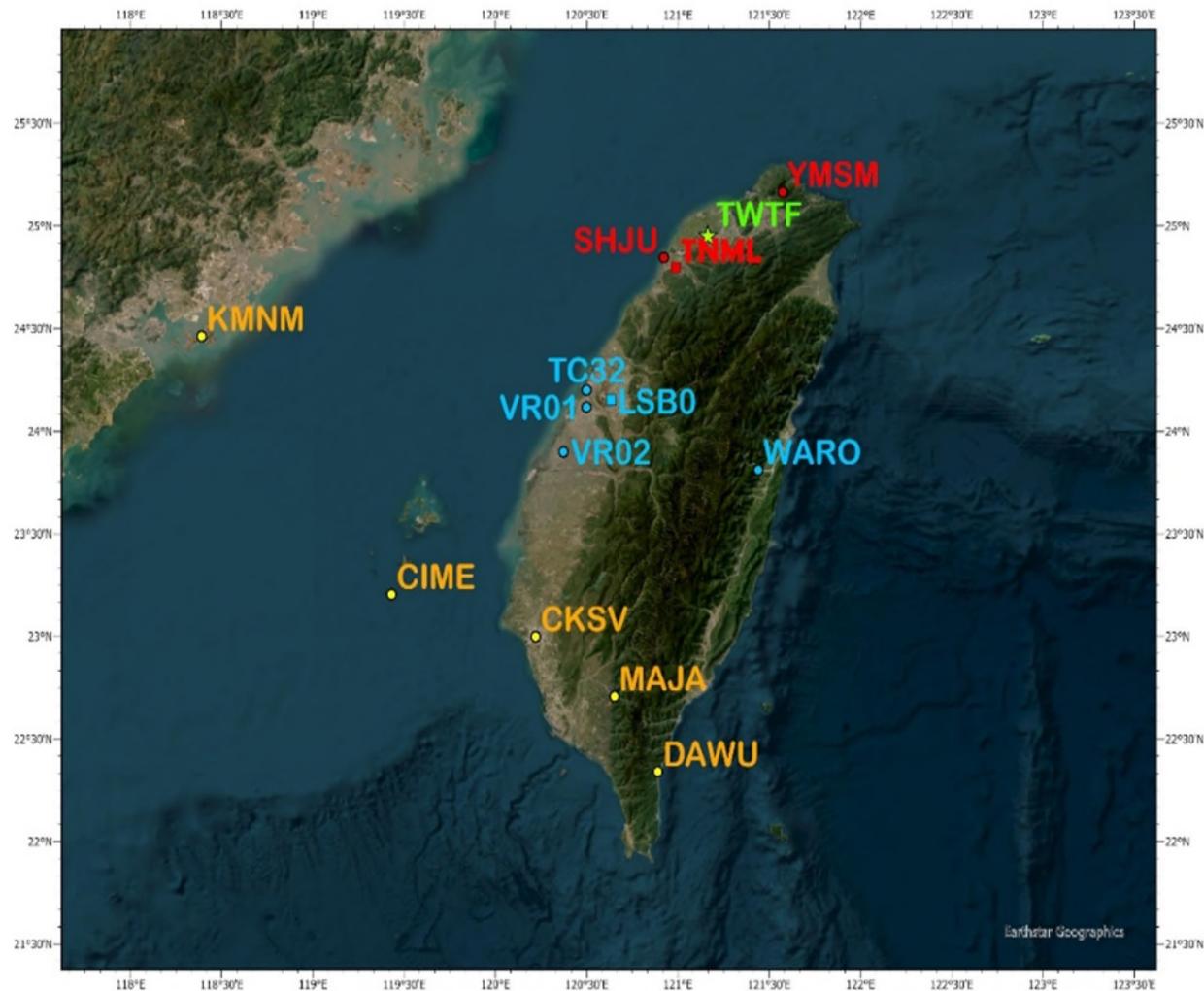
- 頻率偏移為取絕對值後呈現
 - 第一類與第二類的頻率偏移在標準範圍 ($10^{-8} \sim 10^{-9}$) 內
 - 第三類與第四類超出標準範圍

- 第四類定位精度最差
- 第三類雖然不在標準範圍
 - 24小時定位精度仍屬正常
 - 1小時高程向定位誤差稍大

- 資料時間越長定位精度越高
 - 24小時平面精度**1.0 mm** (扣除第四類)
 - 24小時高程精度**4.1 mm** (扣除第四類)

研究成果：靜態相對定位(DD)定位精度

基線長度	類別	GNSS站
短距離	第一類	YMSM, TNML, SHJU
	第一類	TC32, LSB0, VR02
中距離	第二類	VR01
	第三類	WARO
	第一類	CKSV, KMNM, DAWU
長距離	第二類	MAJA
	第四類	CIME

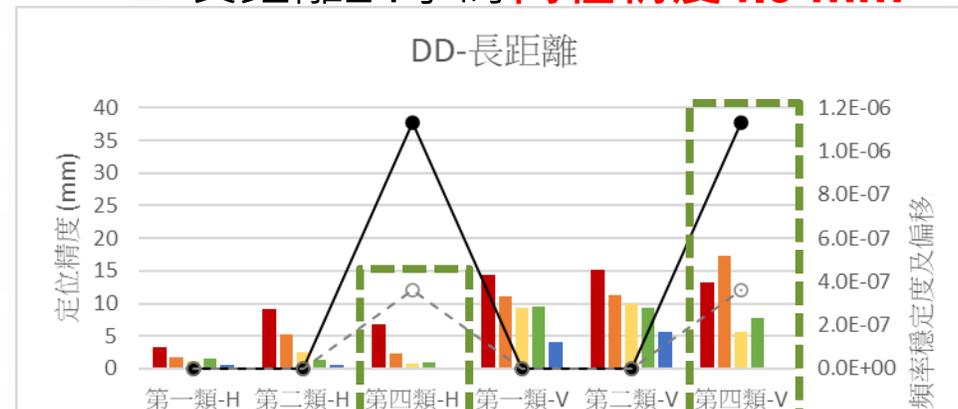
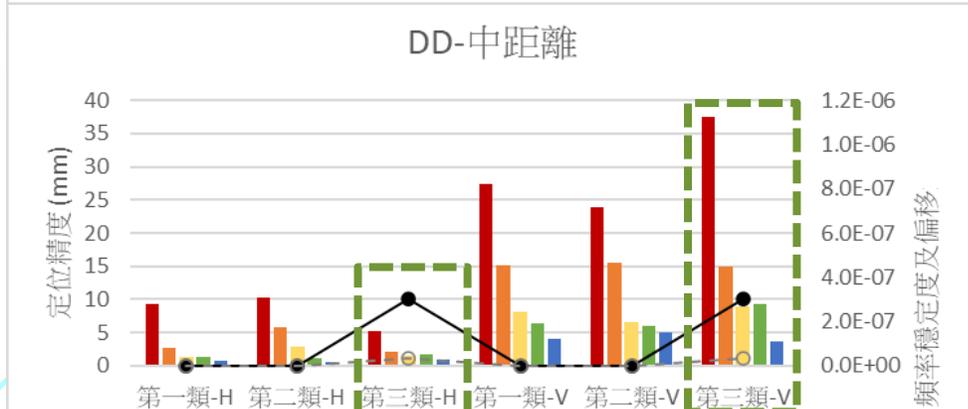
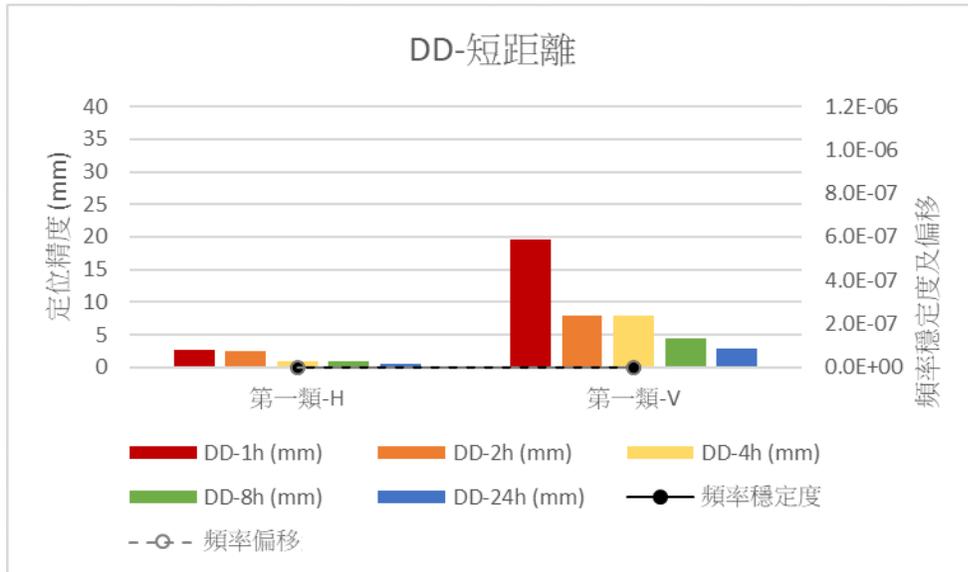


研究成果：靜態相對定位(DD)定位精度

		頻率穩定度	頻率偏移	DD-1h (mm)	DD-2h (mm)	DD-4h (mm)	DD-8h (mm)	DD-24h (mm)
短距離	第一類-H	4.6E-12	9.3E-14	2.6	2.5	1.0	1.0	0.6
	第一類-V	4.6E-12	9.3E-14	19.5	8.0	8.0	4.5	2.8
中距離	第一類-H	3.9E-12	9.4E-14	9.2	2.8	1.4	1.3	0.7
	第二類-H	1.1E-11	1.7E-13	10.3	5.9	2.9	1.1	0.6
	第三類-H	3.0E-07	3.4E-08	5.2	2.0	1.6	1.8	0.9
	第一類-V	3.9E-12	9.4E-14	27.3	15.2	8.2	6.4	4.1
	第二類-V	1.1E-11	1.7E-13	23.9	15.6	6.5	6.1	5.1
	第三類-V	3.0E-07	3.4E-08	37.6	14.9	8.8	9.3	3.6
長距離	第一類-H	3.9E-12	5.5E-14	3.4	1.7	1.2	1.5	0.6
	第二類-H	1.1E-11	1.9E-13	9.2	5.3	2.6	1.4	0.6
	第四類-H	1.1E-06	3.6E-07	6.8	2.3	0.8	1.0	N/A
	第一類-V	3.9E-12	5.5E-14	14.4	11.0	9.3	9.5	4.1
	第二類-V	1.1E-11	1.9E-13	15.1	11.3	9.9	9.4	5.7
	第四類-V	1.1E-06	3.6E-07	13.3	17.2	5.5	7.8	N/A

研究成果：靜態相對定位(DD)定位精度

- 採用DD進行基線解算，接收儀時錶誤差在差分的過程中亦被消除，故並未**明顯影響**相對定位的精度
- 資料時間越長定位精度越高
 - 短距離24小時**平面精度0.6 mm**
 - 短距離24小時**高程精度2.8 mm**
 - 中距離24小時**平面精度0.7 mm**
 - 中距離24小時**高程精度4.3 mm**
 - 長距離24小時**平面精度0.6 mm**
 - 長距離24小時**高程精度4.9 mm**



成果結論

- GNSS遠距頻率校正技術發展已成熟，可以達到奈秒級以上的時間偏差精度
- 採用共視法進行遠距頻率校正，為最適合GNSS觀測站之校正方式
- 本研究以**共站共鐘**的方式進行時間偏移量之計算
 - 在 **10^{-12} 秒**屬於正常偏差值
 - 完成相位法與電碼法之**程式驗證**
- 利用相位法與電碼法解算14處GNSS觀測站之頻率穩定度與頻率偏移
 - 時間偏移量的規格應該在正負30~50 ns，但CIME與WARO其時間偏移量達正負500000 ns
 - 這兩台儀器的**石英震盪器疑似故障**

成果結論

- 依頻率偏移將儀器分為四類（溫控型石英震盪器頻率偏移約 $10^{-8}\sim 10^{-9}$ ）
 - 第一類： 10^{-14}
 - 第二類： 10^{-13}
 - 第三類： 10^{-8} （略微超標）：**PPP-1hr解算精度不佳**、DD不影響解算精度
 - 第四類： 10^{-7} （超標）：**PPP解算精度不佳**、DD不影響解算精度
- 解算時間對定位精度的影響
 - PPP解算時間4小時以上精度顯著提升
 - DD解算時間2小時以上精度即顯著提升
 - 24小時**平面精度**：**PPP = 1.0 mm vs. DD = 0.6~0.7 mm**
 - 24小時**高程精度**：**PPP = 4.1 mm vs. DD = 2.8~4.9 mm**