

國 立 交 通 大 學

土 木 工 程 學 系  
碩 士 論 文

**GPS 船載海水面高測量**

**Sea surface heights around Taiwan from  
shipborne GPS measurements**

研 究 生：陳逸如

指 導 教 授：黃金維

中 華 民 國 九 十 九 年 五 月

**GPS 船載海水面高測量**  
**Sea surface heights around Taiwan from**  
**shipborne GPS measurements**

研究生：陳逸如  
指導教授：黃金維

Student : Yi-Ju Chen  
Advisor : Cheinway Hwang

國立交通大學  
土木工程學系  
碩士論文

A Thesis

Submitted to Department of Civil Engineering

College of Engineering

National Chiao Tung University

in partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master

in

Civil Engineering

May 2010

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國九十九年五月

# GPS 船載海水面高測量

學生：陳逸如

指導教授：黃金維

國立交通大學土木工程學系

## 摘要

精密單點定位(precise point positioning, PPP)技術由蒐集高精度軌道及時錶資訊進行動態定位解算，具可獨立彈性作業、不受基線長度影響、不需基準站資料等優點。船載測高無近岸雷達波波形不佳之問題，為一近岸海面高(sea surface heights, SSH)測量以及海洋重力測量之潛力技術。本研究嘗試應用 PPP 於船載測高動態定位作業，與動態差分定位(Kinematic relative positioning, KRP)成果比較，並以(1)靜態站定位測試、(2)海水面高交叉點差異值分析 (3) SSH 與 DNSC08 海水面高程值比較，共三種方法進行 PPP 及 KRP 定位方法精度評估。研究資料以 2007 年五月至八月期間，「國家基本測量發展計畫」-台灣鄰近海域船載重力測量作業蒐集的 GPS 相位觀測資料(取樣間隔為 1 秒)為實驗數據，研究區域分為基隆、小琉球以及綠島三區。研究工具於 PPP 部分，使用瑞士伯恩大學天文研究所研發之 Bernese 5.0 GPS 處理軟體及加拿大 Waypoint 研發之 GRAFNAV GPS 後處理軟體；於 KRP 部分，使用 Bernese 5.0、GRAFNAV、以及 MIT 研發之 GAMIT 動態定位模組 TRACK。

研究成果顯示，(1)於靜態站定位測試，PPP與KRP解算成果在超過百公里的長基線部分，精度量級接近，RMS為 6~8公分，PPP有替代長基線之潛力。(2)海水面高程交叉點差異值分析的均方根值，PPP部分，平差後Bernese PPP為2~16公分，GRAFNAV PPP為4~16公分，二者精度接近；KRP部分，Bernese KRP為11~37公分、GRAFNAV KRP為5~24公分；TRACK KRP為6~11公分；本研究半數地區的定位成果，反應出一般狀況下KRP較PPP解算精度為優，但在岸邊站資料品質不佳的地區，以PPP不受基站資料影響，解算較有優勢。(3)與DNSC08海水面高程值比較得出之標準偏差值，GRAFNAV 軟體於PPP與KRP二者標準偏差最小且一致，約10~60公分；Bernese PPP為38~62公分，Bernese KRP 為13~58公分，以交叉點差異值分析解算成果，顯示Bernese軟體經參數吸收可達一定的內部精度，其標準偏差與其他軟體無明顯差異；與DNSC08海水面高程值比較得其外部精度，其標準偏差偏高，流程尚有需要改善的地方。TRACK KRP為18~32公分，使用30秒一筆穩定接收的國家基準站解算為實驗對照組。

# **Sea surface heights around Taiwan from shipborne GPS measurements**

**Student : Yi-Ju Chen**

**Advisor : Cheinway Hwang**

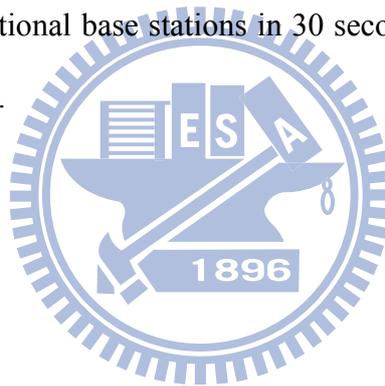
**Institute of Civil Engineering  
National Chiao Tung University**

## **Abstract**

Sea surface heights (SSHs) from shipborne GPS measurements can potentially fill data gaps in coastal areas with bad altimeter observations caused by bad altimeter radar waveforms and poor geophysical corrections, and also be used for vertical datum connection. In this study, such ship-based SSHs are made possible using the 1-Hz GPS data collected in the campaigns of shipborne gravity from May to August, 2007. Precise point positioning (PPP), which uses zero differenced phase observables, is experimented for GPS positioning to determine SSHs, and its performance is compared with that of kinematic relative positioning (KRP). The accuracy of such GPS-derived SSHs is assessed by (1) static tests, (2) crossover difference analysis, (3) comparison with DNSC08 model. The computer packages Bernese and GRAFNAV are used for PPP, while Bernese, GRAFNAV, and TRACK are used for KRP.

The static tests at a long baseline case (>100km) shows that the RMS height variations from PPP and KRP are close, and are about 6-8cm. The RMS crossover differences of SSHs are 2-16 cm and 4-16 cm for Bernese PPP and GRAFNAV PPP, respectively. Such RMS values are 11-37cm and 5-24 cm for Bernese KRP and GRAFNAV KRP, respectively. A special case of TRACK KRP with 30-s GPS data yields a RMS value of differenced SSHs at 6-11 cm. About half of the research

data sets agree with the positioning accuracy of KRP is better than PPP methods. However, PPP outperforms KRP especially in areas suffered from bad data quality of base stations, displaying the advantage of baseline independency. Comparisons between GPS-derived SSHs with DNSC08 SSHs lead to the following standard deviations (std.): 10-60 cm for both GRAFNAV PPP and KRP, which are the most consistent result of all softwares. With regard to Bernese, both Bernese PPP and KRP achieve good internal accuracy in crossover analysis by parameters estimation, but the external accuracy derived from the comparison with DNSC08 is worse than other softwares. 38-62cm for Bernese PPP and 13-58 cm for Bernese KRP demonstrate the feasibility of improving the process procedure. As a control group accomplished by using national base stations in 30 seconds data interval, the std. of TRACK KRP is 18-32 cm.



## 誌謝

我何其幸運，擁有與眾不同的碩士生涯。

首要感謝恩師黃金維教授不遺餘力的指導與支持，黃老師擁有國際化的視野，以學富五車和關懷學生為後盾，讓我有許多新的體會，老師更是完成我從小到大出國唸書夢想的重要推手，給予我機會前往 The Ohio State University 進修半年，在此對老師的栽培表達最深的謝意。在學期間，承蒙台北大學陳國華教授不辭辛勞奔波於兩校之間，每次開會都給予我很大的鼓勵，老師清晰的指導脈絡讓我在研究之路上穩健前進。感謝組上史天元教授紮實細膩的課程設計及引導學生自我思考的能力，從大學入學面試到修課乃至於研究所必選修，在我的交大記憶裡佔有許多環節。感謝陳春盛教授的熱忱，帶給我們許多社會上應對進退的道理；學生對於 GPS 的知識感謝王成機老師與張嘉強教授的啟蒙使學生收穫匪淺；感謝測量組張智安教授在專題討論與口試委員葉大綱教授在口試時的寶貴意見，使本論文更加完善。

During the period staying in the Ohio State University, I would like to express my appreciation to Prof. C. K. Shum, an outstanding scientist who works with efficiency and passion as well as treats students with the greatest kindness. I would also like to thank my mentor, Abel Brown, for his academic support. Providing the software and teaching me every detail with his full heart and patience, Abel guided me not only on doing research but the attitude about thinking deeper. In addition, I would like to thank every friend in the states. My dream can not be so fruitful without you guys. Steven, KatieTang, Elodie, Yidi, Chinyin, Yiyun, Carolyn, Sherry, Tim, Apt 3A, Apt 6G, Patrick, Allen, Elaine, Andy, Rem, Churay, Renea...Special thanks go to all the group members of Prof. CK, Jekeli, and Bevis

感謝實驗室核心人物啟訓與子榜熱心無私的指導我論文大小事、Bernese 師父領進門亦證、很有自我風格的亘昶、學弟妹視如己出的小悶、有彥杖在什麼問題都沒問題、前所未見的同班同學們：有創意冷暖自知恩銘、在認識自己道路上的宏銳、好相處建成包子、樂於助人客氣王 natt 一起快樂成長、感謝 228 全體一直以來在生活或課業上的關照，尤其在我準備口試階段的鼓勵，細心的大姐姐綉雯；學長姐：豫麒、小高、宜珊、宇伸、廷融、玉芳、貓哥、達哥、紫猗、逸晴；學弟妹：千惠、小頡、美芳、小鸚、元旒、鏗凱、雅琦。感謝測量組的大家：清美、歷韋、小光、小胖、俊宜、雅信、卡拉、芳諭、凱程、佳筠，好朋友：啟賢、孟瑜、宜靜在我求學路上的陪伴。

最重要的，感謝我最親愛的雙親以及弟妹，謝謝你們的支持，讓我無後顧之憂的享受這段學生生活，我真的很幸福擁有你們。

最後，謹將這本論文獻給所有關心我的人，與我共享這份喜悅，祝福大家。

# 目 錄

中文摘要 .....	1
英文摘要 .....	II
誌 謝.....	IV
目 錄 .....	V
表 目 錄 .....	VII
圖 目 錄 .....	VIII
<b>第一章 緒論 .....</b>	<b>1</b>
1.1 前言 .....	1
1.2 研究動機與目的 .....	1
1.3 研究方法 .....	3
1.4 論文架構 .....	4
<b>第二章 船動態定位方法 .....</b>	<b>5</b>
2.1 相對定位: 動態差分定位 .....	5
2.1.1 即時動態差分 .....	5
2.1.2 後處理動態差分 .....	7
2.2 絕對定位: 精密單點定位PPP .....	8
2.3 動態定位軟體與改正模式 .....	12
2.3.1 PPP計算方法 .....	12
2.3.2 動態差分計算方法 .....	14
2.3.3 海潮改正模式 .....	19
2.3.4 固體潮改正模式 .....	19
2.3.5 濾波 .....	20
2.3.6 船隻吃水深變化 .....	20
2.3.7 平差模式 .....	20
<b>第三章 船載重力計劃之GPS資料計算 .....</b>	<b>24</b>
3.1 研究區域簡介 .....	24
3.1.1 施測範圍、儀器、與測量船隻簡介 .....	24
3.1.2 施測與計算方法介紹 .....	27
3.2 GPS船載海面高測量 .....	29
3.2.1 船載測高發展現況 .....	31

<b>第四章 船GPS動態定位精度分析.....</b>	<b>33</b>
4.1 靜態定位測試.....	33
4.2 交叉點分析.....	40
4.2.1 Bernese PPP成果.....	40
4.2.2 GRAFNAV PPP成果.....	43
4.2.3 GRAFNAV KRP.....	45
4.2.4 Bernese KRP成果.....	46
4.2.5 TRACK KRP成果.....	47
4.2.6 交叉點海面高差異討論.....	50
4.3 與平均海水面模式DNSC08 MSS 差異分析.....	51
4.4 討論.....	62
<b>第五章 結論與建議.....</b>	<b>64</b>
<b>第六章 參考文獻.....</b>	<b>66</b>



## 表 目 錄

表 2-1	(2-1~2-4)式符號說明.....	10
表 2-2	GRAFNAV 動態定位參考精度表.....	14
表 3-1	本研究三區之觀測日期.....	24
表 3-2	金龍資 39 號船體諸元表.....	26
表 3-3	近期船載測高研究之海水面高精度分析.....	31
表 4-1	2007 年 DOY171 三固定站使用 Bernese PPP 靜態測試之 RMS 及 mean residual height (m).....	35
表 4-2	2007 年 DOY171 三固定站使用動態差分軟體「TRACK」及「Bernese」靜態測試之 RMS 及 mean residual height (m)比較表.....	35
表 4-3	交叉點海面高差異統計表(Bernese PPP 結果).....	42
表 4-4	交叉點海面高差異統計表(GRAFNAV PPP 結果).....	44
表 4-5	交叉點海面高差異統計表(GRAFNAV KRP 結果).....	45
表 4-6	交叉點海面高差異統計表(Bernese KRP 結果).....	47
表 4-7	交叉點海面高差異統計表(TRACKKRP 結果).....	49
表 4-8	五種解算方法解算出之海面高交叉點差異的 RMS 值.....	51
表 4-9	Bernese PPP 海水面高與 DNSC 08 差異統計表.....	52
表 4-10	GRAFNAV PPP 海水面高與 DNSC 08 差異統計表.....	54
表 4-11	GRAFNAV KRP 海水面高與 DNSC 08 差異統計表.....	56
表 4-12	Bernese KRP 海水面高與 DNSC 08 差異統計表.....	58
表 4-13	TRACK 海水面高與 DNSC 08 差異統計表.....	60
表 4-14	各軟體及解算方法與 DNSC 08 海面高差異量平差後標準偏差值比較表.....	63

## 圖目錄

圖 2-1	VBS-RTK 定位原理.....	6
圖 2-2	Bernese PPP 流程簡圖.....	13
圖 2-3	Bernese 動態差分流程簡圖.....	16
圖 2-4	TRACK 解算基隆測區 2007 DOY131 之橢球高、天頂距對流層延遲量、軟體內部精度.....	17
圖 2-5	TRACK 解算小琉球測區 2007 DOY183 之橢球高、天頂距對流層延遲量、軟體內部精度.....	18
圖 2-6	TRACK 解算綠島測區 2007 DOY210 之橢球高、天頂距對流層延遲量、軟體內部精度.....	18
圖 2-7	航線系統誤差量偏差值(BIAS)與漂移值(DRIFT)示意圖.....	21
圖 2-8	實測點與內插點示意圖.....	21
圖 3-1	本研究三區船行分布圖.....	25
圖 3-2	實驗儀器架設於船隻之位置圖.....	26
圖 3-3	GPS 資料處理流程.....	28
圖 3-4	GPS 動態定位成果產出後所使用之改正模式及精度分析流程.....	29
圖 3-5	船載海面高測量與衛星測高原理圖.....	30
圖 4-1	2007 年 DOY171 陽明山 YMSM 站靜態定位測試 mean residual height, 基站為墾丁 KDNM 站, 由上往下依序為 Bernese PPP、TRACK KRP、Bernese KRP.....	36
圖 4-2	2007 年 DOY171 墾丁 KDNM 站靜態定位測試 mean residual height, 基站為太麻里 TMAM 站, 由上往下依序為 Bernese PPP、TRACK KRP、Bernese KRP.....	37
圖 4-3	固體潮模型於 2009/1/1~2009/1/3 共三天的固體潮改正量圖.....	38
圖 4-4	2007 DOY171 陽明山基準站靜態測試成果, 加入與未加入固體潮比較圖.....	39
圖 4-5	圖 4-4 所引入的固體潮模型.....	39
圖 4-6	交叉點差異量分析示意圖.....	40
圖 4-7	交叉點海面高差異分布圖(Bernese PPP 結果), 上圖為基隆、左下圖為小琉球、右下圖為綠島.....	41
圖 4-8	交叉點海面高差異分布圖(GRAFNAV PPP 結果), 上圖為基隆、左下圖為小琉球、右下圖為綠島.....	43
圖 4-9	交叉點海面高差異分布圖(GRAFNAV KRP 結果), 左圖為小琉球、右圖為綠島.....	45
圖 4-10	交叉點海面高差異分布圖(Bernese KRP 結果), 上圖為基隆、左下圖為小琉球、右下圖為綠島.....	46

圖 4-11	交叉點海面高差異分布圖(TRACK KRP 結果)，上圖為基隆、左下圖為小琉球、右下圖為綠島.....	48
圖 4-12	Bernese PPP 海面高與 DNSC08 殘餘值圖，由上而下依序為平差前後之基隆、小琉球、綠島.....	53
圖 4-13	GRAFNAV PPP 海面高與 DNSC08 殘餘值圖，依序為平差前後之基隆、小琉球、綠島.....	55
圖 4-14	GRAFNAV KRP 海面高與 DNSC08 殘餘值圖，依序為平差前之基隆、及平差前後之小琉球、綠島.....	57
圖 4-15	Bernese KRP 海面高與 DNSC08 差異分布圖，依序為平差前後之基隆、小琉球、綠島.....	59
圖 4-16	TRACK 海面高與 DNSC08 差異分布圖，依序為平差前後之基隆、小琉球、綠島.....	61



# 第一章 緒論

## 1.1 前言

全球定位系統(global positioning system, GPS)是隨著現代科學技術迅速發展而建立的精密衛星導航與定位系統。早先為美國國防部因軍事需要而研發，現提供陸、海、空等各種載具高精度導航與定位作業，為現代化測量工程重要且有效的工具。

重力是反映地球形狀與地殼運動的重要資訊，研究地球重力場可進而瞭解地球內部的質量分布。在大地測量領域，地球重力場可以確定高程坐標、研究地球形狀；在地球物理領域，利用地球重力場觀測資料可以探勘地下礦藏資源，能夠分析地震成因；在國防應用領域也有著極其重要的作用(施巨昶, 2004)。除了使用相對或絕對重力儀等科技蒐集陸地上的之重力資訊外，海洋重力測量資料，可提供做為國家高精度基本測量、海底地殼活動和海洋潮汐之研究等運用，故海洋重力測量所提供之數據，亦將是極為重要且珍貴之大地觀測資料。

本文應用「國家基本測量發展計畫」-台灣鄰近海域船載重力測量作業蒐集的船載定位GPS觀測資料，以精密單點定位以及動態基線定位方式估計與衛星測高相當性質的海面高(sea surface height, SSH)。SSH 將可應用於反衍地球重力場，提供大地測量、海洋及地球科學研究之用。

## 1.2 研究動機與目的

傳統上，高取樣率(如1秒取樣間隔)的GPS 動態定位資料，大多會結合地面基準站的觀測資料進行差分定位解算。差分定位模式由於可以有效消除大部分的GPS 定位誤差，對於測量範圍不大的動態測量作業可以獲得公分級或更好之定位精度(Seeber, 1993)。然而，隨著基線長度之增加，差分定位求解的精度亦隨之

降低，在長基線(百公里以上)的動態定位計算中，受限於地面基準站與移動站的距離遙遠，其定位精度將可能放大至數公分等級(Cove and Santos, 2004)。

另一方面，動態差分定位因為需要基準站高取樣率(如1秒或更高)觀測資料的配合，分佈於全球各地或台灣各地區固定式的衛星追蹤站，大多為15 秒或是30 秒的取樣間隔，除了無法滿足差分定位測量作業需求，15 秒或30 秒的資料亦無法表現出定位過程中高頻變化的情況。目前採用的作業方式大多為觀測當日特別設定某些固定式衛星追蹤站為高取樣間隔，作業結束後回復原取樣間隔，或是自行架設臨時基準站配合作業需求。不論採用以上何種方式，均會增加作業的成本並降低作業之效率與便利性。

近年來，精密單點定位(precise point positioning, PPP)技術逐漸廣泛應用於GPS 動態定位之中(Kouba and Héroux, 2001; Satirapod and Homniam, 2006; Ge et al., 2008)，由於PPP不受基線長度之影響，可以藉由蒐集的軌道、時錶...等資訊進行動態定位直接計算，具有可獨立彈性作業、不需基準站資料等優點。然而，由於未能組成差分觀測資料，使得GPS定位的大部分誤差無法藉以消除或降低，導致PPP的定位精度大多較網形差分方式為低，尤其在動態定位過程中，其精度可能達到數公分甚或公尺之等級，若能有效提昇PPP動態定位的精度，將可有效應用於各領域之相關作業中。

船載測高無近岸雷達波波形不佳之問題，為一近岸海面高測量以及海洋重力測量之潛力技術。本文嘗試應用PPP技術於船載測高動態定位作業之中，以評估其可達的精度。由於船載GPS動態測量，在海面上沒有固定的標點可進行重覆施測以評估其定位精度，只能藉由兩船行軌跡之交叉點(crossover point)定位結果，進行所謂「交叉點位置」之差異分析(crossover difference of positions)。理論上，在交叉點上之定位成果應相等，其差異值應為零，若非為零，則主要誤差來源有儀器誤差與定位誤差。一般而言，相對於動態定位誤差，儀器誤差相對小了许多，故本研究忽略儀器誤差產生之效應，將交叉點上的差異值視為評估GPS定位精度之一項直接指標。除此之外，本文亦應用經過海潮改正之後的海面高度與

DNSC08的海面高度值進行比較，以GPS觀測值與參考場之高度差異量作為評估本研究成果的另一項參考指標。最後，本文以PPP可達之定位精度與差分方式的差異，探討改善方法，評估PPP未來的應用與展望。

### 1.3 研究方法

本研究以2007年五月至八月期間，「國家基本測量發展計畫」-台灣鄰近海域船載重力測量作業蒐集的GPS觀測資料(取樣間隔為1 秒)為實驗數據，研究區域分為基隆、小琉球以及綠島三區。資料分別以精密單點定位以及動態差分定位方法進行運算。

精密單點定位研究工具使用(1)瑞士伯恩大學天文研究所研發之Bernese 5.0 GPS處理軟體，以精密單點定位處理流程解算、及(2)由加拿大Waypoint研發之GRAFNAV GPS後處理軟體，進行精密單點定位解算。

差分定位方法研究工具包含(1)Bernese 5.0 動態基線解算流程 (2)GRAFNAV GPS後處理軟體、及(3)MIT研發之GAMIT動態定位模組TRACK，進行動態基線運算。

精度分析包含 (1)使用動態定位模式進行靜態站坐標解算，了解動態定位解算精度以及軟體內部之解算穩定度；(2)以海面高交叉點位置差異分析，評估PPP及動態基線方法解算出的座標精度；(3)將海面高度與DNSC08的海面高度值進行比較，以GPS觀測值與參考場之高度差異量作為評估本研究成果的另一項參考指標。最後，本文依照實驗所得之各項成果評估PPP與動態差分可達之定位精度，探討兩者誤差特性及改善方法。

## 1.4 論文架構

第一章：緒論。

說明研究動機與目的、研究方法以及論文架構。

第二章：船動態定位方法。

本章說明動態定位方法，包含相對定位：動態差分定位原理；絕對定位：精密單點定位原理；並介紹本研究使用之動態定位軟體，主要研究工具為Bernese GPS software Version 5.0，其進行精密單點定位時所採用的模式與原理，並依序介紹軟體GRAFNAV、Bernese動態差分定位流程、以及動態差分定位軟體TRACK；最後說明研究中所需用到的海潮改正模式、固體潮改正模式、濾波方法及平差模式。

第三章：船載重力計劃之 GPS 資料計算。

本章介紹2007年台灣地區基隆、小琉球、綠島三實驗區之設計。船載測高作業程序，包含施測範圍、儀器介紹與施測方法介紹；並說明船載測高基本原理與發展現況。

第四章：動態定位精度結果分析。

本章為定位精度結果分析，以靜態測試、交叉點海面高差異值分析、與測高衛星所得之平均海水面參考場DNSC08比較，共三項以分析GPS所得的定位精度。

第五章：結論與建議

## 第二章 船動態定位方法

### 2.1 相對定位: 動態差分定位

差分定位系統，是採用相對定位原理，即對二個或以上的測點同時進行訊號接收並聯合解算，利用觀測方程式之間相減的方式消除多餘參數(如時錶誤差、電離層延遲誤差)，再以相減後的方程式進行必要參數(如座標值)的計算，差分方式可以藉此消去大部分共同誤差，而獲取較高的定位精度，方式有一次差、二次差、三次差。其中，一次差分可消除衛星時錶誤差以及衛星軌道誤差；二次差分可更進一步消除接收儀時錶誤差，而三次差分則可消除週波未定值。這些差分模式都有助於減低電離層以及對流層的延遲誤差，以及固體潮的影響。

相對定位的操作方式為至少一部接收儀置於已知座標點上，稱為主站，與置於未知點上待測站或移動站組成基線，再進行座標解算。若移動站或載具在接收資料的過程相對於一固定點處於運動的狀態，即為動態觀測，靜態觀測亦可視為位移量為零之動態觀測。故若差分 GPS 的待測點是一個移動目標，就稱為動態差分定位(Kinematic relative positioning, KRP)。

而根據誤差糾正量是即時或非即時(後處理)傳給測點GPS接收儀，可分為即時動態差分(RTD GPS)和後處理動態差分。

#### 2.1.1 即時動態差分

即時差分技術要求基準站與各移動測點之間進行數據通訊，因此要求較高的技術條件和費用投入。即時性衛星動態定位精度等級如下：

(1) 網路化電碼差分即時動態定位(DGPS)服務，其定位精度可達公分等級。

在基準站上，觀測所有衛星，根據基準站已知座標和各衛星的座標，求出每顆衛星每一時刻到基準站的真實距離，再與測得的偽距比較，得出偽距改正數，將其傳輸至用戶接收機，提高定位精度。

## (2) 單一參考站即時動態定位

即時動態定位(real time kinematic)為藉由無線電設備將主站與移動站的觀測量結合，以OTF (on-the-fly)演算法，在動態的狀態下，求解相位之週波未定值，即時計算得移動站的瞬間點位坐標。傳統單一參考站RTK由於受到各種系統誤差的影響，使得移動站只能在參考站的數公里範圍內能達到公分等級的精度(李定諺, 2005)。

## (3) 虛擬基準站即時動態定位(virtual base station-RTK)服務，其定位精度可達公分等級。

虛擬基準站即時動態定位操作方法為，控制及計算中心利用基準站連續觀測資料及精確坐標，建立區域性改正參數資料庫。移動站使用行動數據傳輸技術將位置資訊(通常為單點定位坐標)登錄於控制及計算中心；控制及計算中心依移動站單點定位坐標進行系統誤差內插計算，並結合最近基準站實際觀測資料組成經定位誤差修正之虛擬觀測資料，成為虛擬化主站，最後在虛擬化主站以及移動站衛星接收儀進行「超短基線」RTK定位解算。如圖2-1。

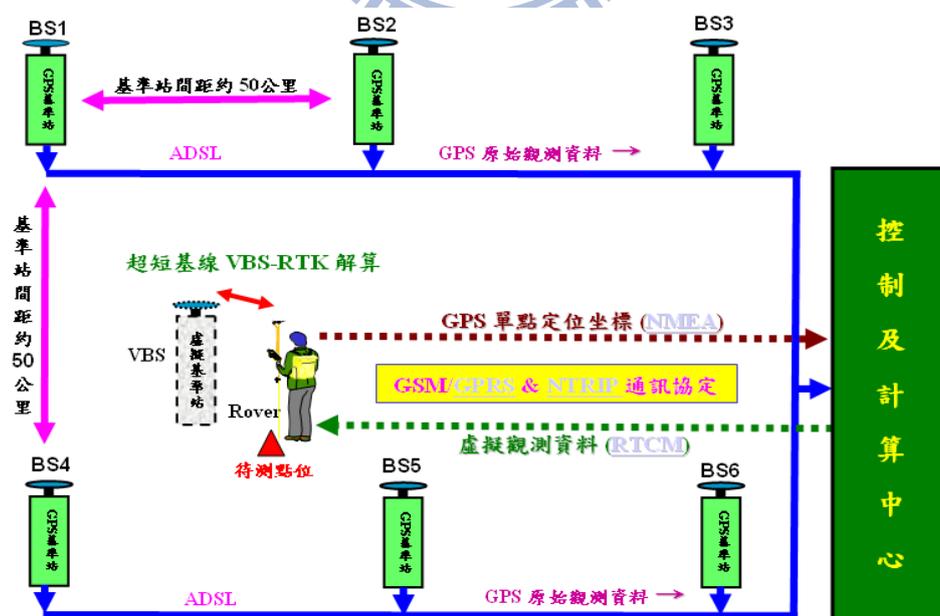


圖 2-1 VBS-RTK定位原理(內政部國土測繪中心網頁，

[http://www.nlsc.gov.tw/websites/i\\_ext/default.aspx](http://www.nlsc.gov.tw/websites/i_ext/default.aspx))

### 2.1.2 後處理動態差分

後處理動態差分將移動測站收集之GPS訊號記錄於儲存設備，待測量完成後使用軟體將基準站與移動測站之資料進行處理，以達到差分目的。除可使用精度較高的精密星曆進行解算，也可對觀測資料進行品質篩選，以研究型解算軟體Bernese進行後處理解算為例，對於資料的預處理包含檢查電碼資料品質、檢查載波相位資料品質、觀測資料平滑化、偵測週波脫落與週波脫落補償、標示觀測粗差等。所使用的精密星曆採用IGS(International GNSS Service, <http://igsceb.jpl.nasa.gov/>) 或 CODE (Center for Orbit Determination in Europe, <ftp://ftp.unibe.ch/aiub/CODE/>) 組織提供，於觀測後12~18日可免費在網站上獲得。對於空載重力測量、船載重力測量等非即時性但是需要高精度的測量工作，後處理是理想的選擇；缺點為無即時通訊數據傳輸部分，不能即時獲得定位成果，且一旦觀測操作有誤或數據資料品質不佳，則必須重新測量。依照所使用的參考站的數目可分為單參考站以及多參考站，說明如下：

#### 一、單參考站

單參考站使用單一固定站作為相對定位的參考點，與移動站進行二次差分解算。當固定站與移動站距離不遠時，二次差分能夠消除對流層以及電離層等影響，但當基線長度增加，大氣層所可能產生之誤差將不能被有效消除，與距離相關之誤差也會提升，使得長基線定位精度下降。但對於隨時改變位置的移動載體，動態定位使用單基準站與載體組成基線解算較不會有資料量過於龐大的問題。本研究使用此方法進行動態差分定位。

#### 二、多參考站

多參考站使用多個固定站作為相對定位的參考點，將觀測資料組成網形解算，基線網有穩定解算成果的特點，於靜態解算時，使用網形基線有助於提升待測點的座標精度。但對於動態解算，移動站不停的移動，若將所有移動路徑都組成網形將會造成資料量龐大，運算耗時以及佔用記憶體等問題。

## 2.2 絕對定位: 精密單點定位PPP

90 年代期間，美國太空總署(National aeronautics and space administration, NASA) 噴射推進實驗室(Jet propulsion laboratory, JPL) 提出了新一代的GPS 定位技術，稱為「精密單點定位」(Zumberge, 1999)。精密單點定位使用零次差分技術，為單一接收站、無基線、無參考站座標加入解算，且定位成果建立在全球座標系統上的絕對定位方法。

傳統的單點定位(single point positioning, SPP)以即時的廣播星曆為主，衛星時錶改正量被視為未知數進行求解，水平定位精度在SA效應(selective availability)開啟時是100公尺，SA效應關閉之後為22公尺或更佳，使用L3無電離層模式解算可達1~10公尺，當使用觀測量殘餘值預估的隨機模型吸收系統誤差後靜態定位可達公分等級(Wu and Guo, 2008)。目前IGS提供之廣播星曆軌道位置資料均方根值(root mean square, RMS)為約1公尺，衛星時錶資料的均方根誤差為5ns (nanoseconds)。精密單點定位則以精密星曆為主，使用高精度軌道參數及衛星時錶資訊進行位置解算，由於使用後處理的精密時錶資料，衛星時錶改正量為已知量，未知量則為待測座標、接收儀時錶差、週波未定值、及對流層延遲量。目前IGS提供之精密星曆軌道位置資料均方根值為約2.5公分，衛星時錶資料的均方根誤差為75ps (picoseconds)。(IGS：<http://igsceb.jpl.nasa.gov/components/prods.html>)

PPP解算會碰到的問題之一，即為衛星與接收儀的相位起始值差異所面臨的整數週波未定值訂定，一般差分定位會將週波未定值固定進行解算，而PPP是將之視為實數並使用浮動解，由於待測點單點獨立運算而無幾何的優勢，解算上需要較長的收斂時間，超過20~60分鐘的良好品質連續觀測、以及足夠且幾何分布良好的衛星，對PPP的解算是不可或缺的(Kjørsvik et al., 2009)。若使用經過篩選後品質較佳的GPS資料經過疊代計算，並使用精度較高的起始動態坐標，以求解較精確的對流層附加修正參數、週波未定值以及接收儀時錶誤差，則PPP將可獲

得數公分至1、2 公分等級的動態定位結果，且不受限於與基準站之間基線長度的影響。研究指出，目前定位精度於靜態定位成果能達到公分級，動態定位成果能達到公分級。(Cove and Santos, 2004)

由於沒有經過差分處理而消除部分誤差的機制，PPP定位成果將高相關於解算模式及有否使用相同來源的GPS精密星曆、時錶改正量搭配適當的解算軟體，例如使用JPL的產品搭配GIPSYOASISII(GOA)軟體解算，或使用CODE的產品搭配Bernese軟體解算，以Bernese為例，使用CODE提供的星曆產品所解算出來的靜態站座標RMS與IGS提供的星曆產品比較，於水平方向CODE較優0.5~1 (mm)，垂直方向CODE較優5(mm) (Teferle et al., 2007)。

另外，找出誤差來源並進而找到方法處理誤差，則是PPP定位成果能否提升的關鍵。影響PPP動態定位精度的主要誤差有衛星軌道誤差、衛星時錶誤差、接收儀時錶誤差、電離層延遲誤差、對流層延遲誤差以及整數未定值(ambiguity)求解誤差等。衛星軌道誤差為衛星星曆與真實衛星軌道的差異量，依計算所使用的數學模型、衛星追蹤站的分布與數量、觀測時間的長短而定。衛星時錶誤差為衛星中的原子鐘時錶頻率漂移而引起的衛星時錶時間與標準GPS時產生的差異量，可透過地面監測站對衛星的監測，並使用二項式模擬衛星時錶變化以確定之(邱冠維, 2009)。電離層延遲誤差成因則為離地面50~1000公尺的大氣範圍內充滿會隨時間與太陽黑子週期而變化的電子與微粒，對電磁波訊號造成一定程度的折射而影響傳播速度。對流層延遲誤差為當訊號通過由地表算起40公里內的中性大氣範圍時，訊號速度會低於光速，由於其影響與訊號頻率無關，故無法用雙頻的特性來消除折射量，分為乾分量與濕分量，乾分量主要受大氣溫度及壓力影響，濕分量則受訊號傳播方向上的大氣溼度以及高度影響。

上述大多數的誤差預期可於模式處理中消除，如：引入品質佳的軌道資訊與衛星時錶改正量；接收儀時錶差以及對流層延遲誤差由預估獲得；電離層延遲誤差可以使用雙頻的接收儀產生無電離層線性(free-ionospheric delay, L3)，或是使用更為完善的模式進行處理(Trehn, 2006)。其他誤差模式例如：海潮改正、固體

潮改正、大氣改正...等，根據觀測狀況以及研究需要引入，詳細討論於2.3.3~2.3.6節，以期得到最佳的定位成果。最後進行最小二乘估計將粗差別除，獲得測站坐標、接收儀時錶差、天頂向對流層延遲量、精度指標等未知數。

使用雙頻GPS接收儀，接收儀和衛星之間的電碼及載波相位觀測量Li (i=1,2)可列出2-1與2-2式，2-1式為使用電碼(code)，2-2式為使用載波相位(phase)觀測量組成的PPP觀測方程式(Shen and Gao, 2002)；各誤差項引入觀測方程式中，詳細內容如表2-1：

$$P(Li) = \rho + c(dt - dT) + d_{orb} + d_{trop} + d_{ion/Li} + d_{multi/P(Li)} + \varepsilon(P(Li)) \quad (2-1)$$

$$\Phi(Li) = \rho + c(dt - dT) + d_{orb} + d_{trop} - d_{ion/Li} + \lambda_i N_i + d_{multi/\Phi(Li)} + \varepsilon(\Phi(Li)) \quad (2-2)$$

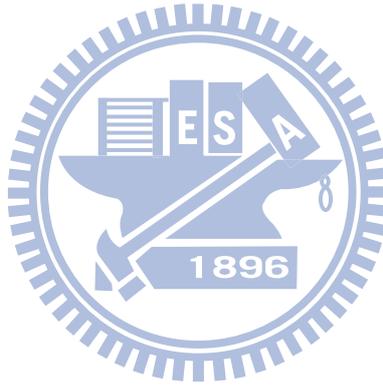
表 2- 1 (2-1~2-4)式符號說明

符號	說明	符號	說明
i	頻率識別號(i=1或2)	$d_{trop}$	對流層遲滯，單位為公尺
P(Li)	虛擬距離觀測量，單位為公尺	$d_{ion/Li}$	Li 電離層遲滯，單位為公尺
$\Phi(Li)$	載波相位觀測量，單位為公尺	$\lambda_i$	Li 波長，單位為公尺
$\rho$	真幾何距離，單位為公尺	$N_i$	Li 之整數週波未定值，單位為(cycle)
c	光速，單位(m/s)	$d_{multi/P(Li)}$	虛擬距離觀測量之多路徑效應，單位為公尺
dt	衛星鐘誤差，單位(s)	$d_{multi/\Phi(Li)}$	載波距離觀測量之多路徑效應，單位為公尺
dT	接收儀鐘誤差，單位(s)	$\varepsilon$	觀測之雜訊，單位為公尺
$d_{orb}$	衛星軌道誤差，單位為公尺	f	頻率

為消除電離層之遲滯誤差，上述觀測方程式，可使用無電離層誤差之線性組合，2-3式為使用電碼(code)，2-4式為使用載波(phase)觀測的線性組合：

$$\begin{aligned}
 P &= \frac{f_{L1}^2}{f_{L1}^2 - f_{L2}^2} P(L_1) - \frac{f_{L2}^2}{f_{L1}^2 - f_{L2}^2} P(L_2) \\
 &= \rho - c(dt - dT) + d_{trop} + d_{multi/P(L_1, L_2)} + \varepsilon(P(L_1, L_2))
 \end{aligned} \tag{2-3}$$

$$\begin{aligned}
 \Phi &= \frac{f_{L1}^2}{(f_{L1}^2 - f_{L2}^2)} \Phi(L_1) - \frac{f_{L2}^2}{(f_{L1}^2 - f_{L2}^2)} \Phi(L_2) \\
 &= \rho - c(dt - dT) + d_{trop} + \frac{f_{L1}^2 \lambda_{L1} N_{L1} - f_{L2}^2 \lambda_{L2} N_{L2}}{f_{L1}^2 - f_{L2}^2} + d_{multi/\Phi(L_1, L_2)} + \varepsilon(\Phi(L_1, L_2))
 \end{aligned} \tag{2-4}$$



## 2.3 動態定位軟體與改正模式

### 2.3.1 PPP 計算方法

#### (1) Bernese 5.0 PPP

Bernese軟體為由瑞士伯恩大學天文研究所研發之GPS資料處理工具，於處理一般GPS觀測資料分成兩部份：分別為GPS觀測資料預處理與參數估計，流程如圖2-2所示。設定天線仰角3度，引入之衛星時錶資料間隔30秒，對流層參數設定為每30分鐘預估一筆。

本文使用之PPP處理流程，於資料預處理流程，共有六個步驟，依序為：PRETAB→ORBGEN→RNXSMT→RXOBV3→CODSPP→MAUPRP。說明如下：

1. 衛星軌道格式轉換(PRETAB)：將所下載的精確軌道格式轉換成Bernese軟體自訂格式表格檔。此轉換包含將軌道資訊由地固座標轉成慣性座標，轉換完成後之TAB檔供ORBGEN建立衛星標準軌道之用。
2. 建立GPS衛星標準軌道(ORBGEN)：以精密星曆為輸入檔，配合地球自轉參數、章動參數、地球固體潮、海潮、地位係數等，建立Bernese自訂的標準軌道格式。
3. 偵測週波脫落與觀測資料平滑化(RNXSMT)：使用線性組合檢核相位觀測資料L1,L2以及電碼觀測資料P1,P2之週波脫落。由Melbourne-Wuebbena線性組合檢核到週波脫落的觀測資料，會由無幾何距線性組合(L4)偵測相位資料週波脫落大小，最後使用無電離層線性組合L3偵測電碼資料的粗差，獲得由相位資料平滑化的電碼資料。
4. GPS觀測資料格式轉換(RXOBV3)：將RINEX標準格式之GPS觀測資料轉換成Bernese軟體自訂格式，並將GPS觀測資料分為電碼觀測量及相位觀測量。輸出結果包含.CZH .CZO .PZH .PZO四種檔案格式。
5. 單點定位(CODSPP)：以電碼觀測量進行單點定位、接收儀時鐘與GPS時同步，並將接收儀時鐘誤差寫入Bernese觀測資料。第一次運算解出初步電碼

6. 週波脫落偵測補償(MAUPRP)：為相位觀測量預處理，進行檢查相位觀測資料品質並標示粗差，週波脫落偵測與週波脫落補償。
7. 在參數估計方面，由程式GPSEST來執行。參數估計(GPSEST)：以相位觀測量進行相關參數之解算，輸出第一次對流層參數與相位定位成果動態座標，並產生殘差檔。
8. 統計粗差與資料編修檔(RESRMS)：在殘差檔裡偵測粗差，輸出粗差統計以及程式標記出的粗差資料編修檔。
9. 註記觀測品質較差的資料(SATMRT)：可使用Bernese產出之資料編修檔或使用者定義，註記粗差觀測資料使之不被繼續計算。
10. 產出最終成果動態座標(GPSEST)：產出最終相位定位成果動態座標。

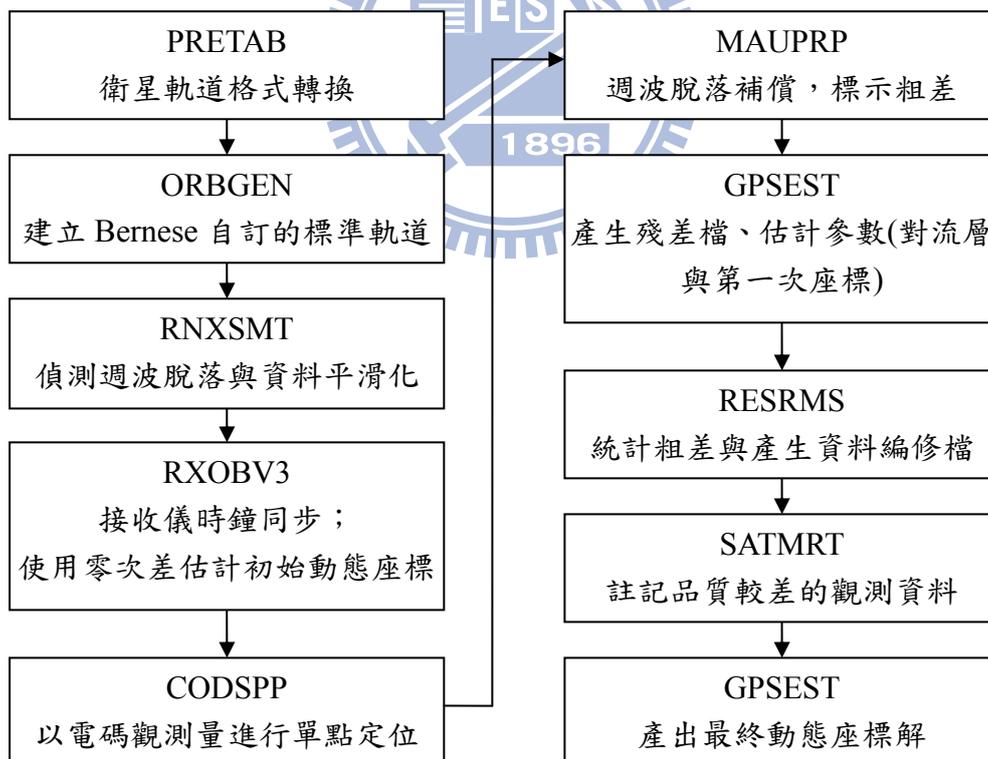


圖 2-2 Bernese PPP 流程簡圖

## (2) GRAFNAV PPP

GRAFNAV 為加拿大 Waypoint Consulting Inc. 公司 1992 年開始著手研發之 GPS 後處理定位軟體。本軟體的解算核心原理為 carrier phase kinematic (CPK) Kalman filter，而軟體所使用的 OTF 演算法稱為 Ambiguity Resolution (KAR)，軟體針對 KAR、靜態、快速靜態的三種定位需求模式，在解算週波未定值軟體可使用寬巷及窄巷線性組合求解。電離層組合則有 iono-free 以及另一針對空載等初始值離基站距離不遠的電離層解算替代模式。針對短、中、長基線動態定位，GRAFNAV 提供之參考精度表如表 2-2：

表 2-2 GRAFNAV 動態定位參考精度表(GRAFNAV brochure)

基線	基線長度(km)	單頻觀測	雙頻觀測
短	0~5	2 cm + 1 ppm*	2 cm + 1 ppm
中	5~35	5 cm + 4 ppm	5 cm + 2 ppm
長	35+	10 cm + 4 ppm	10 cm + 2 ppm

\* No loss of lock

### 2.3.2 動態差分計算方法

#### (1) Bernese KRP

在測站動態差分資料預處理流程，共有六個步驟，各步驟對應於使用的程式，依序為：RNXSMP→RXOBV3→CODSPP→SNGDIF→MAUPRP。流程如圖 2-3 所示。說明如下：

1. 偵測週波脫落與觀測資料平滑化(RNXSMT)：使用線性組合檢核相位觀測資料L1,L2以及電碼觀測資料P1,P2之週波脫落。由Melbourne-Wuebbena線性組合檢核到週波脫落的觀測資料，會由無幾何距線性組合(L4)偵測相位資料週波脫落大小，最後使用無電離層線性組合L3偵測電碼資料的粗差，獲得由相位資料平滑化的電碼資料。

2. GPS觀測資料格式轉換(RXOBV3)：將RINEX標準格式之GPS觀測資料轉換成Bernese軟體自訂格式，並將GPS觀測資料分為電碼觀測量及相位觀測量。輸出結果包含.CZH .CZO .PZH .PZO四種檔案格式。先轉換固定站觀測資料、再轉換平滑化處理之動態觀測座標。
3. 單點定位(CODSPP)：以電碼觀測量進行單點定位、接收儀時鐘與GPS時同步，並將接收儀時鐘誤差寫入Bernese觀測資料。先進行固定站解算再進行動態觀測資料解算。
4. 組成一次差觀測量(SNGDIF)：由使用者輸入的GPS觀測資料來組成載波相位一次差差分資料。
5. 週波脫落偵測補償(MAUPRP)：為相位觀測量預處理，進行檢查相位觀測資料品質並標示粗差，週波脫落偵測與週波脫落補償。
6. 在參數估計方面，則由程式GPSEST來執行。參數估計(GPSEST)：以相位觀測量進行各相關參數之解算，輸出第一次對流層參數與相位定位成果動態座標，以及產生殘差檔。
7. 統計粗差與資料編修檔(RESRMS)：在殘差檔裡偵測粗差，輸出粗差統計以及程式標記出的粗差資料編修檔。
8. 註記觀測品質較差的資料(SATMRT)：可使用Bernese產出之資料編修檔或使用者定義，註記粗差觀測資料使之不被繼續計算。
9. 求解週波未定值(GPSEST)：使用QIF(Quasi ionosphere free)求解出L1及L2週波未定值。
10. 產出最終成果動態座標(GPSEST)：組成無電離層觀測量L3，使用L1及L2所產出的週波未定值代入無電離層效應觀測方程式，產出最終相位定位成果動態座標及對流層參數。

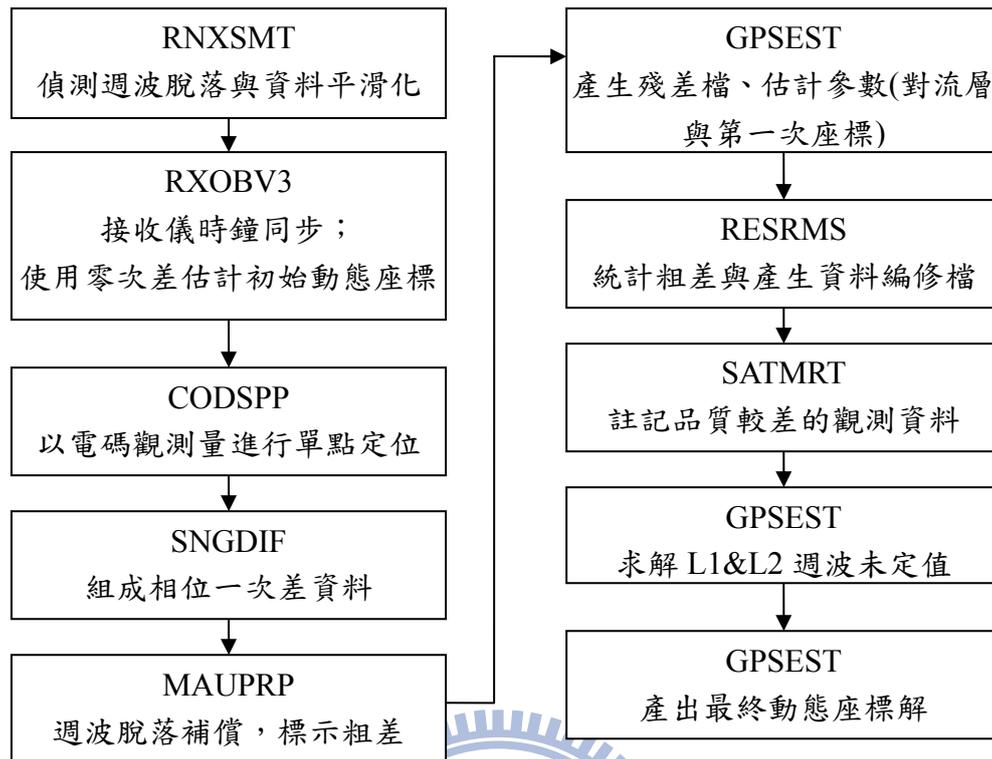


圖 2-3 Bernese 動態差分流程簡圖

## (2) TRACK 基線計算方法

TRACK 為由麻省理工學院研發之 GAMIT 動態 GPS 定位模組。進行動態定位的解算成功率與基站的數量以及與待測點距離有關。由於基線距離越長，受距離影響的誤差就會益發顯著。小於十公里的短基線，由於距離接近，差分處理後電離層與對流層誤差可視為趨近於零，而 L1 與 L2 亦可分別求解週波未定值。對於超過百公里的基線，TRACK 使用 Melbourne-Wubena wide lane 進行 L1-L2 求解。本軟體使用 "relative-rank" 演算法，使用 Chi-squared 訂定最佳的 L1 及 L2 的整數週波未定值，並與下一個最佳解作比較，選定最佳值。Chi-squared 的計算由以下三種決定：LC 線性組合的解、MW-WL average value 寬巷平均值的解以及電離層延遲最接近零的解。

本軟體於 Linux 系統下操作，使用 command file 進行處理程序，使用者輸入觀測檔、下載之精密星曆、天線型號、基準站坐標、大氣模式選定...等。

由TRACK計算本實驗區全區資料，以日為單位，得每日之海水面高、天頂距大氣延遲量(Zenith total delay, ZTD)、以及軟體內部精度RMS。由天頂距大氣延遲誤差量可以判斷解算合理與否，對流層延遲誤差其乾延遲是由空氣中乾燥氣體所造成，在天頂方向造成的延遲量約2.3 m，約佔對流層總延遲量90%，乾空氣密度會隨其表面壓力改變而變化，由於其變化較為平緩穩定，可藉由量測大氣的溫度、溼度、壓力將此部份延遲量模式化求得；而溼延遲部份則是與大氣的水氣分壓有關，由於水氣會隨著時間與空間高度的變化，因此無法利用模式準確的估計，在溼度較高的區域溼延遲量可高達35 cm (Bevis et al.,1992) 故若解算出對流層延遲量介於2~3米、軟體內部精度RMS介於2~4公分，則可將該成果視為合理解，如圖2-4 與2-5 所示，少部分天數RMS震盪過大，研判為資料品質不佳。圖2-4 至圖2-6 分別為基隆、小琉球、綠島各選一天的解算情況，基隆地區以內政部陽明山衛星追蹤站為基站，小琉球地區以內政部墾丁衛星追蹤站為基站，綠島地區以內政部太麻里衛星追蹤站為基站，其中圖2-6 所挑選的綠島結果ZTD與RMS皆不佳，與PPP解算不佳的天數吻合。

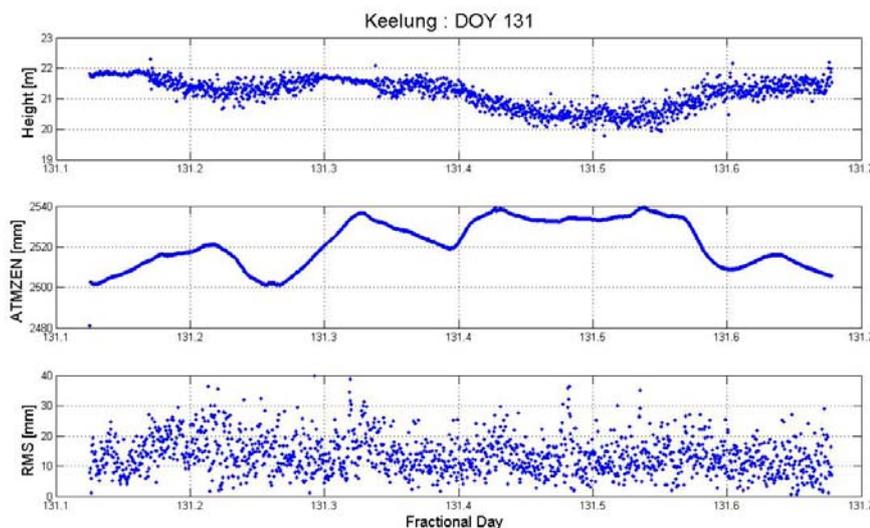


圖 2-4 TRACK 解算基隆測區 2007 DOY131 之橢球高、天頂距對流層延遲量、軟體內部精度

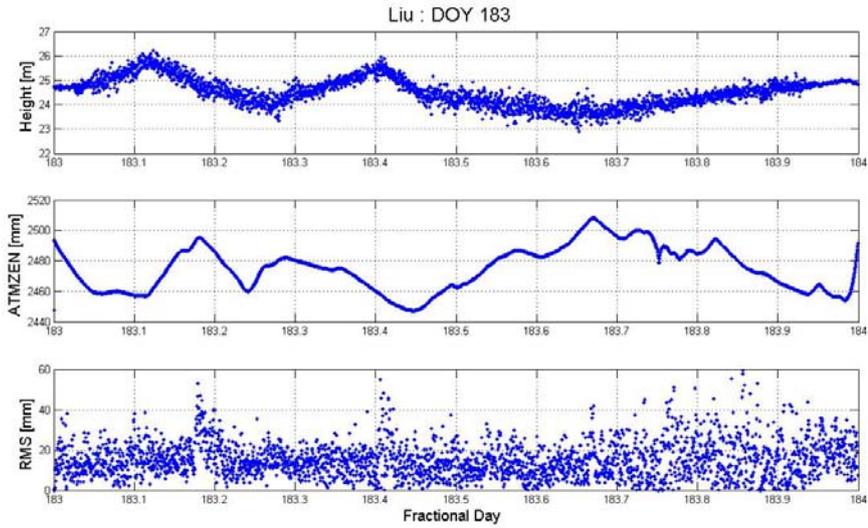


圖 2-5 TRACK 解算小琉球測區 2007 DOY183 之橢球高、天頂距對流層延遲量、軟體內部精度

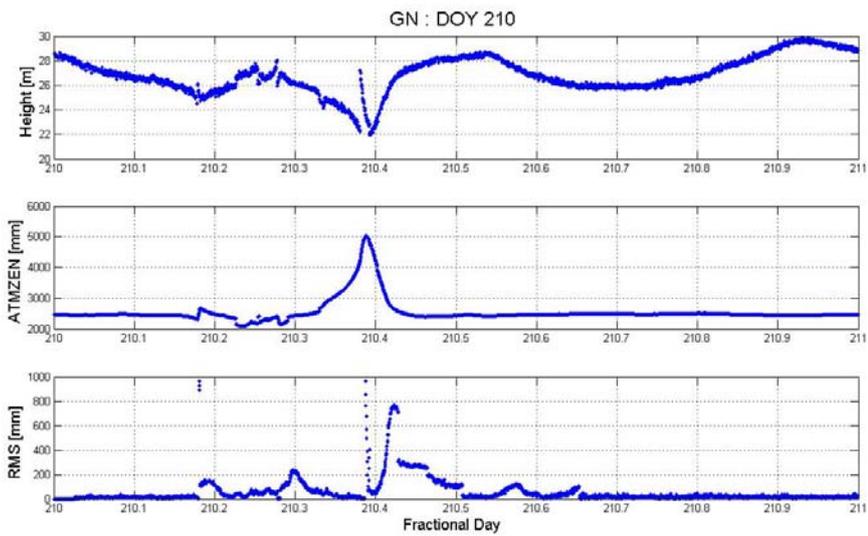


圖 2-6 TRACK 解算綠島測區 2007 DOY210 之橢球高、天頂距對流層延遲量、軟體內部精度，其中對流層延遲量超過三米、內部精度 RMS 亦有明顯跳動，顯示該日解算品質不佳

### 2.3.3 海潮改正模式

National Astronomical Observatory in Japan 研製短週期海潮模型 NAO.99b 及 NAO.99Jb，分別為全球性以及區域性海潮模型。NAO.99b 為全球性模型，涵蓋範圍由經度  $0^{\circ}$ - $360^{\circ}$ ；北緯  $90^{\circ}$ -南緯  $90^{\circ}$ ，解析度  $0.5$  度，為結合五年的 TOPEX/POSEIDON 測高儀之海潮資料(cycle 9-198)以及水文動力模型之產物；而 NAO.99Jb 為一日本區域性模型，以全球潮汐模式 NAO.99b 結合 TOPEX/POSEIDON 資料，提供 2N2, J1, K1, K2, L2, M1, M2, MU2, N2, NU2, O1, OO1, P1, Q1, S2, T2 共 16 個分潮。在日本附近海域(東經  $110^{\circ}$ ~ $165^{\circ}$ ；北緯  $20^{\circ}$ ~ $65^{\circ}$ ，包含臺灣地區)結合日本沿岸驗潮站同化資料，發展 NAO.99Jb 模式，其空間解析度為 5 分，其中提供 16 個分潮調和常數，並以 Matsumoto et al. 編撰的電腦程式完成 16 個分潮調和常數的載入(Matsumoto et al., 2000)。本研究使用 NAO.99Jb 模型進行海潮改正。然於不同的參考文獻當中發現與岸邊驗潮站所蒐集之潮位資料結合，也是常見的海潮改正方法之一(Foster, 2009; Bonnefond, 2003)。

### 2.3.4 固體潮改正模式

太空中攝動天體(如月球、太陽)對彈性地球的引力作用，會使地球表面產生週期性漲落的現象，稱為固體潮現象。在地球地心與攝動天體之連線方向上會被拉長，而連線垂直方向則趨於扁平。此現象對地表面之影響包含長期性偏移以及週期性偏移，前者與緯度有關，後者由日週期和半日週期組成。若靜態觀測一天，週期性偏移之影響大部分都可平滑消除，可觀測到的位移量可達約 40 公分(Lambeck, 1988)，長期性偏移無法短時間觀測消除，即使進行長時間觀測，殘餘誤差最多仍可達 10 公分左右，在相對定位方法中，一百公里以內的基線二測站固體潮影響可視為一致，可以差分方法消除，對精密單點定位而言則需透過改正模式消除固體潮影響(Parkinson and Spilker, 1996)，本實驗於動態站部份主要是使用 Bernese 產出之隱含有固體潮改正結果進行成果分析，然亦有在靜態站測試環節使用 Dehant V. 參考 IERS2003(Watson, 2003)所編撰固體潮模型 solid.exe 進行固體

潮改正，測試經固體潮改正後成果有無提升。

### 2.3.5 濾波

在船行速度較高的情況下，對海水面高訂定有5~10公分甚至更高的誤差可能產生，但在船速低於3 m/s情況下，行進速度對海面高訂定的影響小於一公分 (Bonfond, 2003)，本研究航行船速控制在3 m/s左右，故船速對海面高影響忽略不計。但針對風浪等環境誤差，研究中所有計算出的海面高資料使用 Gaussian filter 進行濾波，使用離選定資料越近而權重越重的加權方法平滑化所有資料，以期平滑化後能夠消除船行進間姿態角因風浪影響而擺幅過大等高頻誤差。實驗使用60秒以及120秒罩窗進行濾波，並比較交叉點分析之海水面高精度，由於實驗發現120秒罩窗所得海水面高精度比60秒罩窗於平差後RMS值改善約一公分，於是選定為處理本次實驗資料的罩窗大小。以120秒為例，濾波完的海水面高資料，可保持波長長度大於400米的訊號以進行資料分析。

### 2.3.6 船隻吃水深變化

其餘改正，例如船隻吃水深變化，建議可於未來相關研究引入，以加強定位精度提升。由於船隻自港口啟航後，行進之間的油料減損會造成船隻逐漸上浮，對於垂直方向的定位會有一線性變化，而需要進行改正。在本實驗中使用平差方法吸收此項線性變化，平差模式於下一小節進行討論。

### 2.3.7 平差模式

假設在第  $q$  條航線上，第  $r$  點的觀測量為  $g_r^q$ ，由於儀器本身的系統誤差、觀測時環境變化等因素，故觀測量在每條航線上存在著誤差量  $\delta g_r^q$ ，包括偏差值 (bias) 與漂移值 (drift)，如圖 2-7。

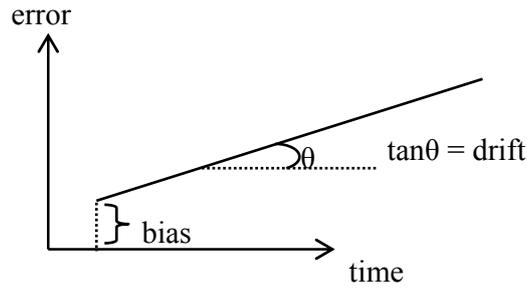


圖 2-7 航線系統誤差量偏差值(bias)與漂移值(drift)示意圖

則觀測量  $g_r^q$  可如2-5式表示

$$g_r^q = g_r^q + \delta g_r^q \quad (2-5)$$

其中  $\delta g_r^q$  為因 bias 和 drift 所引起的誤差，依圖2-7所示，將  $\delta g_r^q$  表示為

$$\delta g_r^q = a^q + b^q t_r^q \quad (2-6)$$

其中  $a^q, b^q$  分別為第q條航線上的bias和drift， $t_r^q$  為第r點上的觀測時間減去航線起點起算之時間。利用此數學模式，則我們可決定兩航線K, L的交叉點差異量P為

$$\begin{aligned} x_p^{kl} &= \delta g_p^k - \delta g_p^l \\ &= a^k - a^l + b^k t_p^k - b^l t_p^l \end{aligned} \quad (2-7)$$

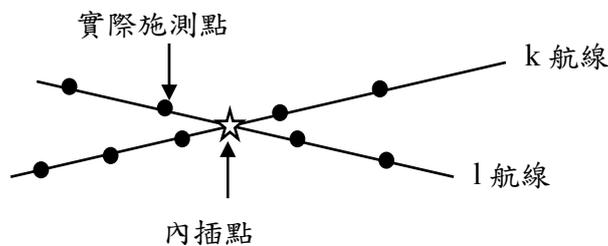


圖 2-8 實測點與內插點示意圖

由於兩航線的交叉點不一定就是實測點，比較時先內插至兩航線的內插點上，如圖2-8所示。根據(2-8)式可組成觀測方程式，對單一觀測量，吾人得

$$v_p^{kl} + x_p^{kl} = a^k + b^k t_p^k - a^l - b^l t_p^l \quad (2-8)$$

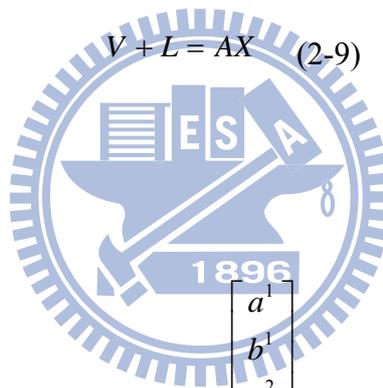
$$k = 1, 2, \dots, i;$$

$$l = 1, 2, \dots, m;$$

$$p = 1, 2, \dots, n;$$

其中*i+m*為航線數，*n*為交叉點數。(2-8)可寫為矩陣形式

其中

$$V + L = AX \quad (2-9)$$


$$X = \begin{bmatrix} a^1 \\ b^1 \\ a^2 \\ b^2 \\ \vdots \\ a^i \\ b^i \\ a^j \\ b^j \\ \vdots \\ a^m \\ b^m \end{bmatrix}$$

第*k*與*l*條航線在設計矩陣中的列向量為

$$A_p^{ij} = \begin{bmatrix} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 \dots 0 & 1 & t^i \dots 0 & \dots 0 & -1 & -t^j & 0 \dots 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix}$$

X矩陣即為各交叉點上的bias以及drift值。(黃金維, 2009)



## 第三章 船載重力計劃之GPS資料計算

### 3.1 研究區域簡介

#### 3.1.1 施測範圍、儀器、與測量船隻簡介

本研究施測範圍為基隆、小琉球、綠島三區。施測路線以 Bernese PPP 解算成果繪製出圖，如圖 3-1 所示，紅色線條為以 Bernese PPP 所解算出 1Hz 之基隆、小琉球、綠島地區船行軌跡圖；藍點為實驗所選之內政部國家衛星追蹤站，依圖上顯示由北到南依序為陽明山、太麻里、墾丁衛星追蹤站；綠點為實驗架設之 1Hz 臨時岸邊固定站，搭配測區及出海時段所架設，基隆有 KL01、KL02、KL04 共三次架點、小琉球有 LU01~LU05 共五次架點、綠島有 GN01~GN03 共三次架點，圖上綠點為各岸邊站分布位置。全區船測施測日期為 2007 年五月至八月期間，詳細施測時間如表 3-1 所示。所使用儀器為大地測量型 GPS 接收儀 LEICA SR530，天線型號 AT502 PILLAR，架設於船隻上之位置如圖 3-2 紅色圓圈所示，紅線為船行軌跡(取樣間隔一秒一筆)、藍點為實驗選用內政部衛星追蹤站(取樣間隔 30 秒一筆)、綠點為實驗架設之岸邊基準站(取樣間隔一秒一筆)。

表 3-1 本研究三區之觀測日期

測區	日期
基隆	2007/5/9 - 2007/6/20
小琉球	2007/7/1 - 2007/7/11
綠島	2007/7/19 - 2007/8/1

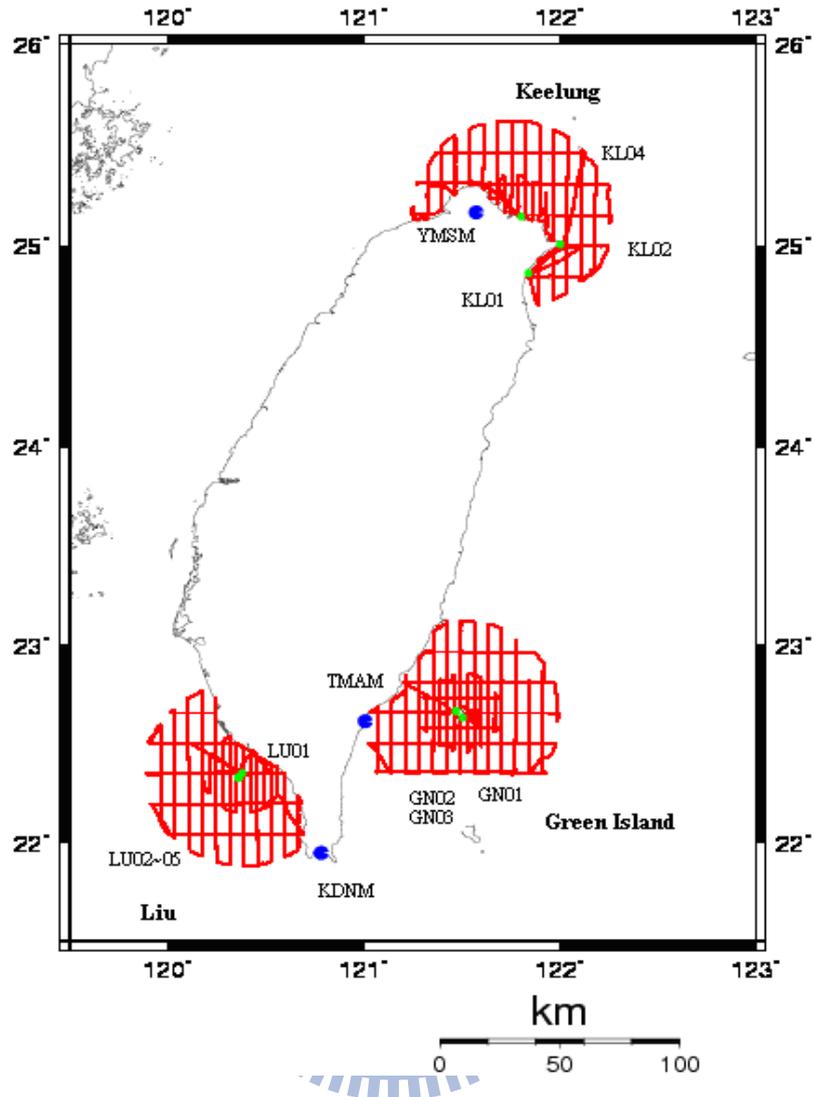


圖 3-1 本研究三區船行分布圖。紅色線條為 Bernese PPP 所解算出 1Hz 之基隆、小琉球、綠島船行軌跡圖、藍點為實驗選擇之內政部國家衛星固定站、綠點為實驗架設之臨時岸邊固定站

由於本次計畫施測範圍廣大、距離台灣本島或小琉球達50公里以上，考量船隻續航力、連續作業能力、船體穩定度及作業安全等因素，本次使用之測量船隻為CT2等級的金龍資39號漁船，船體諸元如表3-2所示。(張嘉強, 2006)

表 3-2 金龍資 39 號船體諸元表

項目	內容
船長(註冊尺度)	13.5 公尺
船寬(註冊尺度)	3.3 公尺
船體	F.R.P 船殼
噸位	總噸位 :14.98 噸 / 淨噸位:4.49 噸
動力	六缸柴油引擎，螺旋推進器
馬力	320 匹
油量	7173 公升
乘員	20 名
吃水深	1.4 公尺
航速	12 節(浬/時)

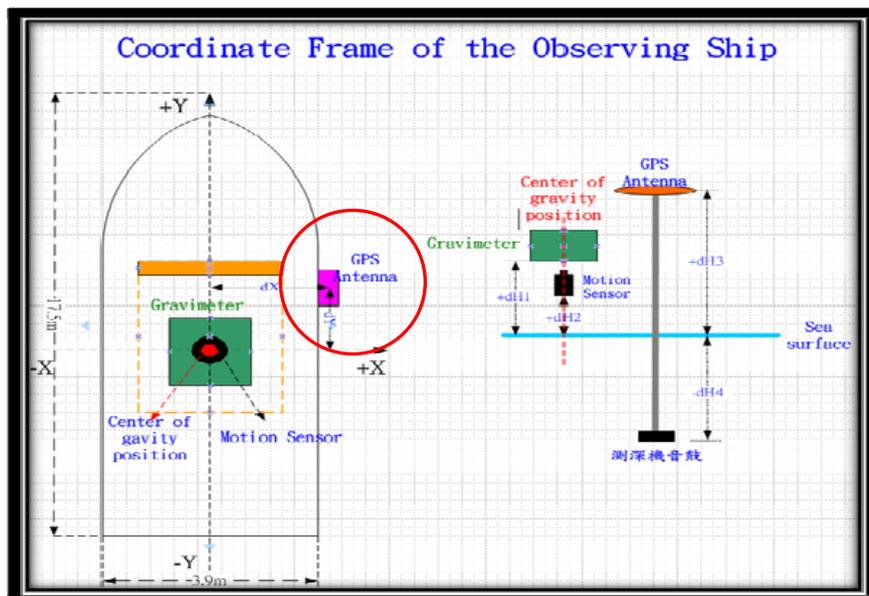


圖 3-2 實驗儀器架設於船隻之位置圖，紅色圓圈標示出 GPS 天線位置

### 3.1.2 施測與計算方法介紹

裝載 GPS 接收天線之航行船隻，在近似等速(一秒約三公尺)與海相穩定的情況下，GPS 天線至海水面的垂直距離透過量測而視為定值，GPS 天線安裝於船上的位置如圖 3-2 紅色圓圈所示，船載 GPS 接收儀接收每秒一筆之雙頻相位觀測量經計算獲得橢球高度，而透過天線垂距(視為常數)、海潮、固體潮等改正後，將可以獲得與衛星測高相當性質的 SSH。

本文使用精密單點定位以及動態基線解算方法，GPS 整體資料處理流程如圖 3-3 所示。PPP 使用瑞士伯恩大學研發之 GPS 資料處理工具 Bernese 5.0 軟體及 Waypoint 研發之 GRAFNAV；動態基線解的部份則使用 TRACK、Bernese、GRAFNAV 軟體。解算的結果共有三個部分：(1) 固定站使用動態流程解算之靜態定位結果；(2) 船隻經緯度位置、海水面高程值之精密單點定位結果；以及(3) 船隻經緯度位置、海水面高程之動態差分定位結果。GPS 之解算成果以 WGS84 座標系統為基準，轉換至 ITRF 參考框架。

所有動態 GPS 解算完畢後，成果檔皆依序進行資料處理。處理流程如圖 3-4 所示。依序為繪製船行軌跡、依時刻萃取南北向或東西向軌道並編號、所有資料以 120 秒單窗濾波、使用 NAO.99Jb 海潮改正模式對海水面高程值進行潮位改正、繪製沿軌跡之海水面高；接著在分析部份，使用交叉點分析程式得到交叉點上的差異值統計表並繪圖產生交叉點差異值分布圖；另外一個分析為與 DNSC08 平均海水面模型比較海水面高差異值，並繪出沿軌跡方向的海水面高差異值分布圖。

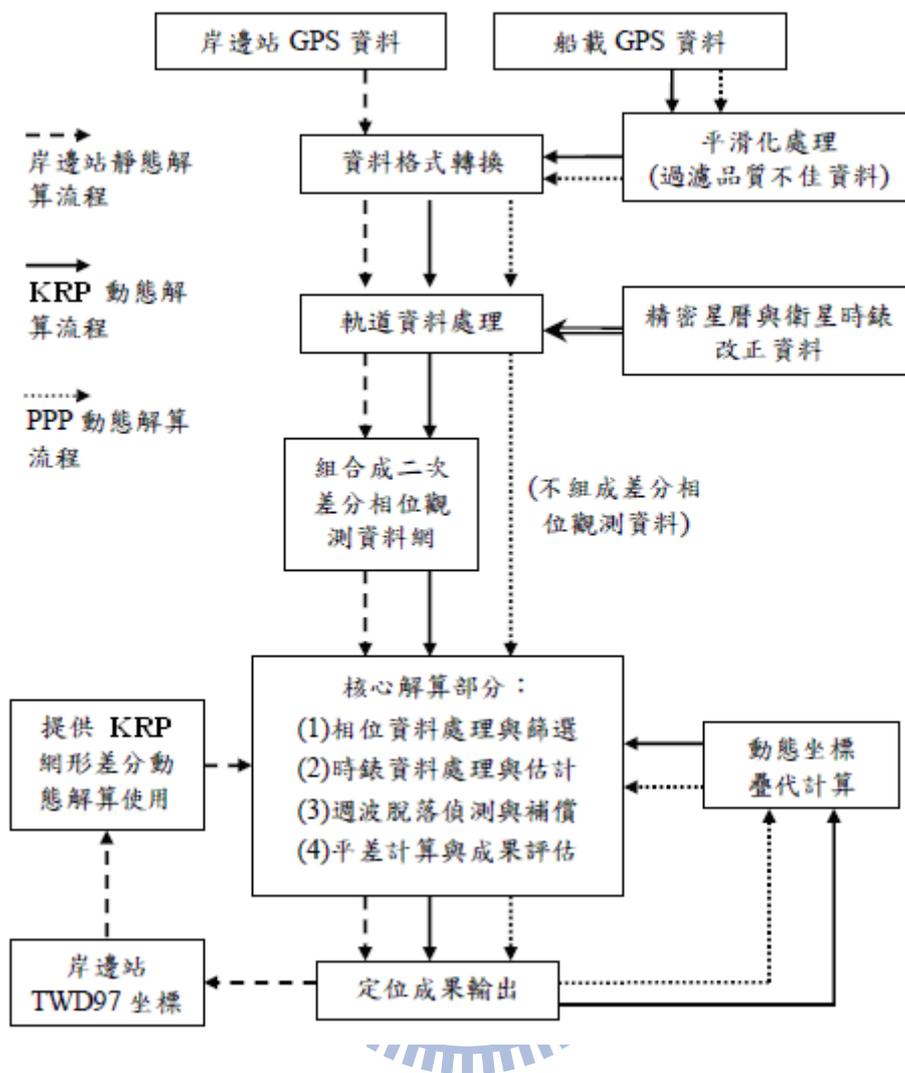


圖 3-3 GPS 資料處理流程(陳逸如、陳國華, 2009)

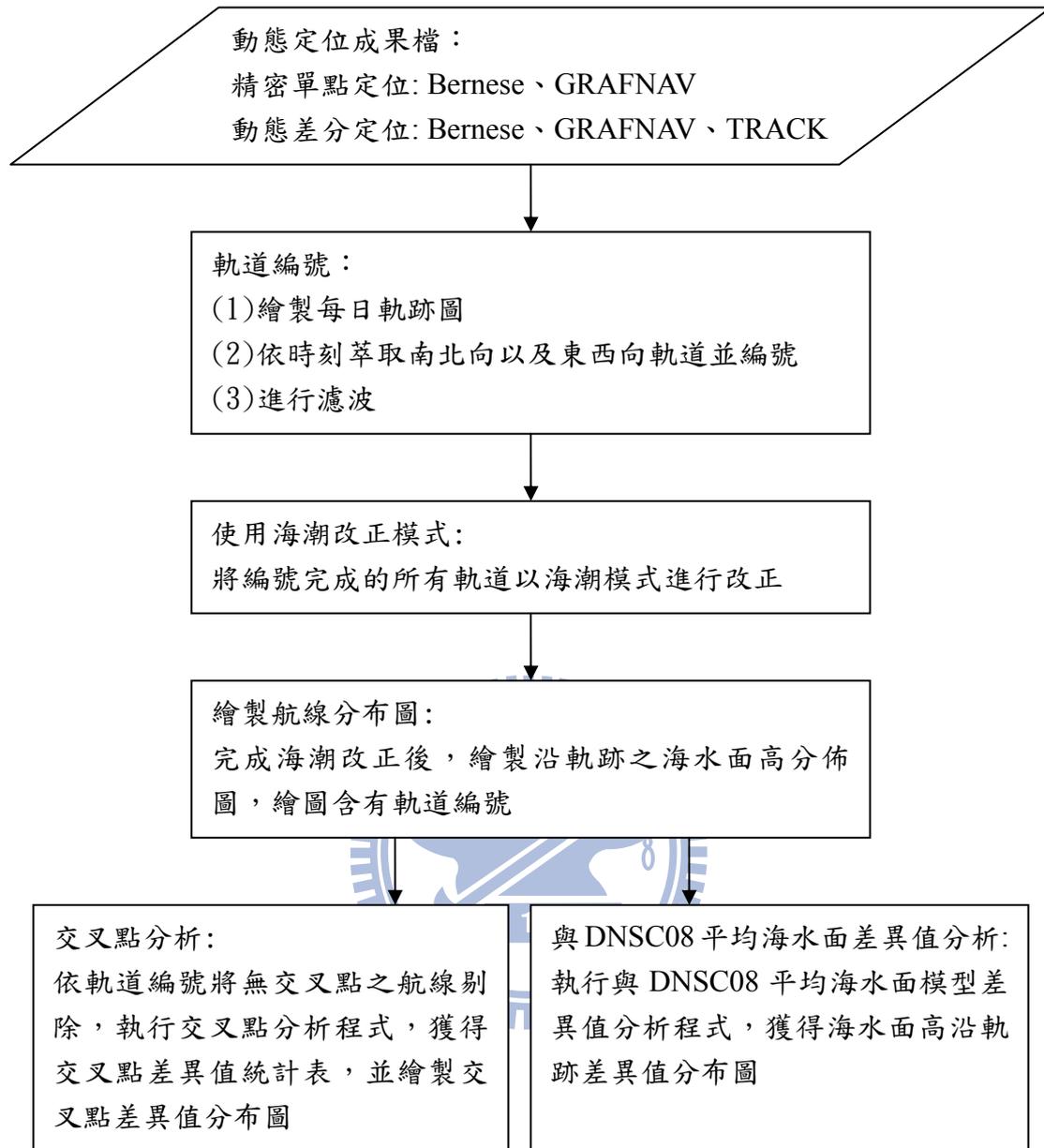


圖 3-4 GPS 動態定位成果產出後所使用之改正模式及精度分析流程

### 3.2 GPS 船載海面高測量

船載測高與衛星測高的目的一致，主要為測定海洋大地水準面與海洋地形等資訊。如圖3-5 所示，衛星測高的原理為應用衛星測高儀取得瞬間海水面至衛星之間的高度，在選定一固定的參考橢球體之後，經過海潮改正，則可以獲得海水

面與參考橢球體之間的海面高度(SSH)，應用此海面高度以及海洋大地水準面之模式，即可以推算海洋地形(sea surface terrain, SST)，如(3-1)式所示：

$$SST = SSH - N \quad (3-1)$$

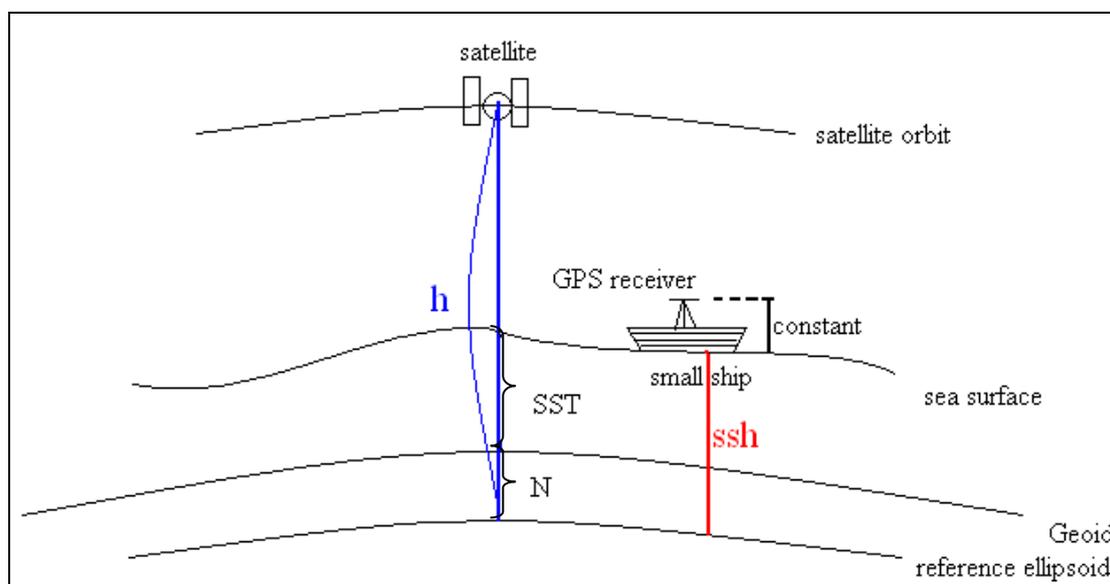


圖 3-5 船載海面高測量與衛星測高原理圖

其中， $N$  為大地起伏值(undulation)。

裝載GPS接收天線之航行船隻，在近似等速與海象穩定的情況下，GPS天線至海水面的垂直距離可近似視為定值，船載GPS獲得的橢球高度，經過天線垂距(視為常數)、海潮、固體潮等改正後，將可以獲得與衛星測高相當性質的SSH。顯而易見地，應用船載GPS資料測定海面高度的首要關鍵為GPS橢球高的定位精度，如何獲得高品質的GPS高程動態定位結果，乃為船載測高面臨的一項挑戰，除此之外，海潮與固體潮修正模式的精度亦為深具影響的因素。由於衛星測高在近岸地區，雷達波的雜訊相對放大許多，導致近岸區域的測高品質不佳，船載測高則無此項問題。所以，若能獲得品質佳的船載GPS測高資料，對於近岸海面高度、海洋地形以及海洋大地水準面等精度的提升，將有大幅的幫助。

### 3.2.1 船載測高發展現況

Chadwell and Bock (2001)所提出之實驗結果，短基線GPS浮標測高經平滑化後RMS為2.4公分；Rocken et al. (2005)提出的實驗成果，使用長基線船載儀器RMS為10公分；Foster et al. (2009)所提出之實驗結果，使用TRACK解算1Hz GPS資料之基線解海面高結果，與tidal signal比較RMS為9.3公分，使用濾波五分鐘達8.3公分；與model SSH做比較RMS 56公分，使用五分鐘濾波單窗RMS達16.1公分；與model SSH做比較並引入驗潮站潮位資料改正RMS 69公分，使用五分鐘濾波單窗RMS達13.3公分。Bouin et al., (2009)提出的研究成果，使用GAMIT解算1Hz船載GPS資料之交叉點海面高差異量為10~14公分，以sea level anomalies, SLA改正後，相對於DNSC08所得RMS 27.3公分，相對於EGM08 21.1公分。相關文獻整理如表3-3所示。

表 3-3 近期船載測高研究之海面高精度分析

案例	精度(公分)	經濾波或平滑化處理精度(公分)	參考資料
短基線 GPS 浮筒(buoy)研究		2.4	Chadwell and Bock, 2001
長基線船載研究設備	10		Rocken et al., 2005
1 Hz 船載GPS以動態基線解算海面高，相對於所量測到的海潮訊號為參考面	9.3	8.3	Foster et al., 2009
1 Hz 船載GPS以動態基線解算海面高，相對於一SSH模型為參考面	56	16.1	Foster et al., 2009
1 Hz 船載GPS以動態基線解算海面高，相對於一SSH模型為參考面以及使用驗潮資料改正	69	13.3	Foster et al., 2009

1Hz 船載 GPS 以動態基線 解算交叉點海面高差異量	10~14		Bouin et al., 2009
1Hz 船載 GPS 以動態基線 解算並以 SLA 改正，相對 於 DNSC08	27.3		Bouin et al., 2009
1Hz 船載 GPS 以動態基線 解算並以 SLA 改正，相對 於 EGM08	21.1		Bouin et al., 2009



## 第四章 船GPS動態定位精度分析

### 4.1 靜態定位測試

研究首先使用動態定位解算程序解算固定站之靜態座標，目的為試驗動態模組所能提供的最佳定位成果。由於座標的動態解算精度約為靜態的 2~3 倍，可由此預期動態定位解算精度以及軟體內部之解算穩定度。

本測試使用內政部陽明山衛星追蹤站YMSM、墾丁衛星追蹤站KDNM、太麻里衛星追蹤站TMAM所提供之RINEX觀測檔(取樣間隔為 30 秒)，選用與船載觀測日程有所重疊之 2007 年DOY 171，求解三站當日 24 小時之固定站座標。以Bernese PPP及TRACK KRP、Bernese KRP進行本次測試與比較，其中Bernese PPP無結合基站解算，而TRACK與Bernese基線解則各基準站結合另一基準站進行解算。固定站座標初始值為使用線上座標解算系統SOPAC ( Scripps Orbit and Permanent Array Center) data processing SCOUT 之成果 ( <http://sopac.ucsd.edu/cgi-bin/SCOUT.cgi> )。SOPAC位於加州大學聖地牙哥分校 (University of California, San Diego)，提供高精度GPS產品以供地震研究、板塊運動研究、板塊邊界變形研究、及氣象研究等。SOPAC亦是IGS主要的資料處理及分析中心之一，提供精密、超快速、快速、廣播星曆於IGS網頁，資料庫擁有分布全世界二十餘觀測網約 800 個二十四小時連續觀測的GPS基準站資料，其中約 250 個GPS基準站位於南加州。SCOUT為SOPAC所提供的線上座標解算系統，將待解之RINEX檔上傳至SCOUT所提供之FTP站，系統會依據檔頭座標自動選取與該站最接近的三個基準站聯合解算，亦可自行選取適當的基準站，SCOUT系統使用GAMIT處理軟體進行解算，解算完畢之成果檔會透過電子郵件寄送，依排程一個RINEX資料約十五分鐘可收到成果檔，座標以International Terrestrial Reference Frame 2005 (ITRF2005)及World Geodetic System 1984 (WGS84)表示，亦包含相對應的標準偏差值，由於可聯合解算之基準站資料庫龐大穩定且完

善，且擁有完全免費並快速獲得成果等優點，故於本研究中使用SCOUT提供較精準的初始站座標。

三固定站使用 Bernese PPP 靜態測試之 RMS 及 mean residual height 如表 4-1 所示，陽明山衛星追蹤站 RMS 為 0.084(m)、引入固體潮改正後 RMS 為 0.099 (m); mean residual height 為 0.063 (m) 、引入固體潮改正後 RMS 為 0.075(m); 墾丁衛星追蹤站 RMS 為 0.063(m)、引入固體潮改正後 RMS 為 0.088(m); mean residual height 為 0.051 (m) 、引入固體潮改正後 RMS 為 0.072(m)；太麻里衛星追蹤站 RMS 為 0.084(m)、引入固體潮改正後 RMS 為 0.092(m); mean residual height 為 0.065 (m) 、引入固體潮改正後 RMS 為 0.071(m)。

三固定站使用動態差分軟體「TRACK」及「Bernese」靜態測試之 RMS 及 mean residual height (m)如表 4-2。陽明山衛星追蹤站以墾丁衛星追蹤站為基準站，基線長度約三百三十公里，TRACK 解算之 RMS 值為 0.076(m)，Bernese 解算之 RMS 值為 0.082(m)、TRACK 解算之 mean residual height 值為 0.059(m)，Bernese 解算之 mean residual height 值為 0.045(m)；墾丁衛星追蹤站以太麻里衛星追蹤站為基準站，基線長度約 50 公里，TRACK 解算之 RMS 值為 0.036(m)，Bernese 解算之 RMS 值為 0.044(m)、TRACK 解算之 mean residual height 值為 0.028(m)，Bernese 解算之 mean residual height 值為 0.034(m)。

在動態差分流程中，TRACK KRP 定位精度較 Bernese KRP 為佳。而短基線比長基線有更佳的精度表現，映證動態基線解之誤差與基線長度相關。Bernese PPP 的定位精度不受基線長度影響，其定位精度與長基線近似約 6~8 公分，有替代長基線動態差分定位的潛力。

表 4-1 2007 年 DOY171 三固定站使用 Bernese PPP 靜態測試之 RMS 及 mean residual height (m)

station	RMS	RMS (solid earth tide correction)	Mean residual height	Mean residual height (solid earth tide correction)
YMSM	0.084	0.099	0.063	0.075
KDNM	0.063	0.088	0.051	0.072
TMAM	0.084	0.092	0.065	0.071

表 4-2 2007 年 DOY171 三固定站使用動態差分軟體「TRACK」及「Bernese」靜態測試之 RMS 及 mean residual height (m)比較表

Stations	Length of baseline	RMS (TRACK)	mean residual height (TRACK)	RMS (Bernese)	mean residual height (Bernese)
YMSM- KDNM	330 km	0.076	0.059	0.082	0.045
KDNM-TMAM	50 km	0.036	0.028	0.044	0.034

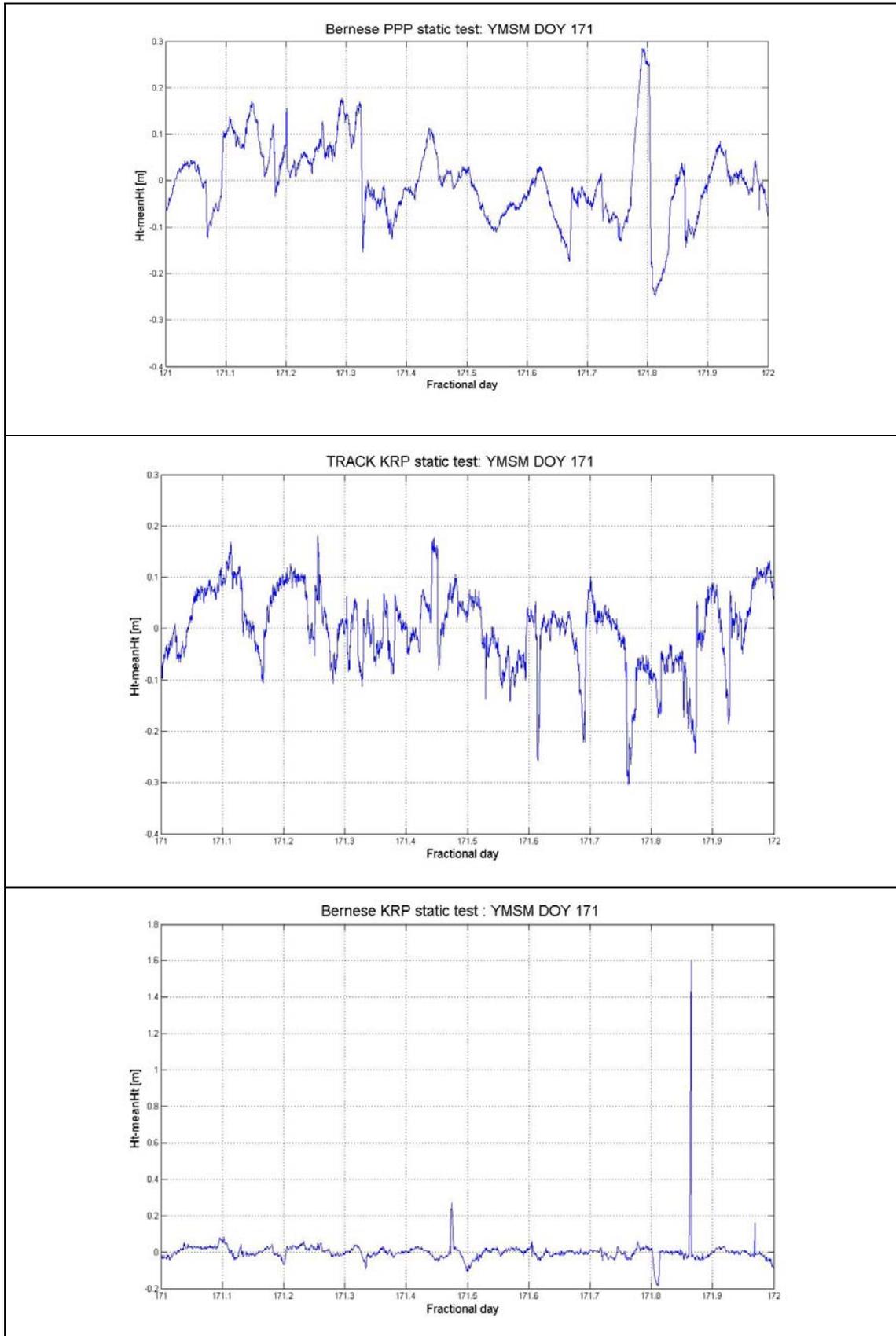


圖 4-1 2007 年 DOY171 陽明山 YMSM 站靜態定位測試 mean residual height，  
 基站為墾丁 KDNM 站，由上往下依序為 Bernese PPP、TRACK KRP、Bernese KRP

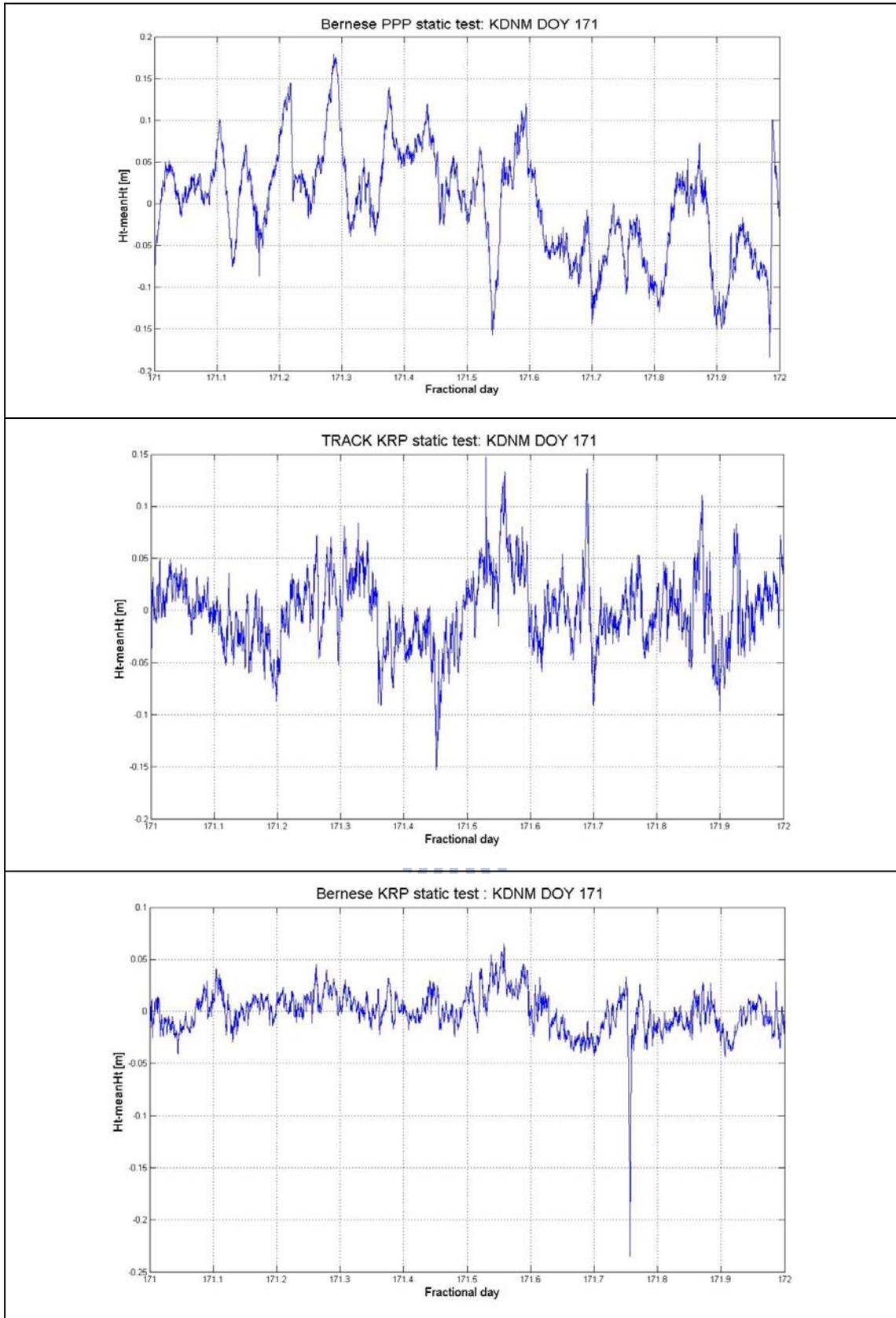


圖 4-2 2007 年 DOY171 墾丁 KDNM 站靜態定位測試 mean residual height，基  
 站為太麻里 TMAM 站，由上往下依序為 Bernese PPP、TRACK KRP、Bernese KRP

PPP 引入 Dehant V. 參考 IERS2003 編撰的固體潮改正程式 solid.exe 後，RMS 及 mean residual height 均變差。於引入此固體潮改正模式前，曾先測試軟體計算得出成果是否合理，實驗以陽明山國家基準站於 2009/1/1~2009/1/3 共三日，每十分鐘一筆，每 1440 分鐘為一日繪製固體潮改正量，如圖 4-3 所示。由於圖 4-3 每日固體潮漲落次數以及改正量數值大小合理，將固體潮引入至本研究陽明山國家基準站 DOY 171 靜態站測試，繪出未引入以及引入固體潮之高程值如圖 4-4，而引入的固體潮模型如圖 4-5。加入固體潮後精度變差，與加入固體潮後精度會提升的預期不符，由圖 4-4 分析資料解算穩定且未跳開的區段，其趨勢與圖 4-5 固體潮模型類似，推論為產出之資料隱含有潮位訊號(紫線)，在此情況下加入額外的固體潮改正導致精度更差(綠線)。若能將軟體內隱含的固體潮改正模式移除，再加入正確的固體潮模式，預期定位精度能夠再提升。

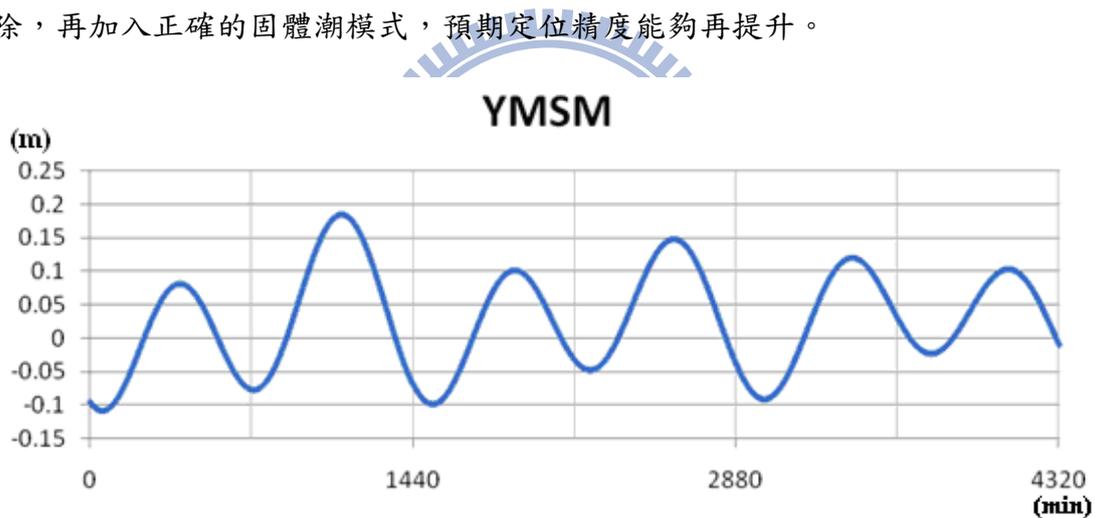


圖 4-3 固體潮模型於 2009/1/1~2009/1/3 共三天的固體潮改正量圖

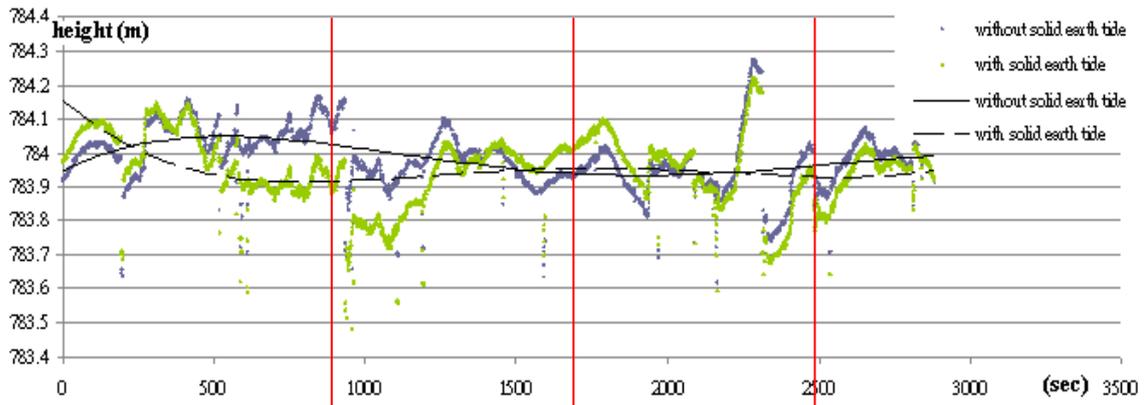


圖 4-4 2007 DOY171 陽明山基準站靜態測試成果，加入與未加入固體潮比較圖

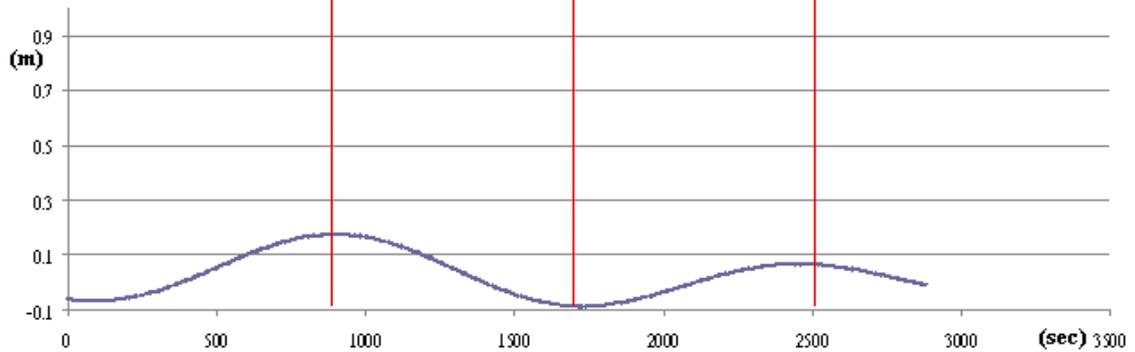


圖 4-5 圖 4-4 所引入的固體潮模型

## 4.2 交叉點分析

由於船載 GPS 動態定位為一連續點的測量，海面上並沒有固定之標點可進行重覆施測以評估其定位精度，只能藉由船行軌跡中，兩兩交叉航線交叉點的定位結果，進行差異值之分析。如圖4-6 所示，在A 航線與B 航線上，交叉點位置的定位結果應一致。本文進行交叉點分析時，引入NAO.99Jb海潮模式進行海潮改正，固體潮為Bernese內部修正，並以120秒為單窗進行濾波，比較交叉點位置上，兩航線定位高程結果的差異，以評估GPS定位成果精度，本研究將所解算出來的海面高進行交叉點分析，了解使用PPP及KRP各軟體所能達成的解算精度。

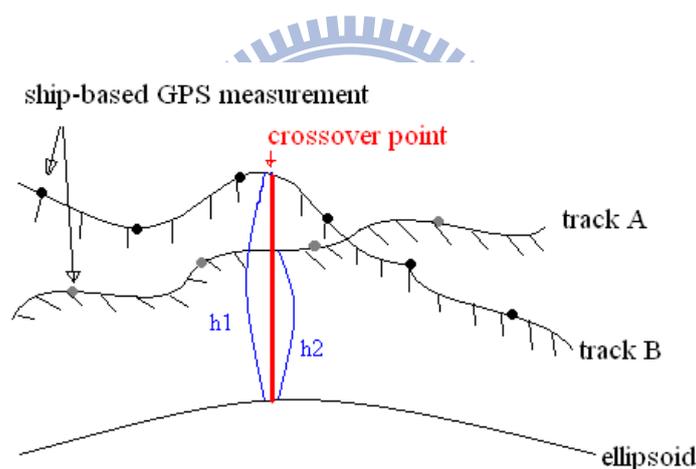


圖4-6 交叉點差異量分析示意圖

### 4.2.1 Bernese PPP 成果

Bernese PPP 之交叉點分析成果如圖 4-7 及表 4-3 所示。整體而言交叉點高程差異量平差後，RMS 值於基隆地區 1.8 公分、小琉球地區 13.6 公分、綠島地區 16.5 公分。

海潮改正之應用對於基隆地區於平差前無明顯提升，平差後 RMS 值則改善 2.5 公分：無海潮改正平差前 RMS 值為 0.448(m)、平差後為 0.043(m)；海潮改正後平差前 RMS 值為 0.477(m)、平差後 0.018(m)。於小琉球地區，使用海潮改正

對於精度提昇影響於平差前 RMS 值可改善約 10 公分、平差後精度改善約 3 公分：無海潮改正之平差前 RMS 值 0.538(m)、平差後 0.167(m)；海潮改正並濾波 60 秒平差前 RMS 值為 0.449(m)、平差後 0.136(m)；海潮改正並濾波 120 秒平差前 RMS 值為 0.431(m)，平差後 0.136(m)。於綠島地區使用海潮改正對於提升精度有更顯著的影響，於平差前 RMS 值可提升達約 25~35 公分、平差後精度改善約 2~3.5 公分：未海潮改正之平差前 RMS 值為 1.195(m)、平差後 0.207(m)；海潮改正並濾波 60 秒平差前 RMS 值為 0.901(m)、平差後 0.178(m)；海潮改正並濾波 120 秒平差前 RMS 值為 0.795(m)、平差後 0.165(m)；剔除不良軌跡平差前 RMS 值 0.277 (m)、平差後 0.089(m)。

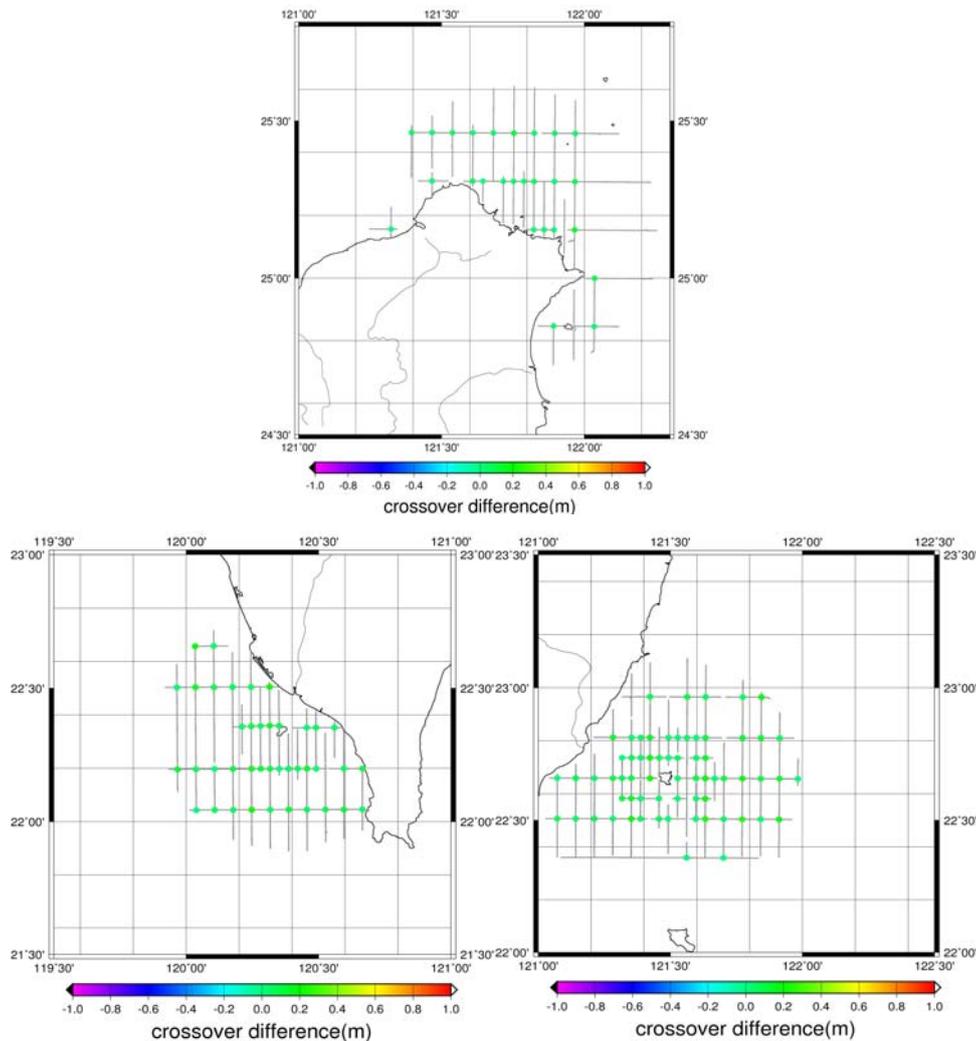


圖4-7 交叉點海面高差異分布圖(Bernese PPP結果)，上圖為基隆、左下圖為小琉球、右下圖為綠島

表 4-3 交叉點海面高差異統計表(Bernese PPP 結果)(單位：m)

<b>基隆</b>	Mean	std dev	max	min	RMS
無潮位改正(filter 120s) (平差前)	-0.163	0.425	0.610	-0.860	0.448
無潮位改正(filter 120s) (平差後)	0.000	0.043	0.120	-0.120	0.043
潮位改正(filter 120s) (平差前)	-0.205	0.438	0.980	-1.040	0.477
潮位改正(filter 120s) (平差後)	0.000	0.019	0.038	-0.038	0.018
<b>小琉球</b>	Mean	std dev	max	min	RMS
無潮位改正(filter 120s) (平差前)	-0.213	0.500	0.877	-1.520	0.538
無潮位改正(filter 120s) (平差後)	0.000	0.169	0.386	-0.395	0.167
潮位改正(filter 120s) (平差前)	0.011	0.436	1.737	-1.230	0.431
潮位改正(filter 120s) (平差後)	0.000	0.137	0.306	-0.339	0.136
<b>綠島</b>	Mean	std dev	max	min	RMS
無潮位改正(filter 120s) (平差前)	0.257	1.179	3.680	-1.930	1.195
無潮位改正(filter 120s) (平差後)	0.000	0.209	0.405	-0.936	0.207
潮位改正(filter 120s) (平差前)	0.194	0.777	2.400	-1.770	0.795
潮位改正(filter 120s) (平差後)	0.000	0.167	0.510	-0.822	0.165

#### 4.2.2 GRAFNAV PPP 成果

GRAFNAV PPP 之交叉點分析成果如圖 4-8 及表 4-4 所示。整體而言交叉點高程差異量平差後 RMS 值，於基隆地區 4.9 公分、小琉球地區 6.3 公分、綠島地區 16.3 公分。

交叉點高程差異量 RMS 值於基隆地區平差前為 0.154 (m)、平差後 0.049 (m)；於小琉球地區平差前為 0.166 (m)，平差後為 0.063 (m)；於綠島地區平差前約為 0.885(m)、平差後 0.163(m)。海潮改正已直接應用於三區。

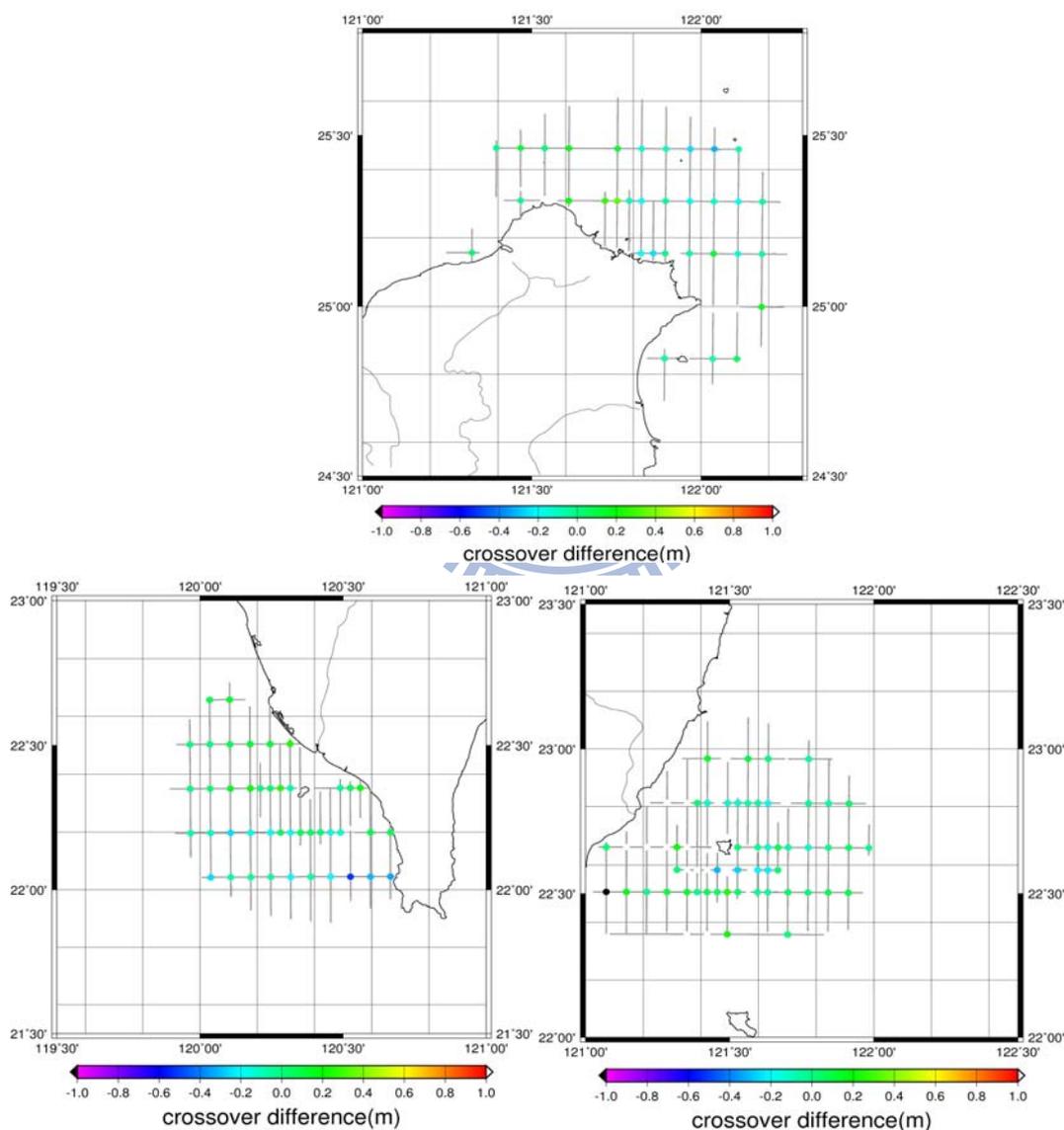
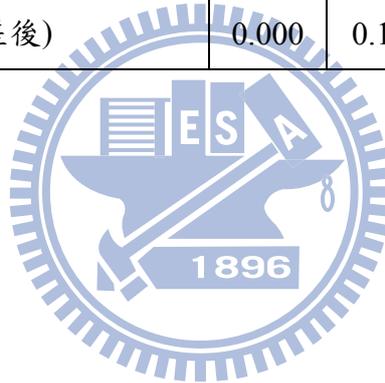


圖 4-8 交叉點海面高差異分布圖(GRAFNAV PPP 結果)，上圖為基隆、左下圖為小琉球、右下圖為綠島

表 4-4 交叉點海面高差異統計表(GRAFNAV PPP 結果)(單位：m)

<b>基隆</b>	Mean	std dev	max	min	RMS
潮位改正(filter 120s) (平差前)	-0.033	0.153	0.340	-0.320	0.154
潮位改正(filter 120s) (平差後)	0.000	0.050	0.135	-0.111	0.049
<b>小琉球</b>	Mean	std dev	max	min	RMS
潮位改正(filter 120s) (平差前)	-0.044	0.161	0.260	-0.520	0.166
潮位改正(filter 120s) (平差後)	0.000	0.064	0.167	-0.145	0.063
<b>綠島</b>	Mean	std dev	max	min	RMS
潮位改正(filter 120s) (平差前)	0.336	0.826	2.120	-1.910	0.885
潮位改正(filter 120s) (平差後)	0.000	0.164	0.428	-0.482	0.163



### 4.2.3 GRAFNAV KRP

GRAFNAV KRP 之交叉點分析成果如圖 4-9 及表 4-5 所示。交叉點高程差異量 RMS 值於小琉球地區平差前為 0.210 (m)，平差後為 0.047 (m)；於綠島地區平差前約為 1.041(m)、平差後 0.243(m)。海潮改正已直接應用於二區。基隆地區由於岸邊站資料品質問題，無法順利將全區求解。

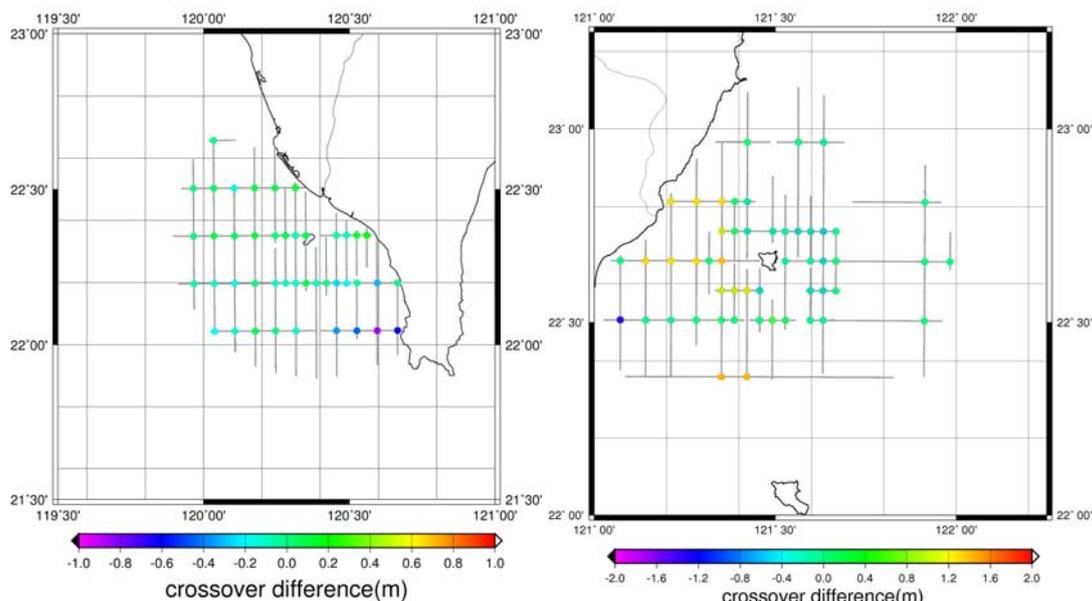


圖4-9 交叉點海面高差異分布圖(GRAFNAV KRP結果)，左圖為小琉球、右圖為綠島

表 4-5 交叉點海面高差異統計表(GRAFNAV KRP 結果)(單位：m)

小琉球	Mean	std dev	max	min	RMS
潮位改正 (filter 120s)(平差前)	-0.082	0.195	0.200	-0.850	0.210
潮位改正 (filter 120s)(平差後)	0.000	0.048	0.117	-0.118	0.047
綠島	Mean	std dev	max	min	RMS
潮位改正 (filter 120s)(平差前)	0.393	0.974	2.170	-1.980	1.041
潮位改正 (filter 120s)(平差後)	0.000	0.246	0.609	-0.757	0.243

#### 4.2.4 Bernese KRP 成果

Bernese KRP 之交叉點分析成果如圖 4-10 及表 4-6 所示。整體而言交叉點高程差異量平差後 RMS 值，於基隆地區 11.2 公分、小琉球地區 10.6 公分、綠島地區 37.1 公分。

交叉點高程差異量 RMS 值於基隆地區平差前為 0.432(m)、平差後 0.112(m)；於小琉球地區平差前為 0.808 (m)，平差後約為 0.106 (m)；於綠島地區平差前約為 0.879 (m)、平差後約 0.371 (m)。

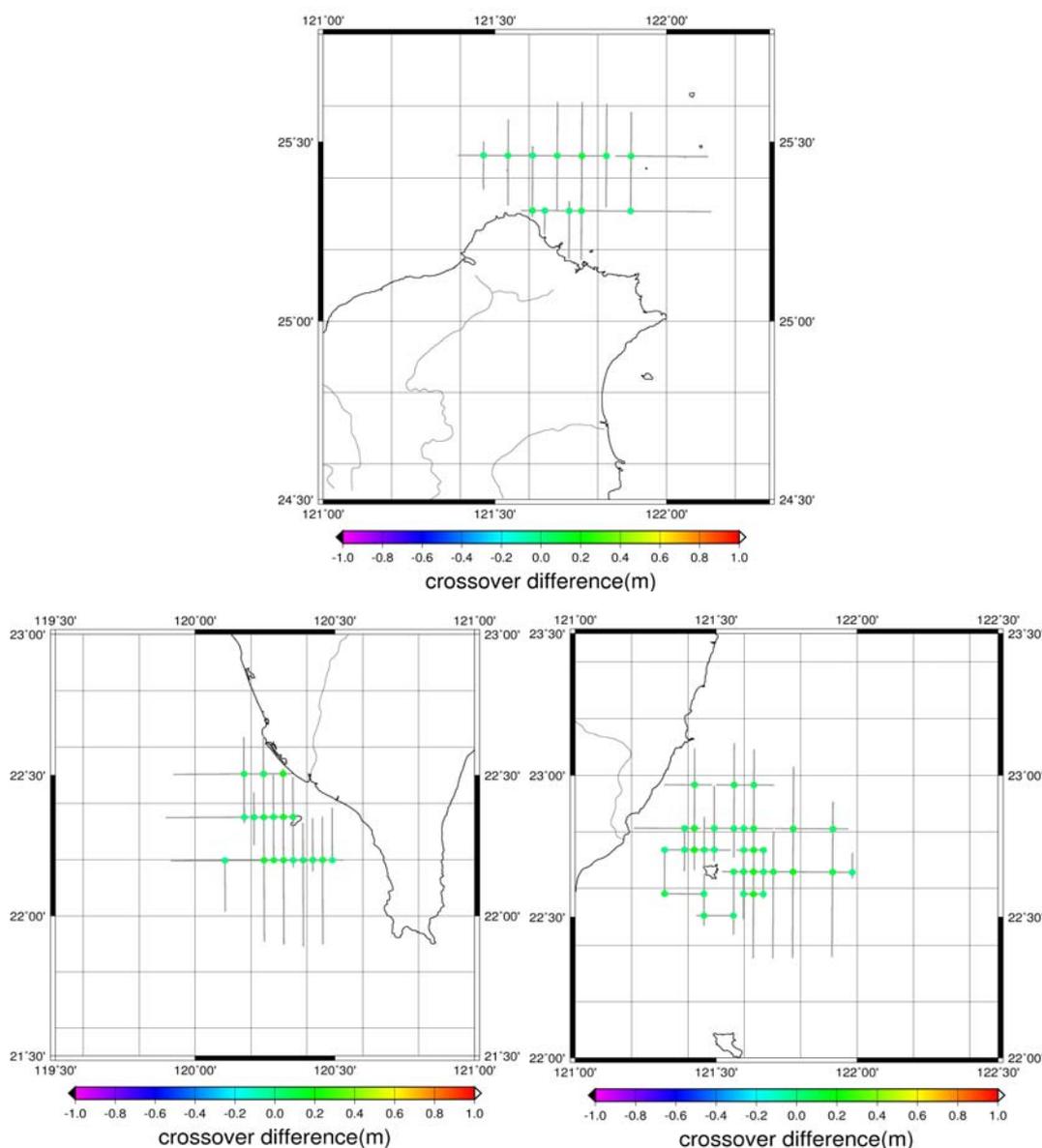


圖4-10 交叉點海面高差異分布圖(Bernese KRP結果)，上圖為基隆、左下圖為小琉球、右下圖為綠島

表 4-6 交叉點海面高差異統計表(Bernese KRP 結果)(單位：m)

基隆	Mean	std dev	max	min	RMS
潮位改正(filter 120s)(平差前)	-0.274	0.349	0.120	-0.810	0.432
潮位改正(filter 120s)(平差後)	0.000	0.116	0.254	-0.286	0.112
小琉球	Mean	std dev	max	min	RMS
潮位改正 (filter 120s)(平差前)	0.449	0.692	1.810	-0.660	0.808
潮位改正 (filter 120s)(平差後)	0.000	0.109	0.187	-0.187	0.106
綠島	Mean	std dev	max	min	RMS
潮位改正 (filter 120s)(平差前)	-0.093	0.887	2.285	-3.348	0.879
潮位改正 (filter 120s)(平差後)	-0.001	0.376	1.229	-1.008	0.371

#### 4.2.5 TRACK KRP 成果

TRACK 之基線解交叉點分析成果如圖 4-11 及表 4-7 所示。整體而言交叉點高程差異量平差後 RMS 值，於基隆地區 5.8 公分、小琉球地區 8.7 公分、綠島地區 10.9 公分。

海潮改正之應用對於基隆地區解算精度平差前 RMS 值約提升 7 公分、平差後提升 1.8 公分：未使用海潮改正平差前 RMS 值 0.746(m)，平差後 0.076(m)，使用海潮改正平差前 RMS 值 0.674(m)，平差後 0.058(m)。於小琉球地區，使用海潮改正提升 RMS 值於平差前可達約 30 公分、平差後改善約 5 公分：未海潮改正之平差前 RMS 值 0.513(m)、平差後 0.129(m)；海潮改正後平差前 RMS 值 0.199(m)，平差後 0.087(m)。於綠島地區使用海潮改正提升 RMS 值於平差前可達約 20 公分、平差後改善約 5 公分：未海潮改正之平差前 RMS 值 1.005(m)、平差後 0.163(m)；海潮改正後平差前 RMS 值為 0.797(m)，平差後 0.109(m)。

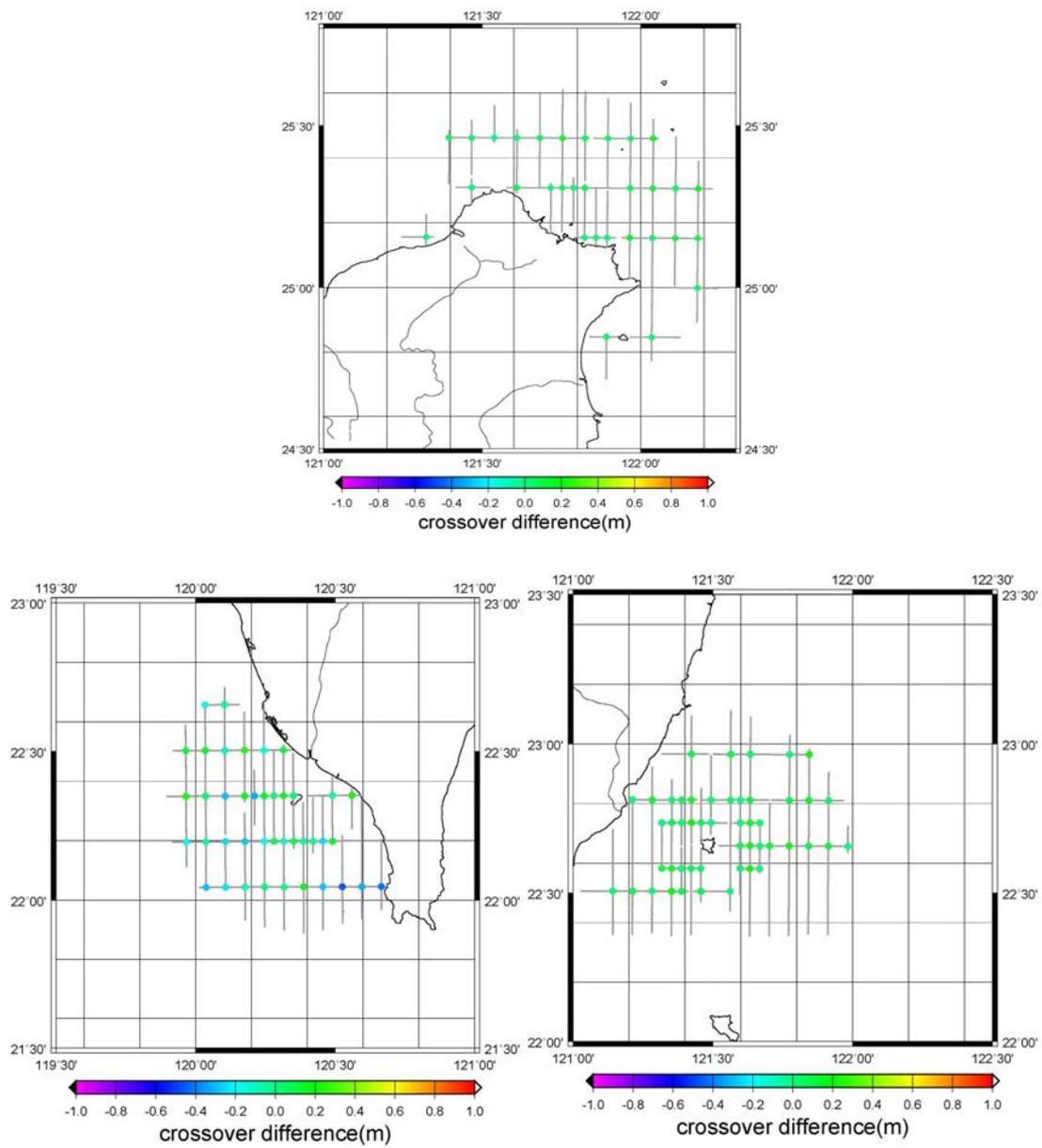


圖 4-11 交叉點海面高差異分布圖(TRACK KRP 結果)，上圖為基隆、左下圖為小琉球、右下圖為綠島

表 4-7 交叉點海面高差異統計表(TRACKKRP 結果)(單位：m)

<b>基隆</b>	Mean	std dev	max	min	RMS
無潮位改正(filter 120s) (平差前)	-0.427	0.622	1.008	-1.462	0.746
無潮位改正(filter 120s) (平差後)	0.000	0.077	0.194	-0.196	0.076
潮位改正(filter 120s) (平差前)	-0.482	0.479	0.646	-1.502	0.674
潮位改正(filter 120s) (平差後)	0.000	0.059	0.137	-0.149	0.058
<b>小琉球</b>	Mean	std dev	max	min	RMS
無潮位改正(filter 120s) (平差前)	-0.372	0.357	0.246	-1.264	0.513
無潮位改正(filter 120s) (平差後)	0.000	0.131	0.301	-0.404	0.129
潮位改正(filter 120s) (平差前)	-0.063	0.192	0.255	-0.458	0.199
潮位改正(filter 120s) (平差後)	-0.001	0.088	0.152	-0.188	0.087
<b>綠島</b>	Mean	std dev	max	min	RMS
無潮位改正(filter 120s) (平差前)	-0.257	0.982	1.907	-4.355	1.005
無潮位改正(filter 120s) (平差後)	0.003	0.165	0.516	-0.520	0.163
潮位改正(filter 120s) (平差前)	-0.225	0.772	0.339	-5.252	0.797
潮位改正(filter 120s) (平差後)	0.000	0.110	0.318	-0.278	0.109

#### 4.2.6 交叉點海面高差異討論

本研究使用的五種方法解算之海面高交叉點差異量的 RMS 值整理如表 4-8。

PPP 二種方法之精度，平差前以 GRAFNAV PPP 較 Bernese PPP 優，平差後二種方法等級相近，RMS 值可達約 2~16 公分。平差模式對定位精度有明顯提升，可改善交叉點上的誤差，使 Bernese PPP 平差後成果可應用於動態定位。

KRP 在 1Hz 時間解析度的解算模式下，基隆地區因實驗架設之岸邊站資料品質不穩定而影響解算，致使 GRAFNAV KRP 無法解算出足夠的航線，Bernese KRP 在此區透過岸邊站能夠解算出來的航線也相當破碎，若使用無基線的 PPP 就可避免解算受岸邊站資料品質不佳影響。小琉球地區 GRAFNAV KRP 交叉點 RMS 值可達約 5 公分，Bernese KRP 交叉點 RMS 值則約 11 公分，與 PPP 在小琉球地區 GRAFNAV 解算成果比 Bernese 為優的現象類似，Bernese 針對小琉球區資料解算不如 GRAFNAV 穩定。綠島地區 GRAFNAV 交叉點 RMS 值約 24 公分，亦比 Bernese 約 37 公分為佳。在上述解算中，岸邊站資料品質明顯影響解算，為了避免這個問題，在使用 TRACK 軟體解算時，選擇搭配品質更穩定的內政部國家衛星基準站資料進行解算，RMS 值為約 6~11 公分，解算成果穩定且解算出來的航線也完整，但 30 秒一筆的基準站無法展現 1Hz 資料高樣本數的優勢，所以若能結合 1Hz 且穩定的岸邊站進行解算，將會使動態基線解更為順利。

理論上，KRP 的誤差會被差分模式消除，成果會比 PPP 來得好，本研究在小琉球地區，GRAFNAV 及 Bernese 的成果都有展現 KRP 比 PPP 好的特質；以國家基準站 30 秒一筆解算出的成果，也展現 KRP 比 PPP 精度更佳的结果。基隆地區由於岸邊站資料品質問題，造成 KRP 解算航線較破碎，PPP 可順利將全區求解，有不受基站影響之優勢；而綠島地區 1Hz 的 KRP 同樣因為基準站資料品質以及航線上西邊資料品質問題使得精度不佳，PPP 不受岸邊站影響解算亦展現相對優勢。

表 4-8 五種解算方法解算出之海面高交叉點差異的 RMS 值 (單位：m)

軟體	是否 平差	基隆	小琉球	綠島
Bernese PPP 1Hz	否	0.477	0.431	0.795
	是	<b>0.018</b>	<b>0.136</b>	<b>0.165</b>
GRAFNAV PPP 1Hz	否	0.154	0.166	0.885
	是	<b>0.049</b>	<b>0.063</b>	<b>0.163</b>
GRAFNAV KRP 1Hz	否	N/A	0.210	1.041
	是	<b>N/A</b>	<b>0.047</b>	<b>0.243</b>
Bernese KRP 1Hz	否	0.432	0.808	0.879
	是	<b>0.112</b>	<b>0.106</b>	<b>0.371</b>
TRACK KRP 30sec	否	0.674	0.199	0.797
	是	<b>0.058</b>	<b>0.087</b>	<b>0.109</b>

#### 4.3 與平均海水面模式DNSC08 MSS 差異分析

DNSC08 Global mean sea surface (MSS)為Danish National Space Center研製，使用12年的T/P + Jason-1衛星測高資料，極區使用ICESAT、ENVISAT、ERS-2之衛星資料，在包含Topex/ Poseidon (T/P), Jason-1, ERS-1 and ERS-2, ENVISAT, Geosat GM and GFO衛星資料之組合下完成時間與空間的覆蓋，時間範圍為從1993年至2005年，空間解析度 $1/60 \times 1/60$ 度(於赤道空間解析度二公里)，為一重要的海面高參考場(Bouin, 2009)。本研究將所解算出來的海面高，經過海潮改正以及濾波120秒，以平差前與平差後分別進行粗差剔除，與此平均海水面模式DNSC08進行比較。粗差別除以交叉點分析所得RMS之三倍中誤差選定門檻值。

(1) Bernese PPP

Bernese PPP解算出之海水面高與DNSC08參考場差異值分析如表4-9及圖4-12所示。於基隆地區差異值平差前標準偏差為0.664(m)、平均值為0.611(m)，平差後標準偏差為0.623(m)、平均值為0.467(m)；於小琉球地區差異值平差前標準偏差為0.576(m)、平均值為0.528(m)，平差後標準偏差為0.563(m)、平均值為0.541(m)；於綠島地區差異值平差前標準偏差為0.694(m)、平均值為0.405(m)，平差後標準偏差為0.384(m)、平均值為0.981(m)。

表 4-9 Bernese PPP 海水面高與 DNSC 08 差異統計表。單位：(m)

	是否平差	平均值	最大值	最小值	標準偏差	均方根誤差	粗差別除資料保留率
基隆	否	0.611	2.000	-1.910	0.664	0.903	97.5%
	是	0.467	2.000	-2.000	0.623	0.778	97.8%
小琉球	否	0.528	1.500	-1.500	0.576	0.782	87.9%
	是	0.541	1.500	-1.500	0.563	0.781	86.1%
綠島	否	0.405	1.700	-1.700	0.694	0.804	88.1%
	是	0.981	2.989	-0.78	0.384	1.053	100%

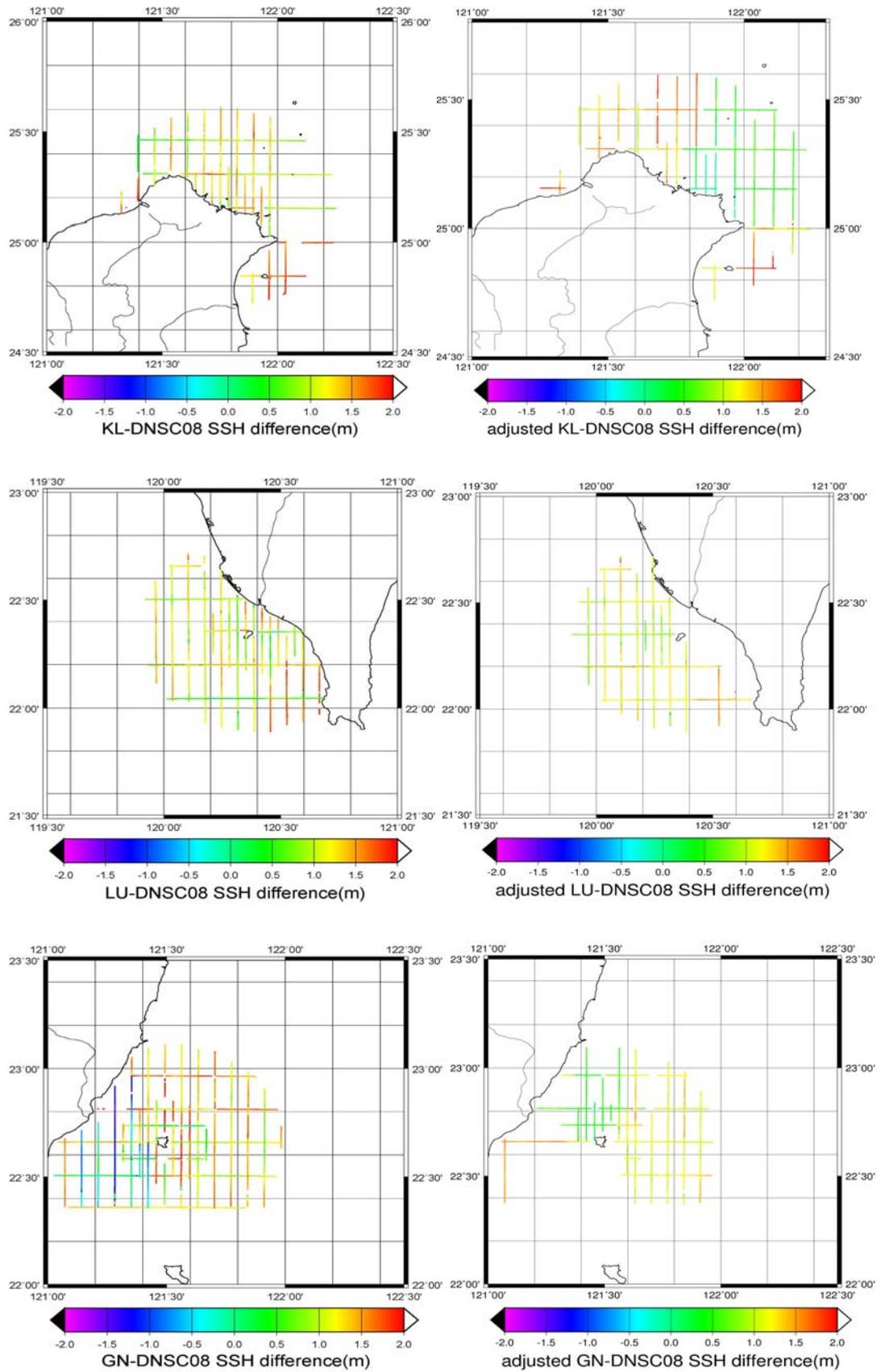


圖 4-12 Bernese PPP 海水面高與 DNSC08 殘餘值圖，由上而下依序為平差前後

之基隆、小琉球、綠島

## (2) GRAFNAV PPP

GRAFNAV PPP解算出之海水面高與DNSC08參考場差異值分析如表4-10及圖4-13所示。於基隆地區差異值平差前標準偏差為0.142(m)、平均值為1.161(m)，平差後標準偏差為0.138(m)、平均值為1.190(m)；於小琉球地區差異值平差前標準偏差為0.135(m)、平均值為1.161(m)，平差後標準偏差為0.110(m)、平均值為1.260(m)；於綠島地區差異值平差前標準偏差為0.683(m)、平均值為0.306(m)，平差後標準偏差為0.505(m)、平均值為0.402(m)。

表 4- 10 GRAFNAV PPP 海水面高與 DNSC 08 差異統計表。單位：(m)

	是否 平差	平均值	最大值	最小值	標準 偏差	均方根 誤差	粗差別 除資料 保留率
基隆	否	1.161	1.463	-0.617	0.142	1.169	100%
	是	1.190	1.525	0.617	0.138	1.198	100%
小琉球	否	1.161	1.638	-0.746	0.135	1.169	100%
	是	1.260	1.665	0.777	0.110	1.265	100%
綠島	否	0.306	1.300	-1.070	0.683	0.749	72%
	是	0.402	1.324	-0.871	0.505	0.645	100%

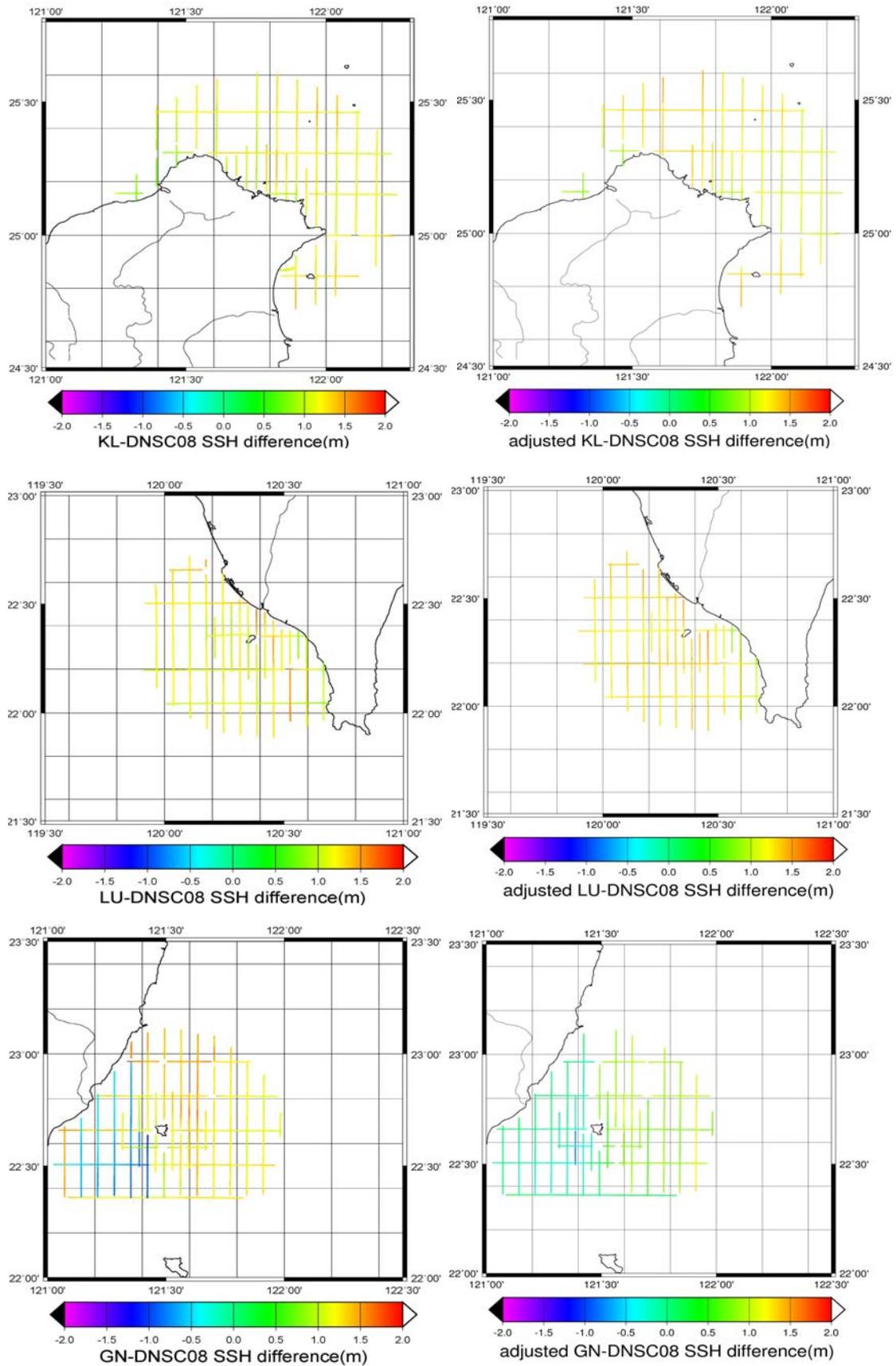


圖 4-13 GRAFNAV PPP 海水面高與 DNSC08 殘餘值圖，依序為平差前後之基

隆、小琉球、綠島

### (3) GRAFNAV KRP

GRAFNAV KRP解算出之海水面高與DNSC08參考場差異值分析如表4-11及圖4-14所示。於基隆地區差異值平差前標準偏差為0.100(m)、平均值為1.627(m)，無平差後結果；於小琉球地區差異值平差前標準偏差為0.185(m)、平均值為1.768(m)，平差後標準偏差為0.106(m)、平均值為1.742(m)；於綠島地區差異值平差前標準偏差為0.823(m)、平均值為0.502(m)，平差後標準偏差為0.599(m)、平均值為0.367(m)。

表 4- 11 GRAFNAV KRP 海水面高與 DNSC 08 差異統計表。單位：(m)

	是否 平差	平均值	最大值	最小值	標準偏 差	均方根 誤差	粗差別 除資料 保留率
基隆	否	1.627	1.88	1.315	0.100	1.630	100%
	是	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
小琉球	否	1.768	4.75	-2.924	0.185	1.777	100%
	是	1.742	2.083	1.093	0.106	1.745	100%
綠島	否	0.502	1.900	-0.600	0.823	0.964	67.9%
	是	0.367	1.866	-0.512	0.599	0.702	100%

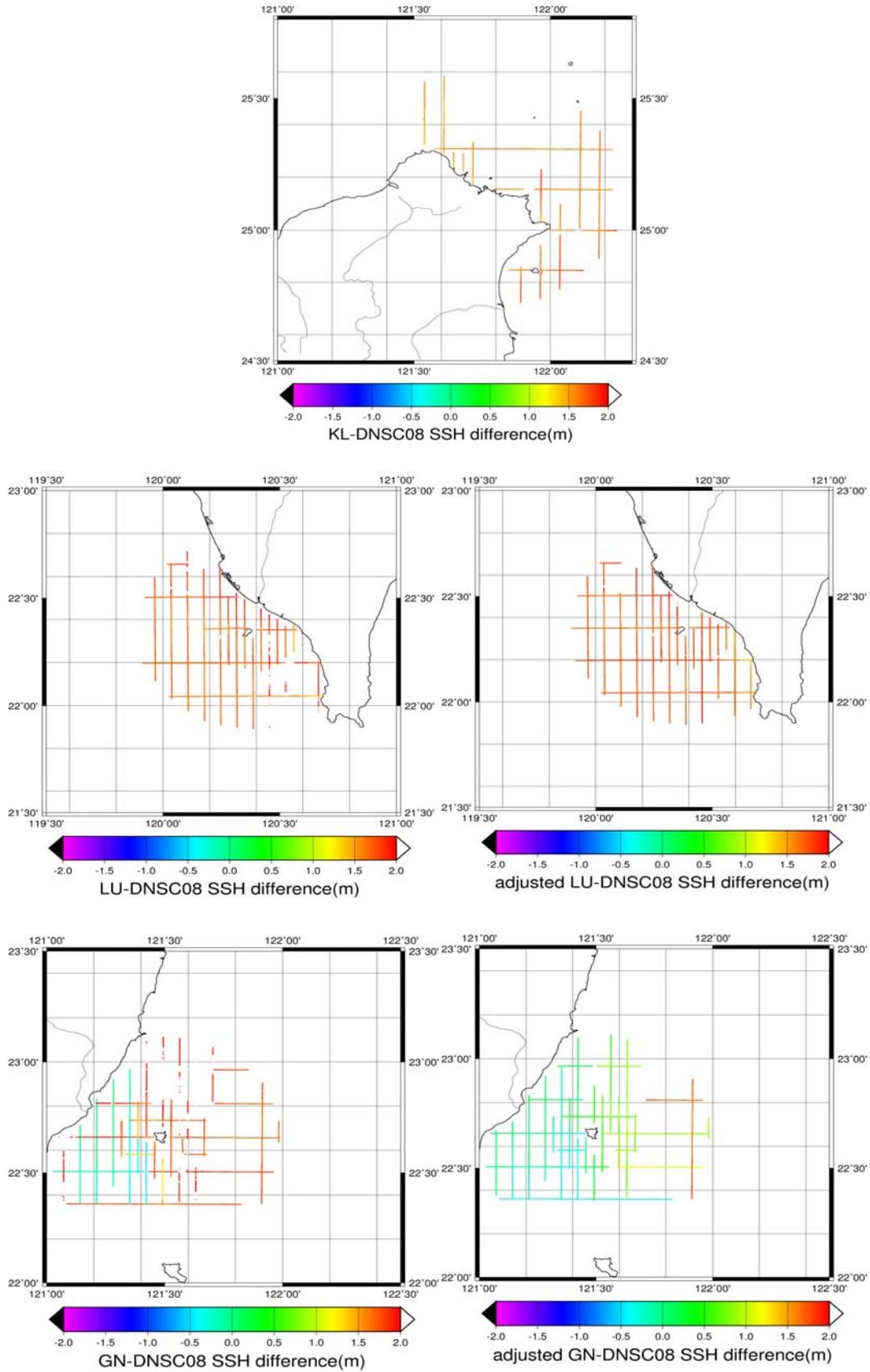


圖 4-14 GRAFNAV KRP 海水面高與 DNSC08 殘餘值圖，依序為平差前之基隆、及平差前後之小琉球、綠島

#### (4) Bernese KRP

Bernese動態基線解算出之海水面高與DNSC08參考場差異值分析成果如表4-12及圖4-15所示。於基隆地區差異值平差前標準偏差為0.696(m)、平均值為-0.663(m)，平差後標準偏差為0.134(m)、平均值為-1.181(m)；於小琉球地區差異值平差前標準偏差為0.550 (m)、平均值為 -0.181(m)，平差後標準偏差為0.583 (m)、平均值為-0.423 (m)；於綠島地區差異值平差前標準偏差為0.761 (m)、平均值為0.690 (m)，平差後標準偏差為0.503 (m)、平均值為0.130 (m)。

表 4- 12 Bernese KRP 海水面高與 DNSC 08 差異統計表。單位：(m)

	是否 平差	平均值	最大值	最小值	標準偏 差	均方根 誤差	粗差別 除資料 保留率
基隆	否	-0.663	1.690	-1.700	0.696	0.961	67%
	是	-1.181	-0.806	-1.566	0.134	1.189	100%
小琉球	否	-0.181	1.700	-1.700	0.550	0.579	82.3%
	是	-0.423	1.510	-1.700	0.583	0.720	90.3%
綠島	否	0.690	1.800	-1.360	0.761	1.027	70.5%
	是	0.130	1.500	-1.490	0.503	0.520	60.5%

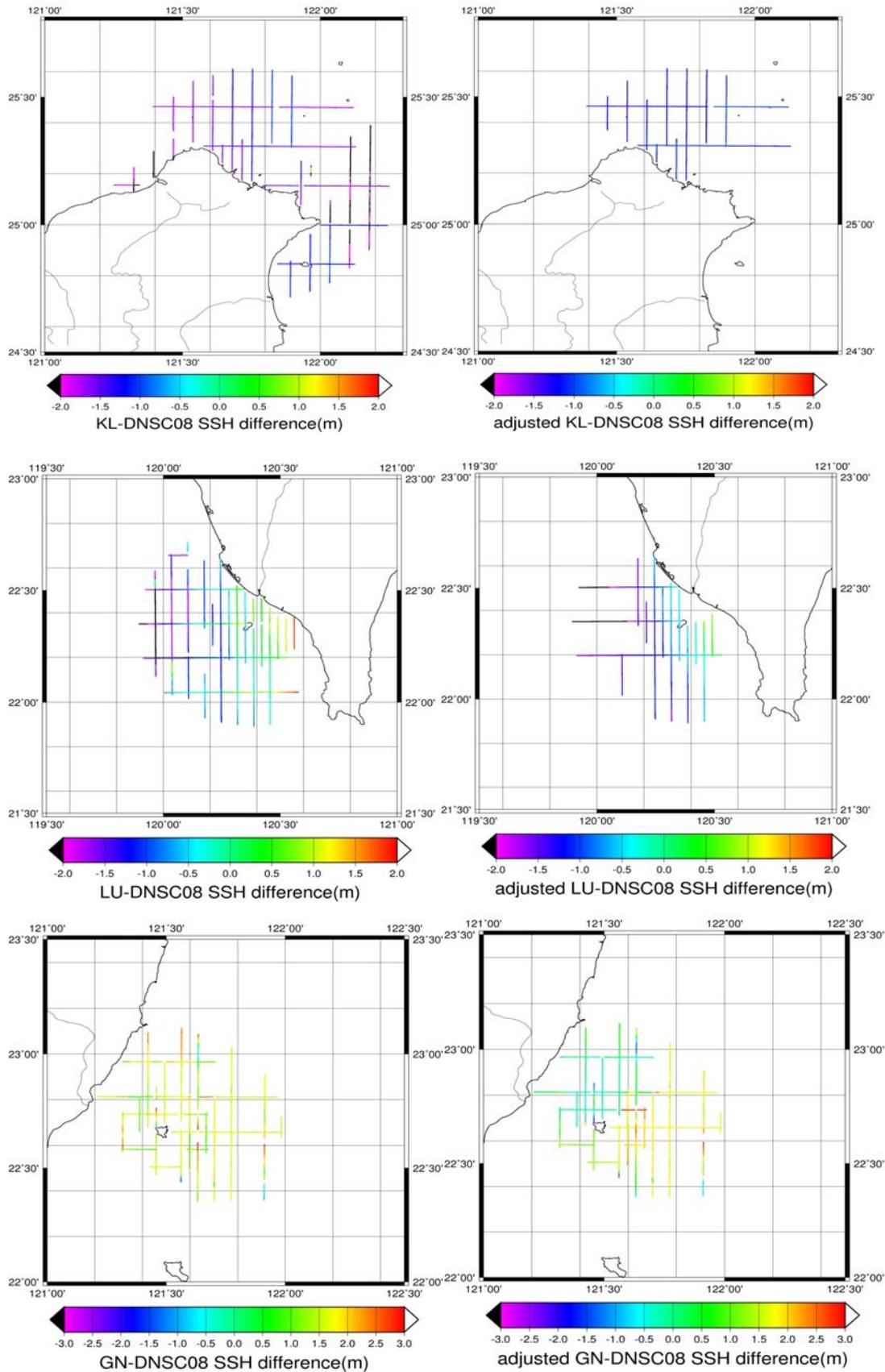


圖 4- 15 Bernese KRP 海水面高與 DNSC08 差異分布圖，依序為平差前後之基

隆、小琉球、綠島

## (5) TRACK

TRACK動態基線解算出之海水面高與DNSC08參考場差異值分析成果如表4-13及圖4-16所示。於基隆地區差異值平差前標準偏差為0.399(m)、平均值為-0.130 (m)，平差後標準偏差為0.175(m)、平均值為-0.063 (m)；於小琉球地區差異值平差前標準偏差為0.189(m)、平均值為-0.840(m)，平差後標準偏差為0.208(m)、平均值為-0.959(m)；於綠島地區差異值平差前標準偏差為0.417(m)、平均值為-0.373(m)，平差後標準偏差為0.319(m)、平均值為-0.281(m)。

表 4- 13 TRACK 海水面高與 DNSC 08 差異統計表。單位：(m)

	是否 平差	平均值	最大值	最小值	標準偏 差	均方根 誤差	粗差別 除資料 保留率
基隆	否	-0.130	1.500	-1.470	0.399	0.420	95.9%
	是	-0.063	1.500	-1.220	0.175	0.186	95%
小琉球	否	-0.840	0.067	-2.085	0.189	0.861	100%
	是	-0.959	-0.093	-1.855	0.208	0.981	100%
綠島	否	-0.373	1.670	-1.700	0.417	0.560	98.4%
	是	-0.281	1.110	-1.700	0.319	0.425	96.3%

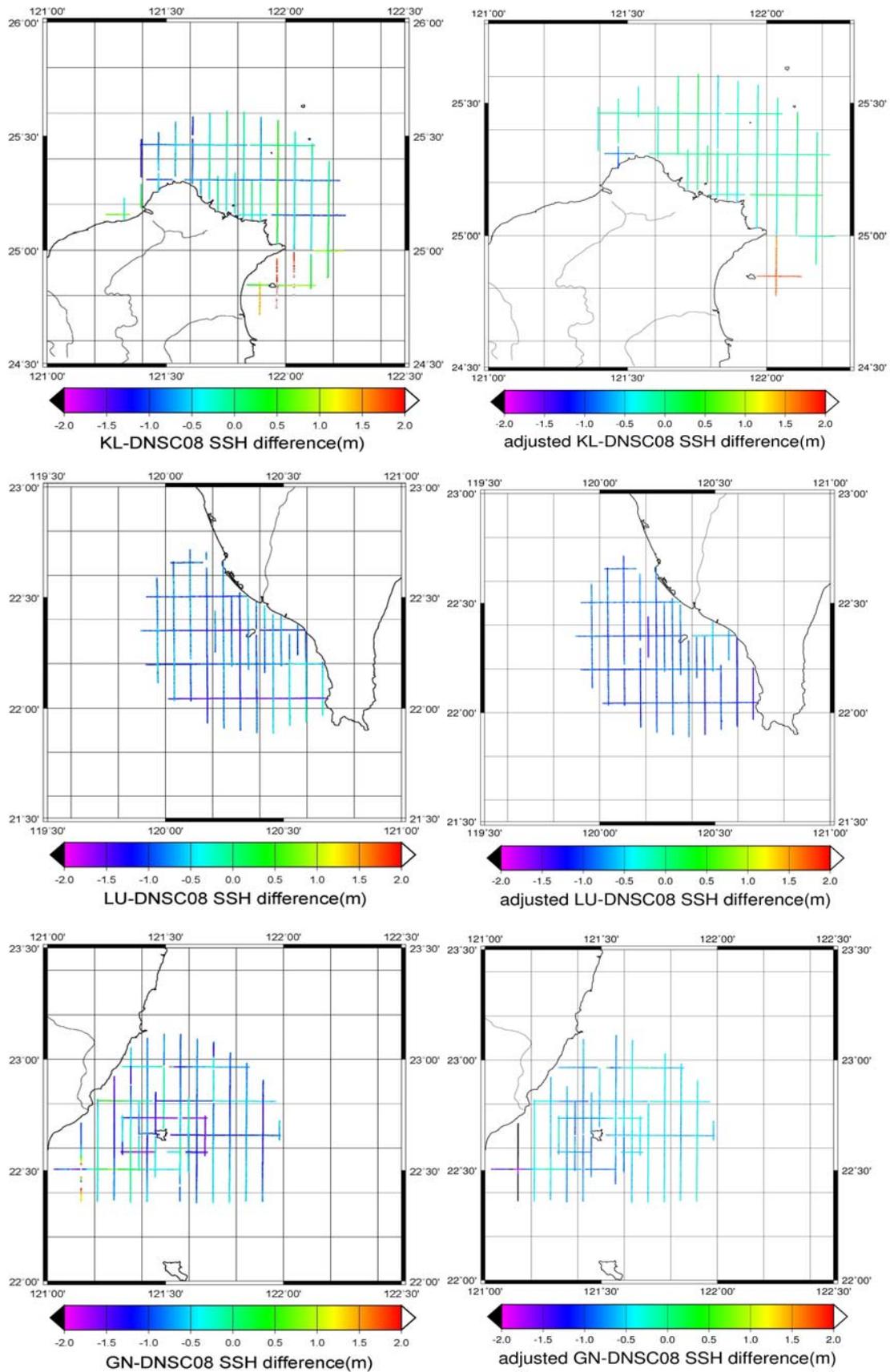


圖 4-16 TRACK 海水面高與 DNSC08 差異分布圖，依序為平差前後之基隆、小琉球、綠島

#### 4.4 討論

與 DNSC08 參考場差異值統計當中，預期的理想狀況是求解出之海水面高與參考場無差值，即海水面高與參考場差異平均值為零，表與參考場無差異。由於平均值在統計意義上可表示與真值(此處視參考場為真值)的平移量，可看出海水面高與參考場的相近程度，若海水面高與參考場差異平均值大，則表存在非隨機誤差須率定，如各種系統誤差、模式誤差等。當平均值為零時，標準偏差會等於均方根誤差。而標準偏差則是可觀察資料的離群程度，或離平均值的震盪幅度，標準偏差越小，解算越穩定，資料越有說服力。

各軟體及解算方法與 DNSC08 海面高差異量平差後標準偏差值如表 4-14。GRAFNAV PPP 與 GRAFNAV KRP 之標準偏差最小且一致，解算成果最穩定，PPP 與 KRP 在基隆與小琉球地區標準偏差可達約 10~14 公分，但其中 KRP 在基隆與綠島地區受觀測資料與岸邊站資料品質影響，基隆無法解算出完整航線、綠島地區標準偏差約 51~60 公分。

於 1Hz 的 PPP 部分，Bernese PPP 的標準偏差在基隆及小琉球地區，比其餘方法大許多，此現象在比較內部精度之交叉點分析並未出現，反映在比較外部精度的此處，應為隱含有差分可消除的系統誤差(如：差分可降低之對流層延遲誤差)是 Bernese PPP 尚未克服，但 GRAFNAV PPP 已克服的。Bernese 由於預估參數的吸收，內部精度有達到一定水平，然而可能因起始座標給定不夠準確或對流層參數於流程中預估不佳，在成果與其他模型比較時，出現外部精度的歧異。Bernese PPP 於此三區標準偏差約 38~62 公分，GRAFNAV PPP 約 11~51 公分。

在 1Hz 的 KRP 部分，基隆地區由於岸邊站資料不穩定致使解算航線破碎，GRAFNAV KRP 無法得到平差成果，Bernese KRP 解算出的航線也並不完整；小琉球地區以 GRAFNAV 精度較 Bernese 好；綠島地區則受岸邊站以及船隻接收資料品質影響 GRAFNAV 及 Bernese 解算標準偏差皆約 50~60 公分。

由於 1Hz 岸邊站資料品質不佳，實驗於 TRACK 選用 30 秒一筆的國家基準站聯合解算，解算成果穩定，基隆與小琉球標準偏差分別為約 18 與 20 公分；綠島地區受航線西邊資料品質影響標準偏差約為 32 公分，顯示觀測資料品質明顯影響定位精度，TRACK 使用國家基準站定位之標準偏差較實驗架設之岸邊站實驗組為小，顯示岸邊站資料品質不佳確實影響 1Hz 實驗組的定位精度。

表 4- 14 各軟體及解算方法與 DNSC08 海面高差異量平差後標準偏差值比較表

(m)

		基隆	小琉球	綠島
DNSC08	Bernese PPP 1Hz	0.623	0.563	0.383
	GRAFNAV PPP 1Hz	0.138	0.110	0.505
	GRAFNAV KRP 1Hz	0.100(平差前)	0.105	0.599
	Bernese KRP 1Hz	0.134	0.583	0.503
	TRACK KRP 30sec	0.175	0.203	0.319

## 第五章 結論與建議

綜合本文研究過程與計算成果，歸納出下列幾點結論與建議：

一、 船載測高無近岸雷達波波形不佳之問題，為一近岸海面高測量以及海洋重力測量之潛力技術。而精密單點定位技術擁有不受基線長度之影響，具有可獨立、彈性作業、不需基準站資料等優點，在擁有高精度之 GPS 精密星曆以及時表檔案與優化的解算模式前提之下，能夠獲得良好的精度，為一可與長基線動態定位互補之新技術。

二、 由靜態測試成果發現，PPP 處理流程與動態基線解算之成果，於超過百公里之長基線部分精度量級接近。Bernese PPP 的 RMS 約為 6~8 公分；於基線長度三百三十公里之 TRACK KRP 的 RMS 約為 7.6 公分，而 Bernese KRP 的 RMS 為 8.2 公分，證明 Bernese PPP 對長基線動態定位有替代可能。而透過平差後的交叉點分析發現，動態定位精度為靜態定位精度之二~三倍的推論值得參考。

三、 海潮改正程序有助於定位精度的提升，對交叉點分析精度的影響量，Bernese PPP 完成海潮改正後於小琉球及綠島地區平差前精度提升約 10 公分；TRACK KRP 於基隆地區平差前精度提升約 7 公分，小琉球及綠島地區平差前精度提升約 20~30 公分。

四、 由交叉點海面高分析結果證明，以 PPP 方法解算，Bernese PPP 平差後有理想表現，RMS 可達約 2~16 公分，GRAFNAV PPP 約為 4~16 公分，二者精度接近；動態差分定位之 Bernese KRP 流程 RMS 約 11~37 公分、GRAFNAV KRP 約 5~24 公分、TRACK KRP 約 6~11 公分。在本交叉點海面高分析實驗當中，Bernese PPP 與 GRAFNAV PPP 精度量級接近，又有無基線解算等優點，值得未來研究應用。

五、 交叉點海面高分析結果，在小琉球地區，軟體 Bernese 以及 GRAFNAV 二者皆呈現 KRP 較 PPP 為優的成果，基線解在觀測品質良好的情況下仍有一定的定位優勢。但在基隆以及綠島地區，基線解則受到基站資料品質影響解算，基隆地區有無法解算的航線、綠島地區 RMS 高，而使用 30 秒一筆的國家基準站有完整的解算成果，RMS 降低，但無法呈現資料高頻變化。

六、 由海面高與 DNSC08 殘差分析成果，GRAFNAV PPP 與 GRAFNAV KRP 解算三區之標準偏差最小且一致，解算成果最穩定。

七、 由海面高與 DNSC08 殘差分析成果，Bernese PPP 的標準偏差比其餘方法大的現象在比較內部精度之交叉點分析並未出現，反映在比較外部精度的原因應為隱含有差分可消除的系統誤差是 Bernese PPP 尚未克服，但 GRAFNAV PPP 已克服的。Bernese 由於預估參數的吸收，內部精度有達到一定水平，然而可能因起始座標給定不夠準確或對流層參數於流程中預估不佳，在成果與其他模型比較時，出現外部精度的歧異。

八、 資料品質可由 TRACK KRP 解算出之每日內部精度評估，其中綠島地區觀測資料以及實驗架設岸邊站資料品質問題，導致解算出成果較差。由實驗結果可知 GPS 觀測資料品質的好壞會直接影響解算成果。求解出之海面高精度則會影響後續之海洋重力反行，故在實施 GPS 觀測時務必要確認環境適合施測以及儀器運作狀態良好。

## 第六章 參考文獻

施亘昶，2004，空載重力觀測系統，國立交通大學碩士論文，新竹。

李定諺，2005，由GPS觀測量測定飛行載具速度及加速度應用於空載重力測量，國立成功大學碩士論文，台南。

張嘉強，2006，近岸船載重力測量、船測資料分析及資料庫建置工作案工作總報告，內政部。

邱冠維，2009，利用精密單點定位進行GPS浮標近即時精密定位，國立成功大學碩士論文，台南。

陳逸如，黃啟訓，陳國華，黃金維，2009，應用船載精密單點定位技術(PPP)測定海面高度之研究，第二十八屆測量及空間資訊研討會，台南。

黃金維，2009，臺灣本島與離島高程連測計畫期末報告，內政部土地測量局。

內政部國土資訊中心網頁。<http://www.egps.nlsc.gov.tw/index.html>

內政部地政司衛星測量中心網站。<http://www.moidlassc.gov.tw/>

Center for Orbit Determination in Europe, CODE. <ftp://ftp.unibe.ch/aiub/CODE/>

International GNSS Service, IGS. <http://igsb.jpl.nasa.gov/>

SCOUT. <http://sopac.ucsd.edu/cgi-bin/SCOUT.cgi>

SOPAC. <http://sopac.ucsd.edu/>

Solid earth tide program. <http://home.comcast.net/~dmilbert/softs/solid.htm>

Bevis, M., Businger, S., Herring, T.A., Rocken, C., Anthes, R. A., and Ware, R.H. (1992), GPS meteorology: Remote sensing of atmospheric water vapor using the Global Positioning System, J. Geophys. Res., 97, 15,787– 715,801.

- Bonnefond, P., Exertier, P., Laurain, O., Me´nard, Y., Orsoni, A., Jeansou, E., Haines, B.J., Kubitschek, D. G., and Born, G. (2003), Leveling the sea surface using a GPS-Catamaran, *Marine Geodesy*, 26:3, 319– 334.
- Bouin, M. N., Ballu, V., Calmant, S., Pelletier, B. (2009), Improving resolution and accuracy of mean sea surface from kinematic GPS, Vanuatu subduction zone, *J.Geodesy*, doi: 10.1007/s00190-009-0320-7.
- Chadwell, C. D., and Bock, Y. (2001), Direct estimation of absolute precipitable water in oceanic regions by GPS tracking of coastal buoy, *Geophy. Res. Lett.*, 28, 3701-3704
- Cove, K. M. and Santos, M. C. (2004), An analysis of carrier phase differential kinematic GPS positioning using DynaPos, *GPS Solutions*, Vol. 8, pp. 210-216.
- Dach, R., Hugentobler, U., Fridez, P., and Meindl, M. (2007), Bernese GPS software version 5.0, Astronomical Institute, University of Bern.
- Foster, J. H., Carter G. S., and Merrifield, M. A. (2009), Ship-based measurements of sea surface topography. *Geophysical research letters*, vol.36, L11605, doi:10.1029/2009GL038324.
- Ge, M., Gendt, G., Rothacher, M., Shi, C., and Liu, J. (2008), Resolution of GPS carrier-phase ambiguities in precise point positioning (PPP) with daily observations, *J. Geodesy*, Vol. 82, pp. 389-399.
- Kjørsvik, N.S., Øvstedal, O., Gjevestad, J.G.O. (2009), Kinematic precise point positioning during marginal satellite availability, *Observing our Changing Earth*, International Association of Geodesy Symposia.
- Kouba, J. and Héroux, P. (2001), Precise point positioning using IGS orbit and clock products, *GPS Solutions*, Vol. 5, No. 2, pp. 12-28.
- Lambeck, K. (1988), *Geophysical geodesy: the slow deformations of the earth*. Oxford science publication. 718pp
- Matsumoto, K., Takanezawa, T., Ooe, M. (2000), Ocean tide models developed by assimilating TOPEX/POSEIDON altimeter data into hydrodynamical model: A global model and a regional model around Japan. *J. Oceanography.*, 56, 567–581.

- Parkinson, B.W. and Spilker, Jr. J (1996), Global Positioning System: Theory and application Vol.1. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Washington, DC
- Rocken, C., Johnson, J., Van Hove, T., and Iwabuchi, T. (2005), Atmospheric water vapor and geoid measurements in the open ocean with GPS, *Geophy. Res. Lett*, 32, L12813, doi: 10.1029/2005GL022573
- Satirapod, C. and Homniam, P. (2006), GPS precise point positioning software for ground control point establishment in remote sensing applications, *Journal of Surveying Engineering*, Vol. 132, No. 1, pp. 11-14.
- Seeber, G. (1993), *Satellite geodesy: Foundations, methods, and applications*, Walter de Gruyter, Berlin, New York.
- Shen, X. and Gao, Y. (2002), *Kinematic Processing Analysis of Carrier Phase based Precise Point Positioning*. The University of Calgary, Canada.
- Teferle, F.N., Orliac, E.J., Bingley, R.M. (2007), An assessment of Bernese GPS software precise point positioning using IGS final products for global site velocities, *GPS Solutions*, 11:205-213, doi 10.1007/s10291-006-0051-7
- Trehn, E. (2006), *GPS Precise Point Positioning An Investigation in Reachable Accuracy*. Master thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden
- Watson, C., Tregoning, P., Coleman, R. (2006), The impact of solid earth tide models on GPS coordinate and tropospheric time series, *Geophysical Research Letters*, 33 (L08306). pp. 1-4.
- Wu, Y., Guo, J. (2008), Single point positioning with sequential least-squares filter and estimated real-time stochastic model, *Geo-spatial Information Science* 11(1):13-16 Volume 11, Issue 1 doi 10.1007/s11806-007-0162-5
- Zumberge, J.F. (1999), Automated GPS Data Analysis Service, *GPS Solutions*, 2(3):pp 76-78.

## 作者簡歷

作者：陳逸如

籍貫：台灣省新竹市

生日：民國 74 年 5 月 26 日

E-mail：[cyjclaire@gmail.com](mailto:cyjclaire@gmail.com)

學歷：國立交通大學土木工程研究所測量及空間資訊組碩士班

國立交通大學土木工程學系

國立新竹女子高級中學

