

105-043-7879
MOTC-IOT-104-H3DA003b

全球暖化引致臺灣海域海面水位 昇降變動率之評估研究(3/4)

— 臺灣環島驗潮站潮位基準偏移之自動化偵測與校正研究 —



交通部運輸研究所

中華民國 105 年 5 月

105-043-7879
MOTC-IOT-104-H3DA003b

全球暖化引致臺灣海域海面水位 昇降變動率之評估研究(3/4)

— 臺灣環島驗潮站潮位基準偏移之自動化偵測與校正研究 —

著 者：莊文傑、李俊穎

交通部運輸研究所

中華民國 105 年 5 月

全球暖化引致臺灣海域海面水位昇降變動率之評估研究. (3/4)：臺灣環島驗潮站潮位基準偏移之自動化偵測與校正研究 / 莊文傑，李俊穎著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運研所，民 105.05

面；公分

ISBN 978-986-04-8492-2(平裝)

1.海岸工程 2.海平面

443.3

105006222

全球暖化引致臺灣海域海面水位昇降變動率之評估研究(3/4)

- 臺灣環島驗潮站潮位基準偏移之自動化偵測與校正研究 -

著者：莊文傑、李俊穎

出版機關：交通部運輸研究所

地址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網址：www.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)

電話：(04)26587185

出版年月：中華民國 105 年 5 月

印刷者：九易數碼科技印刷有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 70 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所臺灣技術研究中心網站

定價：200 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02) 25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1010500520

ISBN：978-986-04-8492-2 (平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

GPN : 1010500520

定價 200 元

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：全球暖化引致臺灣海域海面水位昇降變動率之評估研究(3/4) － 臺灣環島驗潮站潮位基準偏移之自動化偵測與校正研究－			
國際標準書號 ISBN978-986-04-8492-2 (平裝)	政府出版品統一編號 1010500520	運輸研究所出版品編號 105-043-7879	計畫編號 104-H3DA003b
主辦單位：港灣技術研究中心 主管：邱永芳 計劃主持人：莊文傑 共同主持人：李俊穎 參與人員：馬維倫、錢爾潔、陳正義、張麗瓊 聯絡電話：(04)26587185 傳真號碼：(04)26564415			研究期間 自 104 年 01 月 至 104 年 12 月
關鍵詞：氣候變遷、全球暖化、海平面上升、水位昇降率、變動趨勢、驗潮站、臺灣			
報告內容重點摘要： 面對全球暖化所引致氣候變遷之課題，本研究計畫以推展「全球暖化引致臺灣海域海面水位昇降變動率之評估」為目標。研究之總期程，自民國 102 年起共計 4 年。主要研究方法為依據中央氣象局於臺灣環島海岸所設置驗潮站之近二十年(1990~2013)實測潮位時序紀錄，採用間接平差方法，分區評估臺灣環島海域因全球暖化、氣候變遷所引致平均海平面上升(SLR)之年變動率(mm/yr)或 SLR 趨勢。主要研究目的在敦促政府預為規劃因應臨海鄉鎮市之汛期排水障礙及洪水溢淹、海岸或海灘受漸強之暴風浪沖蝕侵襲、海水入侵陸地造成地下水鹽化、既有濕地及沼澤區覆淹、海岸景觀及生態棲地環境破壞等海岸災害，提昇國土安全，促成社會穩定，減少災害之經濟損失，保育自然環境，增進國民福祉。 一般而言，研究海平面變化主要依據驗潮站與衛星測高等二種觀測資料。其中，驗潮站之觀測資料，因紀錄期間較長久，蒐集整理相對較容易，且可直接反應平均海平面長期之升降趨勢，故常應用於 SLR 之分析。惟驗潮站之潮位觀測基準係相對參考陸岸固定之水準點高程，故當陸岸之水準點高程因劇烈的地殼升降作用(如地震)而移位時，即會促使長期性之實測潮位紀錄，存在數目不定且偏移程度大小不一之基準偏移現象。另外，驗潮站之潮位觀測，持續一段期間後，也常會因儀器檢校、設備維修、儀器更新、或設置地點變更等情形，造成觀測紀錄中斷與基準偏移。因此，應用驗潮站之長期潮位紀錄進行 SLR 分析前，最重要之工作，即是對紀錄之斷續缺漏及觀測基準之偏移，作必要之偵測、判定與校正。 針對臺灣環島海岸，本研究應用先期合作研究(郭 等，2014；2015)對英國平均海平面長久服務中心(PSMSL)所蒐集整理坎門、廈門、大浦滬、那霸、黎牙實比等共 5 處毗鄰臺灣海岸驗潮站之近二十年期(1990~2013)潮位資料，以及對我國中央氣象局(CWB)等各政府機關在基隆、蘇澳、花蓮、高雄、臺中等國內五大國際商港海域及在淡水、竹圍、澎湖、將軍、蟳廣嘴、富岡等環島沿岸共 11 處驗潮站之長期實測潮位紀錄，重新檢視基準偏移偵測、判定與改正之實際應用效能，並藉對照比較毗鄰驗潮站之 SLR 分析結果，評估其準確性。 主要研究結果有：(1)經以小波(wavelet)分頻處理後之類趨勢低頻潮位訊號，當相鄰時序之差值(訊號突衝)大於 50 mm 之門檻值時，即可應用以自動篩檢可能發生基準偏移之時序，而在可能發生基準偏移之時序前後，各以 2 年期距計算其平均值，若該差值大小超過 130 mm，即可據以自動判定該時序上，確定有基準偏移產生。(2)應用含步階函數之二參數擬合法，結合間接平差計算，即可自動校正檢選驗潮站之潮位基準偏移，同時，估算各站位之 SLR 趨勢(mm/yr)。(3)環繞臺灣海岸之 5 處驗潮站，各站皆無基準偏移發生，故均不需進行校正，相關之 SLR 趨勢(mm/yr)，分別為坎門 2.62±0.56；廈門 4.71±1.17；大浦滬 4.34±0.54；那霸 2.02±0.46；黎牙實比 8.65±0.52。這意謂就相對臺灣之地理位置而論，總體上，SLR 具有北小_南大；東小_西大之主要趨勢，並可進一步應用以評估臺灣環島沿岸各驗潮站在進行潮位基準偏移自動校正前後之準確性。(4)臺灣環島沿岸之 11 處			

驗潮站，各站至少皆有一時序區間發生基準偏移而需進行校正，經校正後，相關之 SLR 趨勢(mm/yr)，分別為基隆 4.12 ± 0.32 ；淡水 9.10 ± 0.77 ；竹圍 32.07 ± 0.69 ；臺中 24.53 ± 0.55 ；澎湖 4.63 ± 0.44 ；將軍 5.08 ± 0.42 ；高雄 -2.20 ± 0.39 ；蟬廣嘴 12.21 ± 0.43 ；蘇澳 7.54 ± 0.42 ；花蓮 1.79 ± 0.60 ；富岡 4.68 ± 0.29 。與位處臺灣東北側那霸驗潮站最小之 2.0 mm/yr 及臺灣南側黎牙實比驗潮站最大之 8.6 mm/yr 相對照比較可見，僅有基隆、澎湖、將軍、花蓮、富岡等共 5 處驗潮站持續保有北小_南大；東小_西大之主要 SLR 趨勢而較具有合理性。其他之淡水、竹圍、臺中、高雄、蟬廣嘴、蘇澳等 6 處驗潮站，經基準偏移校正後，由於 SLR 不介在 2.02 mm/yr 與 8.65 mm/yr 間，故準確性欠佳，總體校正效能尚待推展後續研究進行改善。主要原因，經檢討，除了各驗潮站之原始潮位紀錄多缺漏影響外，亦應與發生潮位偏移之步階期間未能準確辨識及掌握有關。

研究成果之效益：

- (1) 學術成就(科技基礎研究)方面：發表國內研討會論文 4 篇、出版研究報告 2 冊。
- (2) 技術創新(科技整合創新)方面：建置專業整合環境，從海洋到海岸，整合衛星測高與 PSMSL 及 CWB 之臺灣環島近岸驗潮站資料庫，提昇海洋科技—藍色科技之科研能力，落實跨領域之合作研究，針對長期之潮位紀錄，探討潮位基準偏移課題，研提自動校正之有效方法，準確可靠地將臺灣環島海域長期性的潮位紀錄，應用於平均海平面升降變動率之分析。
- (3) 在經濟效益(經濟產業促進)方面：提供政府及業界掌握臺灣近岸海域近二十年期詳實的平均海平面升降變動率特性，可促進都市防洪、排水之規劃、設計及維護工程提昇效能，有效因應全球暖化所造成的氣候變遷課題，強化防災、減災與救災資訊，敦節實施全面監測之人力及物力之投注成本。
- (4) 在社會影響(社會福祉提升、環保安全)方面：透過詳實的平均海平面升降變動率特性，反饋及確認全球暖化、氣候變遷對達成海岸保育與永續利用目標之影響。
- (5) 在其它效益(政策管理及其它)方面：具體配合政府推展「海洋國家」之策略目標，落實海洋經理政策，補充既有海象監測及防災資料庫之完整，強化因應全球暖化、氣候變遷課題之決策資訊，厚植近岸防災預警與風險管理機制之關鍵技術，提升近岸海域災害應變與預警能力，精進災害風險評估系統，強化救災及預警科技之評估效能及應用。

可供本所或其他政府機關後續應用情形：

本研究結合國際海洋科學資源，擴展海岸科技學能，強化跨領域之研究，堅實科技人力資源，就臺灣環島共 11 處驗潮站之潮位基準偏移課題，建立系統化之自動校正架構，進而詳實評估臺灣環島各驗潮站區位之平均海平面年變動率資訊。相關成果可提供交通部、環資部、內政部、本所、各港務分公司、經濟部水利署、各工程顧問公司等相關產、官、學、研單位從事海岸開發、港灣規劃、設計、擴建及維護的應用參考。推動並落實總體性之海岸保育與防災策略。

出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
105 年 5 月	134	200	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。

機密等級：

☐ 密 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密

(解密條件：☐ 年 ☐ 月 ☐ 日解密，☐ 公布後解密，☐ 附件抽存後解密，

☐ 工作完成或會議終了時解密，☐ 另行檢討後辦理解密)

☒ 普通

備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: Assessment of the sea level rise induced by global warming on the seas around Taiwan (3/4) – Capability assessments of detecting and adjusting the datum biases of tides measured around Taiwan.			
ISBN 978-986-04-8492-2 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010500520	IOT SERIAL NUMBER 105-043-7879	PROJECT NUMBER 104-H3DA003b
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang PROJECT ADVISOR: Juang Wen-Jye PRINCIPAL INVESTIGATOR: Lee Chun-Ying PROJECT STAFF: Maa Wei-Luen, Chien Er-Jier, Chen Cheng-Yi, Chang Lee-Chung PHONE: 04-26587185 FAX: 04-26564415			PROJECT PERIOD FROM January 2015 TO December 2015
KEY WORDS: Sea Level Rise (SLR), Tides, Datum Biases Detection and Correction, Trend, The Coasts around Taiwan.			
Abstract It is well known that the sea level rise (SLR) is one of the consequences of the global warming and it can induce miscellaneous disasters such as the blockage of draining off the floods, flood inundation, sea water intrusion on land, groundwater salting, wetland and marshland overwhelming, raids of coastal erosion, and in particular the damages of conserving the coastal environment, ecology, and landscape. Confronting the challenge of the climate change coupled with the global warming, the aim of the study is mainly set to apply the tide gauge data on evaluating the SLR that revealed on the coastal seas around Taiwan. The period of this study totally scheduled to be 4 years. At the third year study, the works of surveying the capability of correcting the datum bias for the tidal records during the latest 20 years (1990~2013) are focused. It is well known that due to miscellaneous effects such as earthquakes, artificial or natural vertical displacement of foundation, equipment replacements, instrument maintains and upgrades, and even human factors, uncertain changes of mean sea level or datum biases should occurred on the long term tidal records. Therefore, correcting the datum biases before applying the tidal gauge records for accurately estimating the SLR trend is necessary. And the key process is detecting when and how many biases occurred. With the concepts of the datum biases should evidently appear as spikes on the trend, the procedures list following are designed for detecting and correcting the datum biases. First, the original hourly tide records are de-tided by applying the central moving average scheme with window width of 720 hrs. Second, the Haar wavelet is applied to decomposing the de-tided records such that the trend can be extracted. Third, computing the successive difference between the adjacent records of the trend, if the magnitude of the difference is bigger than 50 mm, then a spike that reveals a possible datum bias is defined. Fourth, computing the difference of average with 2 years duration before and after the spikes, if the magnitude of the difference is greater than 130 mm, then a bias is identified. Fifth, Counting the number of biases and modeling each bias as a step function, then the biases associated with the rate of SLR (mm/yr) can be simply expressed and corrected by a 2 parameters linear regression formula that solved by applying the least-square method. Finally, evaluating the capabilities by comparing the SLR rate of neighbor stations that own the more precise rate evaluated from satellite altimetry data or without correcting the datum biases. The procedures that designed and adopted to detect and correct the datum biases are substantially applied in this study. It is find that 5 stations of Kanmen, Xiamen, Tai-Po-Kau,			

Naha, and Legaspi, which located adjacent to Taiwan and selected from the tidal database of PSMSL, all can pass the bias detecting criteria so that correcting are not necessary. The rate of SLR (mm/yr) corresponding to the 5 selected stations is 2.62 ± 0.56 , 4.71 ± 1.17 , 4.34 ± 0.54 , 2.02 ± 0.46 , and 8.65 ± 0.52 , respectively. This imply that there are specifically geographic SLR trends presented around Taiwan with the south greater than the north, and the west greater than the east, and with minimum rate about 2.02 ± 0.46 at Naha, Japan and maximum rate about 8.65 ± 0.52 at Legaspi, the Philippines.

There are 11 stations of Keelung, Tamsui, Jhuwei, Taichung, Penghu, Jiangjun, Kaohsiung, Syunguanzui, Suao, Hualien, and Fugang, which located around the coast of Taiwan and selected from the tidal database of CWB, all cannot pass the bias detecting criteria and have to be corrected. After correcting the biases, the rate of SLR (mm/yr) corresponding to these 11 stations is 4.12 ± 0.32 , 9.10 ± 0.77 , 32.07 ± 0.69 , 24.53 ± 0.55 , 4.63 ± 0.44 , 5.08 ± 0.42 , -2.20 ± 0.39 , 12.21 ± 0.43 , 7.54 ± 0.42 , 1.79 ± 0.60 , and 4.68 ± 0.29 , respectively. Evaluating the capabilities of bias correction with reference to the specifically geographic SLR trends of stations adjacent to Taiwan, it is find that the accuracy of more than half of the 11 stations is poor, and only 5 stations of Keelung, Penghu, Jiangjun, Hualien, and Fugang, have reasonable rates of SLR to retain the specifically geographic trends. This imply that the capabilities of present bias correcting procedures are not yet good enough and need to be improved further. The causes may due to not only too many gaps and too long duration of leakages presented in the originally tidal records, but also the biases are not correctly identified.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION	
			☐ RESTRICTED	☐ CONFIDENTIAL
May 2016	134	200	☐ SECRET	☐ TOP SECRET
			☒ UNCLASSIFIED	

The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.

全球暖化引致臺灣海域海面水位昇降變動率之 評估研究(3/4)

— 臺灣環島驗潮站潮位基準偏移之自動化偵測與校正研究 —

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	III
目 錄	V
圖目錄	VII
表目錄	XII
第一章 緒論	1-1
1.1 研究緣起	1-1
1.2 文獻回顧	1-5
1.3 工作項目	1-11
1.4 研究成果之預期應用	1-12
第二章 驗潮站潮位與海面氣壓紀錄	2-1
2.1 驗潮站潮位資料庫	2-1
2.2 海面氣壓資料庫	2-4
2.3 鄰近臺灣及環島海岸驗潮站之檢選	2-9
第三章 基準偏移校正前置處理	3-1
3.1 長期潮位紀錄之低頻化	3-1
3.2 海潮改正	3-3
3.3 逆氣壓改正	3-6

3.4 中央移動平均之應用	3-8
第四章 潮位觀測基準之偏移與改正.....	4-1
4.1 基準偏移概述	4-1
4.2 基準偏移之檢測基準	4-1
4.3 基準偏移檢測應用	4-3
4.4 基準偏移之自動化校正	4-18
4.5 偏移改正準確度評估	4-25
第五章 結論與建議.....	5-1
5.1 結論.....	5-2
5.2 建議.....	5-5
5.3 研究成果之效益	5-5
5.4 可供本所或其他政府機關後續應用情形	5-6
誌謝	誌-1
參考文獻.....	參-1
附錄 1 間接平差理論.....	附 1-1
附 1-1 理論介紹.....	附 1-1
附 1-2 計算範例	附 1-2
附錄 2 期末報告審查簡報資料.....	附 2-1
附錄 3 期末報告審查會議紀錄及委員意見處理表.....	附 3-1

圖目錄

圖 1-1 相較於 1961~1990 年間平均地面溫度的全球平均溫度變化趨勢 (資料來源：IPCC WG1 AR4, Fig.TS.6)	1-2
圖 1-2 全球各海域 1992 年至 2013 年之平均海平面升降變化 (資料來源： AVISO, http://www.aviso.oceanobs.com/)	1-2
圖 1-3 全球平均之海平面上升趨勢 (資料來源：Shum and Kuo, 2011)	1-3
圖 1-4 臺灣海域應用 T/P 衛星測高資料進行 1961-2003 年分區之海平面 升降速率分析結果(資料來源：曾于恆，2008).....	1-8
圖 1-5 基隆港西碎波堤之基隆驗潮站旁 K021 點位相對於 K999 水準原 點之檢測高程差變化，自 1998~2009 年間檢測沉陷約 74mm，平 均約 6.7mm/yr (資料來源：內政部，2010)	1-10
圖 2-1 PSMSL 資料庫中基隆(上)與高雄(下)驗潮站近三十年期間之 RLR(紅點)與 Metric(黑)型態之逐月平均紀錄.....	2-3
圖 2-2 UHSLC 資料庫中基隆(上)與高雄(下)驗潮站近二十年期間之逐 月平均紀錄(紅點)及其與 PSMSL Metric 型態逐月平均紀錄(黑線) 之對照比較.....	2-3
圖 2-3 CWB 資料庫中基隆(上)與高雄(下)驗潮站近二十年期間之逐時 平均紀錄.....	2-4
圖 2-4 ECMWF 全球海面日(上)、月(下)之平均氣壓	2-6
圖 2-5 CWB 基隆(a)、蘇澳(b)、花蓮(c)、高雄(d)、臺中(e)等國內五大 商港海域之海面日平均氣壓.....	2-7
圖 2-6 CWB 基隆(a)、蘇澳(b)、花蓮(c)、高雄(d)、臺中(e)等國內五大 商港海域之海面月平均氣壓.....	2-8
圖 2-7 自 PSMSL 及 CWB 資料庫中檢選鄰近臺灣海岸及臺灣環島沿岸 之驗潮站位置(上)與近 20 年各站潮位紀錄之涵蓋期間(下).....	2-11
圖 2-8 PSMSL 潮位資料庫中廈門、坎門、大浦滯驗潮站近二十年期間 RLR 型態之逐月平均紀錄.....	2-12

圖 2-8(續) PSMSL 潮位資料庫中那霸、黎牙實比驗潮站近二十年期間 RLR 型態之逐月平均紀錄.....	2-13
圖 2-9 CWB 潮位資料庫中基隆、蘇澳、花蓮、高雄驗潮站近二十年期 間之逐時平均紀錄.....	2-14
圖 2-9(續) CWB 潮位資料庫中臺中、淡水、竹圍、澎湖驗潮站近二十 年期間之逐時平均紀錄.....	2-15
圖 2-9(續) CWB 潮位資料庫中將軍、蟬廣嘴、富岡驗潮站近二十年期 間之逐時平均紀錄.....	2-16
圖 2-10 近二十年期間以逐時等權方式計算基隆、蘇澳、花蓮、高雄驗 潮站之逐日平均紀錄.....	2-17
圖 2-10(續) 近二十年期間以逐時等權方式計算臺中、淡水、竹圍、澎 湖驗潮站之逐日平均紀錄.....	2-18
圖 2-10(續) 近二十年期間以逐時等權方式計算將軍、蟬廣嘴、富岡驗 潮站之逐日平均紀錄.....	2-19
圖 2-11 近二十年期間以逐時等權方式計算基隆、蘇澳、花蓮、高雄驗 潮站之逐月平均紀錄.....	2-20
圖 2-11(續) 近二十年期間以逐時等權方式計算臺中、淡水、竹圍、澎 湖驗潮站之逐月平均紀錄.....	2-21
圖 2-11(續) 近二十年期間以逐時等權方式計算將軍、蟬廣嘴、富岡驗 潮站之逐月平均紀錄.....	2-22
圖 3-1 潮位基準偏移校正之流程	3-2
表 3-1 實測潮位紀錄用以進行海潮改正之主要天文分潮	3-4
圖 3-2 基隆(上)與高雄(下)驗潮站之原始逐時潮位紀錄(a)及擬合之高 頻海潮(b)與進行海潮改正後之逐時潮位(c)	3-5
圖 3-3 基隆(上)與高雄(下)驗潮站原始(黑)及經海潮改正後(紅)之逐月 平均潮位比較.....	3-5
圖 3-5 基隆(上)與高雄(下)驗潮站之逐日平均潮位紀錄(a)及逆氣壓效 應(b)與進行逆氣壓改正後之逐日潮位時序(c)	3-7

圖 3-6 基隆(上)與高雄(下)驗潮站經逆氣壓改正後之逐月潮位時序	3-8
圖 3-7 近二十年期間基隆、蘇澳、花蓮、高雄驗潮站之逐時平均(黑)與其 720 小時中央移動平均(紅)紀錄	3-9
圖 3-7(續) 近二十年期間臺中、淡水、竹圍、澎湖驗潮站之逐時平均(黑)與其 720 小時中央移動平均(紅)紀錄	3-10
圖 3-7(續) 近二十年期間將軍、蟬廣嘴、富岡驗潮站之逐時平均(黑)與其 720 小時中央移動平均(紅)紀錄	3-11
圖 3-8 近二十年期間基隆、蘇澳、花蓮、高雄驗潮站之等權逐月平均(黑)與 720 小時中央移動平均(紅)紀錄之對照比較	3-12
圖 3-8(續) 近二十年期間臺中、淡水、竹圍、澎湖驗潮站之等權逐月平均(黑)與 720 小時中央移動平均(紅)紀錄之對照比較	3-13
圖 3-8(續) 近二十年期間將軍、蟬廣嘴、富岡驗潮站之等權逐月平均(黑)與 720 小時中央移動平均(紅)紀錄之對照比較	3-14
圖 4-1 PSMSL 潮位資料庫中廈門、坎門、大浦滬驗潮站之原始逐月平均潮位(黑)及扣除季節性潮位(綠)後之逐月平均潮位(紅)	4-6
圖 4-1(續) PSMSL 潮位資料庫中那霸、黎牙實比驗潮站之原始逐月平均潮位(黑)及扣除季節性潮位(綠)後之逐月平均潮位(紅)	4-7
圖 4-2 PSMSL 廈門、坎門、大浦滬驗潮站扣除季節性潮位後之逐月平均潮位(圖上)及其以小波分解後之高、低頻潮位(圖中)與用以作基準偏移偵測之差值潮位(圖下)	4-8
圖 4-2(續) PSMSL 那霸、黎牙實比驗潮站扣除季節性潮位後之逐月平均潮位(圖上)及其以小波分解後之高、低頻潮位(圖中)與用以作基準偏移偵測之差值潮位(圖下)	4-9
圖 4-3 CWB 潮位資料庫中基隆、蘇澳、花蓮驗潮站之原始逐月平均潮位(黑)及扣除季節性潮位(綠)後之逐月平均潮位(紅)	4-10
圖 4-3(續) CWB 潮位資料庫中高雄、臺中、淡水驗潮站之原始逐月平均潮位(黑)及扣除季節性潮位(綠)後之逐月平均潮位(紅)	4-11
圖 4-3(續) CWB 潮位資料庫中竹圍、澎湖、將軍驗潮站之原始逐月平均潮位(黑)及扣除季節性潮位(綠)後之逐月平均潮位(紅)	4-12

圖 4-3(續) CWB 潮位資料庫中蟬廣嘴、富岡驗潮站之原始逐月平均潮位(黑)及扣除季節性潮位(綠)後之逐月平均潮位(紅).....	4-13
圖 4-4 CWB 基隆、蘇澳、花蓮驗潮站扣除季節性潮位後之逐月平均潮位(圖上)及其以小波分解後之高、低頻潮位(圖中)與用以作基準偏移偵測之差值潮位(圖下).....	4-14
圖 4-4(續) CWB 高雄、臺中、淡水驗潮站扣除季節性潮位後之逐月平均潮位(圖上)及其以小波分解後之高、低頻潮位(圖中)與用以作基準偏移偵測之差值潮位(圖下).....	4-15
圖 4-4(續) CWB 竹圍、澎湖、將軍驗潮站扣除季節性潮位後之逐月平均潮位(圖上)及其以小波分解後之高、低頻潮位(圖中)與用以作基準偏移偵測之差值潮位(圖下).....	4-16
圖 4-4(續) CWB 蟬廣嘴、富岡驗潮站扣除季節性潮位後之逐月平均潮位(圖上)及其以小波分解後之高、低頻潮位(圖中)與用以作基準偏移偵測之差值潮位(圖下).....	4-17
圖 4-5 CWB 基隆、蘇澳、花蓮、高雄驗潮站逐月平均潮位進行潮位基準偏移校正前(黑)、後(紅)之對照比較	4-22
圖 4-5(續) CWB 臺中、淡水、竹圍、澎湖驗潮站逐月平均潮位進行潮位基準偏移校正前(黑)、後(紅)之對照比較	4-23
圖 4-5(續) CWB 將軍、蟬廣嘴、富岡驗潮站逐月平均潮位進行潮位基準偏移校正前(黑)、後(紅)之對照比較	4-24
圖 4-6 鄰近臺灣海岸廈門、坎門、大浦滯驗潮站應用近 20 年期潮位基準校正前、後之逐月平均潮位時序所估算之平均海平面升降年變率或 SLR 趨勢	4-31
圖 4-6(續) 鄰近臺灣海岸那霸、黎牙實比驗潮站應用近 20 年期潮位基準校正前、後之逐月平均潮位時序所估算之平均海平面升降年變率或 SLR 趨勢	4-32
圖 4-7 臺灣環島沿岸基隆、蘇澳、花蓮、高雄驗潮站應用近 20 年期潮位基準校正前、後之逐月平均潮位時序所估算之平均海平面升降年變率或 SLR 趨勢	4-33
圖 4-7(續) 臺灣環島沿岸臺中、淡水、竹圍、澎湖驗潮站應用近 20 年	

期潮位基準校正前、後之逐月平均潮位時序所估算之平均海平面升降年變率或 SLR 趨勢	4-34
圖 4-7(續) 臺灣環島沿岸將軍、蟬廣嘴、富岡驗潮站應用近 20 年期潮位基準校正前、後之逐月平均潮位時序所估算之平均海平面升降年變率或 SLR 趨勢	4-35
附圖 1-1 某特定地點每月一筆之地表垂直變動量觀測數據	附 1-3
附圖 1-2 地表垂直變動量之實測(黑)與估計(紅)值比較	附 1-6

表目錄

表 1-1 針對基隆與高雄驗潮站位經應用不同期間之實測潮位時序進行 SLR 分析之國內相關研究與成果	1-7
表 2-1 PSMSL 資料庫中基隆與高雄驗潮站之資訊。	2-2
表 2-2 UHSLC 資料庫中之基隆與高雄驗潮站之資訊。	2-2
表 2-3 CWB 資料庫中基隆與高雄驗潮站之資訊。	2-2
表 2-4 臺灣五大國際商港長期性之海面氣壓資訊	2-6
表 2-5 英國平均海平面永久服務中心(PSMSL)資料庫中鄰近臺灣且環繞臺灣海岸之驗潮站資訊。	2-9
表 2-6 中央氣象局(CWB)資料庫中之臺灣環島沿岸驗潮站資訊	2-10
表 3-2 原始及經海潮改正後逐時平均潮位紀錄之標準偏差(STD)比較	3-4
表 3-3 經逆氣壓改正前後逐日平均潮位紀錄之標準偏差(STD)比較	3-7
表 4-1 CWB 潮位資料庫中臺灣環島各驗潮站經基準偏移檢測判定確認有基準偏移發生之時序。	4-5
表 4-2 CWB 臺灣環島各驗潮站進行基準偏移偵測所得之偏移步階區段數與其對應之起始年月與偏移量	4-19
表 4-2(續) CWB 臺灣環島各驗潮站進行基準偏移偵測所得之偏移步階區段數與其對應之起始年月與偏移量	4-20
表 4-3 CWB 臺灣環島各驗潮站進行基準偏移校正前、後之標準偏差(STD)分析與比較	4-21
表 4-4 臺灣鄰近海岸及環島沿岸應用檢選驗潮站近 20 年期潮位基準校正前、後之逐月平均潮位時序估算平均海平面升降年變率或 SLR 趨勢並與應用 AVISO 衛星測高資料計算結果之對照比較	4-30
附表 1-1 某特定地點每月一筆之地表垂直變動量觀測數據	附 1-2

第一章 緒論

1.1 研究緣起

本研究主題與報告內所稱之「海面水位」或「海水位」，均係「海平面」之別稱；而平均海平面上升(mean sea level rise)，簡稱 SLR。

依據國科會台灣氣候變遷推估與資訊平台建置 (Taiwan Climate Change Projection and Information Platform, TCCIP) 最近期針對政府間氣候變遷專門委員會 (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) 於 2013 年 9 月 30 日所公布之氣候變遷第五次評估報告—第一工作小組報告的最終版草案 (final draft of WGI AR5) 及對 WGI AR5 給決策者摘要 (Summary for Policymakers) 所作的重點編譯與說明指出：對比氣候變遷第四次評估報告，2007 年以後的新研究，更加確認暖化的狀況持續發生以及人為因素對 20 世紀中以來暖化的影響。新觀測資料顯示，人為溫室效應，相對於 1750 年，估計增加 40%，而且從 1950 年代至今有持續加強的趨勢，其中，自 1971 年至 2010 年間地球氣候系統能量的增加，超過 90% 的能量累積於海洋中，且有 60% 儲存在海表層下 700 米以內的海洋，以致海洋暖化，海表層下 700 米以內的水溫上升，並促使海洋熱容量明顯增加。此外，推估 21 世紀末之氣候暖化程度，如圖 1-1，在平均值方面為攝氏 1.0~3.7°C，上下限為 0.3~4.8°C，略小於第四次評估報告的 1.8~4.0°C 與 1.1~6.4°C，故超過攝氏 2 度之暖化程度，也趨向於「比較可能發生」(more likely than not)。因此，在 21 世紀，推估全球平均海平面將會持續上升，如圖 1-2，且其平均海平面上升(sea level rise, SLR)很可能會超過 1901~2010 年間所觀測到的 0.17~0.21 公尺，換算速率最大約 1.9 mm/yr。而以 1980 至 1999 年間之平均海平面作基準，則在代表濃度過程 (Representative Concentration Pathways) 為 8.5 之最嚴重推算情境下，到本世紀末，平均海平面將再上升約 0.53~0.97 公尺。其中，在近 20 年間，全球的 SLR 速率約為 3 mm/yr，如圖 1-3。

由於大氣、海洋、冰界與水界各系統間之交互作用，平均海平面因而會產生升降變動，其中，導致平均海平面變化之主要原因(郭 等，2014)，大致可區分為兩方面：(一)比容海水面(steric sea level, SSL)變化，主要係緣於海水溫度與鹽度之變化而造成海水體積之變化，而海水溫度與鹽度分別造成的海水面變化，各別稱為熱比容(thermosteric sea level)和鹽比容(halosteric sea level)海水面變化；(二)海水質量變化，主要係緣於冰川或冰山融化、蒸發、降雨、徑流等陸、海、大氣各系統之間的水質量交換。

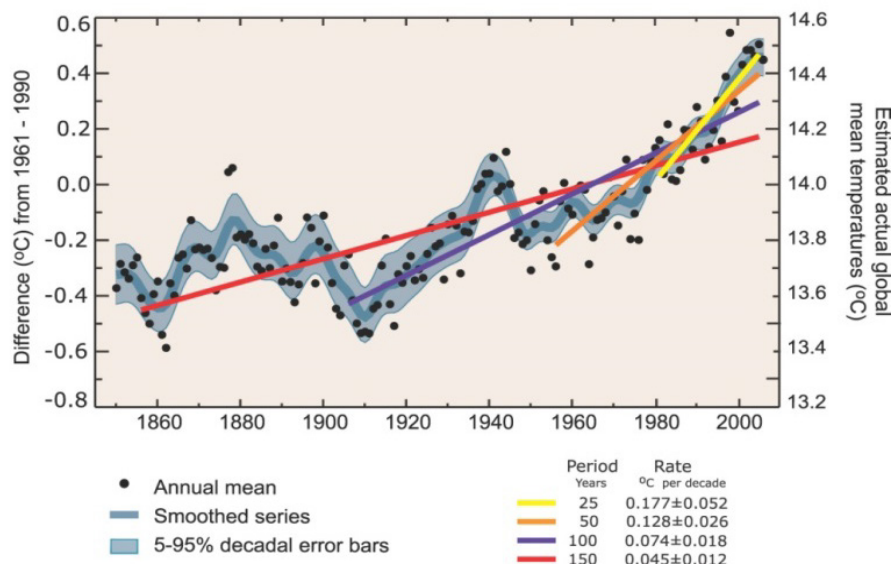


圖 1-1 相較於 1961~1990 年間平均地面溫度的全球平均溫度變化趨勢 (資料來源：IPCC WG1 AR4, Fig.TS.6)

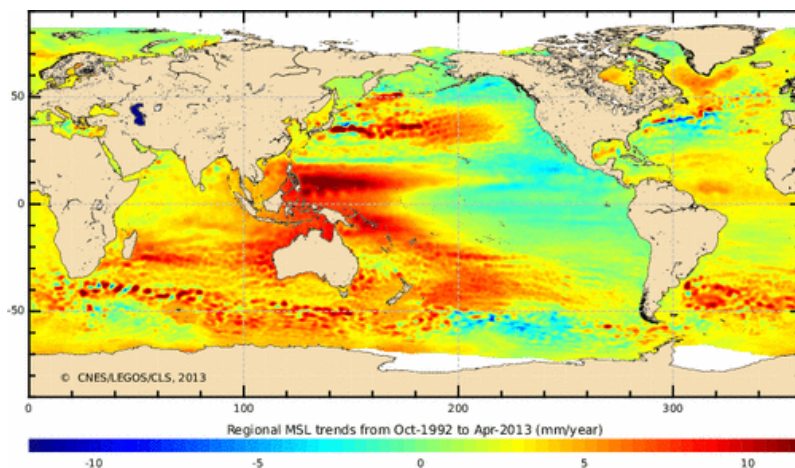


圖 1-2 全球各海域 1992 年至 2013 年之平均海平面升降變化 (資料來源：AVISO, <http://www.aviso.oceanobs.com/>)

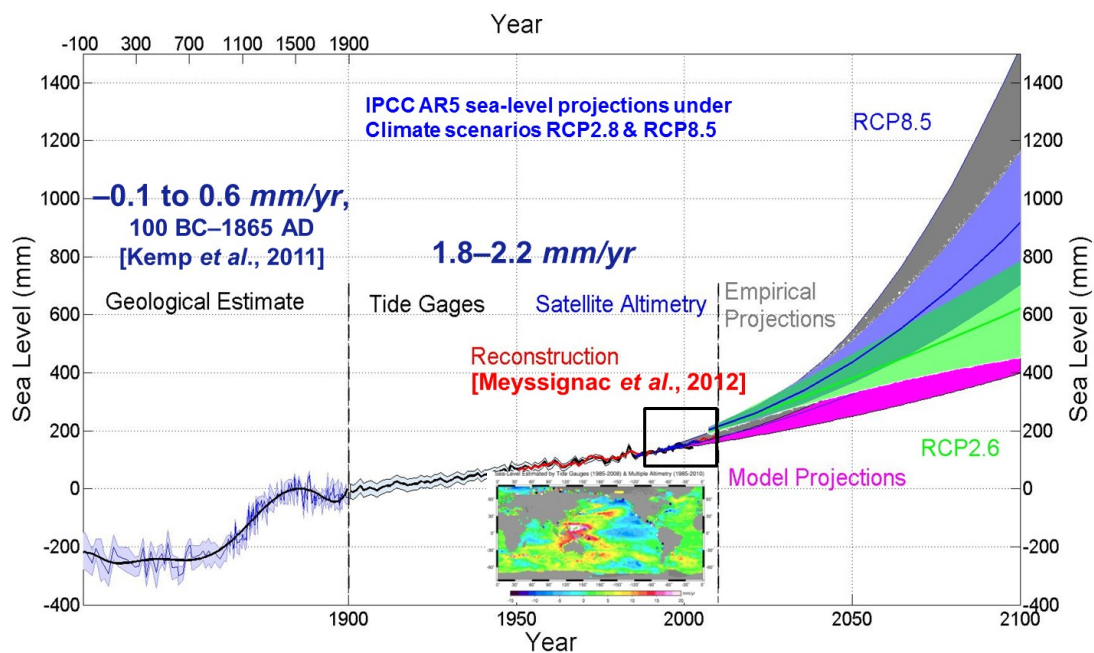


圖 1-3 全球平均之海平面上升趨勢 (資料來源：Shum and Kuo, 2011)

世界鄰海各國面對全球暖化所造成氣候變遷之衝擊，基於其各別所毗連海洋及海岸之地質、地理特性差異，因而不同海岸區位之平均 SLR，也應具有異於全球平均之區域變動特性，尤其是對居處歐亞大陸板塊及菲律賓海板塊交界並座落在西太平洋海域東亞大陸陸棚架上之臺灣，其東部海岸原本就因地殼板塊間相互擠壓而有每年數十公分等級之造山陸昇現象；而西部海岸，由於地下水超限使用，局部海岸地區亦有每年數公分等級之地層下陷陸沉事實，故欲就其海岸進行 SLR 區域升降特性之詳實科學分析評估，應具有極大之挑戰性。

臺灣為一海島國家，海岸線全長約 1520 公里，受全球暖化之影響，氣候變遷不僅會衍生區域之 SLR，所伴隨而來的極端洪澇及異常暴風浪侵襲，更會導致嚴重之海岸侵蝕，造成近岸海域環境、生態、景觀的破壞，進而威脅沿海居民的生命財產安全。行政院環境保護署(2011)更指出：「全球暖化為 21 世紀人類面臨最重大的挑戰，而臺灣的島嶼屬性，正屬於面臨全球氣候變遷過程中最具脆弱性的類型。」因此，近岸 SLR 變化趨勢之分析及年平均變動率之評估研究，對政府現行推

動「愛台 12 建設」之海岸新生、防洪治水、濕地保護及海岸與港灣的災害防救、環境優質永續、國民幸福安全等目標之達成，均極為重要。

面對全球暖化所造成氣候變遷之各類嚴峻課題，本研究訂定以推展「全球暖化引致臺灣海域海面水位昇降變動率之評估」為總目標。而參酌現今進行 SLR 之分析評估，所依據之海面水位資料，主要包括驗潮站之潮位監測紀錄與衛星航測之海面測高資料(Satellite altimetry)等二類。其中，衛星航測之海面測高資料，雖然其觀測範圍含括全球海洋，並且具有精度高(約 2~3 公分)及固定絕對之觀測參考基準等優點，但其僅有約近 20 年之觀測期，且在近岸區域，觀測資料較缺乏，空間之解析度較粗糙；而近岸驗潮站之潮位監測紀錄，不僅充分保留有全球暖化引致之氣壓與海溫等氣候變動資訊，更普遍具有長期性、區域性、與近岸準確度高等特點，惟其觀測紀錄，常會因儀器之更新維護而存在缺漏(lacks)與突衝(spikes)，甚且存在觀測基準之變動與偏移。相關驗潮站觀測基準之變動與偏移對 SLR 分析之影響，郭 等(2014；2015)曾以衛星測高資料之分析結果作為比較基準進行評估探討，並指出：「海潮與逆氣壓改正對 SLR 分析之影響程度，皆約為 0~2 mm/yr ；地表垂直變動改正之影響量，平均約 4~5 mm/yr ；而基準偏移量改正之影響量，平均可達 23 mm/yr 。」可見，海潮效應與逆氣壓改正，對 SLR 分析之影響程度甚有限，但驗潮站之垂直變動與觀測基準之偏移，則具有顯著之影響。

鑑此，本研究將結合 PSMSL 及 CWB 等國、內外之驗潮站潮位資料庫，並以 1990~2013 年之近 20 年作為研究期間，分別檢選環繞臺灣海岸及臺灣環島沿岸驗潮站之逐月與逐時平均潮位紀錄，首先，應用驗潮站號變更與斷續缺漏期間長短等判別準則，進行潮位基準偏移樣態之初步檢測；其次，應用六參數擬合法，並以間接平差計算方式，移除季節性潮位訊息，並應用小波理論進行逐月潮位紀錄之分頻分解與低頻化；接著，研定基準偏移辨識準則，據以自動判別及確認發生潮位基準偏移之紀錄期間與個數；最後，再應用含步階函數之二參數擬合法，結合間接平差計算，完成潮位基準偏移之自動校正與平均海

平面升降年變率或 SLR 趨勢之估算，同時，藉與毗鄰驗潮站或衛星測高資料 SLR 分析結果之對照比較，以評估潮位基準偏移自動校正之效能，並確認其準確性與應用性。

1.2 文獻回顧

近百年來，由於全球暖化，致使全球各國政府均必須嚴肅面對氣候變遷之衝擊，而為各類必然衝擊之因應，影響之減低，鄰海國家無不深切關注海平面上升(SLR)所伴隨而來之海岸溢淹、國土沖蝕、濕地環境景觀生態受到嚴重破壞等近海防災課題，進而積極投入相關之研究與評估(Leatherman *et al.*, 2000; Webster *et al.*, 2005; Wilson *et al.*, 2011, IPCC, 2013)。

在本(21)世紀初，政府間氣候變遷專門委員會 IPCC (2013)及 Douglas (2001)、Mitrovica *et al.* (2001)、Church *et al.* (2004)、Church and White (2011)、Shum and Kuo (2011)等學者均曾就 20 世紀之地球科學觀測資料，推估全球平均 SLR 為每年約 1.5~2.4 mm，一般代表性之年變率則約為 1.8 mm/yr。馬 等(2007)曾以最小二乘法擬合 1992 年至 2007 年間之海平面上升速率，並計算出全球海平面的平均上升速度約為 2.8 ± 0.2 mm/yr，並發現全球不同區域的海平面上升速度不同，上升最顯著的區域是低緯度附近之西太平洋海域，南半球中高緯度帶次之，另一方面，赤道東太平洋部分區域之海平面下降較明顯。Rahmstorf (2007)、Horton *et al.* (2008)皆曾依據氣候變遷觀測數據分析評估並預測，到 2100 年 SLR 將比 1990 年高出 1.4m。Zhan *et al.* (2009)利用 14 年之衛星測高資料估計黃海、東海、南海之 SLR 分別為 3.91 mm/yr、4.28 mm/yr、3.49 mm/yr，這表示台灣附近海域之海水面變化主要呈現上升情形。Merrifield *et al.* (2012)探討氣候因子對 SLR 之影響，證實週期約 2~8 年之聖嬰-南方振盪(ENSO: El Niño Southern Oscillation)與週期約 15~25 年之太平洋年代際振盪(PDO: Pacific Decadal Oscillation)，皆與西太平洋海域之 SLR 變化具高相關性。Zhang and Church (2012)

結合衛星測高資料之分析，進一步再證實 ENSO 對太平洋海域的主要影響範圍在緯度 $\pm 20^{\circ}$ 以內，而 PDO 則及於太平洋全海域。郭 等(2016)針對臺灣環島沿岸驗潮站之長年紀錄，利用多變量擬合法，也確認 PDO 對臺灣海域之 SLR 具影響性。中研院地球科學所研究員汪中和近期在媒體上亦曾表示：「臺灣因為地理位置在東北半球，加上地球自轉方向是西向東轉，又是海洋潮流匯聚之地，因此，臺灣海域平均之 SLR，約會是全球平均值之 2 倍以上，海拔高度 2 公尺以下的地區非常危險。」Ericson et al. (2006)依據其研究成果估計：「如果全球 SLR 持續有 2 mm/yr 之年變率，則到 2050 年，全球將有約 40 個海岸河口三角洲及多達約 871 萬人，會遭受因氣候變遷所衍生 SLR 之災害。」在 2001 年，太平洋島國 Tuvalu Island 受 SLR 之衝擊而淹沒，成為全球首個舉國移民之國家。Llovel et al. (2010)則從衛星測高成果分析指出：「全球各區域的 SLR 並不一致。」故而詳細的 SLR 分析，實際應按不同分區之海域特性分別進行。

針對臺灣海域，郭 等(1997)即曾探討氣候變遷對臺灣海平面上升及對海岸地形之影響。董 等(2008)曾蒐集臺灣環島沿岸長期之海水位實測資料，並透過回歸分析計算 SLR，並指出：「不論基隆或高雄，在 1975 年前海水位均呈現下降趨勢，1975 年後兩地均有顯著之上升趨勢，基隆海水位上升速率 3.81 mm/yr，高雄海水位上升速率則為 3.23 mm/yr；在全球暖化沒有加劇的假設條件下，2100 年時，台灣附近海域海水位將比現在上升 30-35 公分左右。」柳 等(2008)在其“台灣地區未來氣候變遷情境預估”研究文中則曾指出並建議：「有關 21 世紀末海水位上升預估方面，國內並無適當之預估數據。IPCC 預估約上升 0.6 公尺，普遍認為太過保守。而亦有過分高估到 6 公尺以上的數據。在此建議參考荷蘭策略，取未來將上升一公尺為相關因應之考量基礎，如嘉南平原、台北盆地、蘭陽平原等，都將面臨國土流失的考驗。」

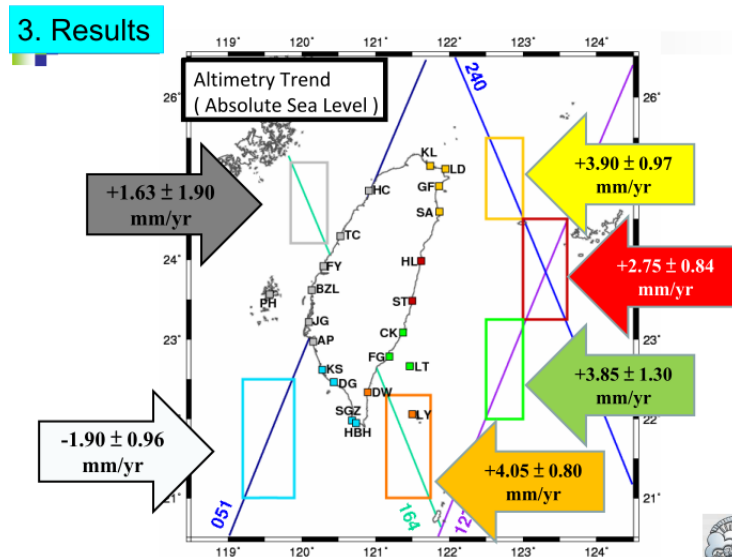
針對分別座落在臺灣南、北海域之基隆與高雄驗潮站，經應用不同期間之實測潮位時序進行 SLR 分析之國內相關研究與成果，參考董 等(2008)之整理，可再綜合匯總如表 1-1 所示。

此外，黃 等(2010)結合既有環島沿岸驗潮站之潮位紀錄和衛星測高資料，分別採用線性迴歸與傅立葉分析(Fourier analysis)來估算臺灣周圍之 SLR，結果說明兩方法所分別估算之年變率差異，最大可達 27 mm/yr；而依據 1992-2009 年臺灣環島沿岸驗潮站紀錄分區進行線性迴歸分析，可得台灣環島海域海平面的上升量約為 5.2 mm/yr，其中，臺灣北部、西部、西南部、南部與東部之 SLR，分別約為 4.95、10.7、4.31、9.80 與 55.6 mm/yr，至於在東部海域之偏大年變率，經與衛星測高資料之計算趨勢比對，作者推測其應係東部的活躍地殼變動所造成。

表 1-1 針對基隆與高雄驗潮站位經應用不同期間之實測潮位時序進行 SLR 分析之國內相關研究與成果

研究人員\驗潮站	基隆	高雄
郭金棟(1997)	1971-1994 3.98 mm/yr	1971-1994 1.03 mm/yr
黃金維(1999)	1993~1999 西太平洋之臺灣海域 6.7 mm/yr (T/P 衛星測高儀)	
施學銘(2000)	max. 0.472 mm/yr	
張憲國、許泰文(2001) 引用黃金維(1999)	1988-1995 10.5 mm/yr	1970-1997 1.2 mm/yr
范光龍(2005)	1991~2001 6.0 mm/yr	1991~2001 3.7 mm/yr
曾于恆(2008)	1961~2003 臺灣海域 2.51mm/yr	過去 10 年 6.79 mm/yr
董東璟 等(2008)	1980~2002 5.91 mm/yr	1975~2007 3.64 mm/yr
黃清哲 等(2010)	1992~2009 4.95 mm/yr	1992~2009 9.8 mm/yr(蟬廣嘴)
郭重言 等(2014)	2002~2011 臺灣北部 -1~2 mm/yr	2002~2011 臺灣南部 4~8 mm/yr
莊文傑 等(2014)	2003~2012 23.3 mm/yr(麟山鼻)	2002~2008 7.3 mm/yr
莊文傑 等(2015)	1993~2012 4.87mm/yr	1993~2012 1.75mm/yr
郭重言 等(2015)	1993~2012 2.2~3.3 mm/yr	1993~2012 臺灣南部 3.9~4.6 mm/yr

曾 等(2008)及 Tseng et al. (2010)曾利用與臺灣鄰近之八個驗潮站資料和衛星測高資料，分析估計區域性之 SLR 變化，並以局部加權回歸散點平滑法(locally weighted scatterplot smoothing, LOWESS/LOESS)處理非線性之 SLR 趨勢，主要研究結果，如圖 1-4 所示，並指出「1996~2003 年利用驗潮站潮位紀錄計算 SLR 趨勢為 2.4 mm/yr；1993~2003 年分別應用驗潮站潮位紀錄和衛星測高資料計算之趨勢分別為 5.7 mm/yr 和 5.3 mm/yr。」這結果說明：臺灣海域之平均 SLR 年變率，明顯大於全球平均值，而且應用不同期間之驗潮站潮位紀錄進行 SLR 估算，所得結果亦不相同。此外，再就圖 1-4 觀察臺灣環島分區海域之 SLR 空間差異可見，臺灣東部海域普遍大於西部，而且西北部亦大於西南部，其中，在臺灣之西南部海域，SLR 為負值，這顯示該海域之平均海平面，不僅未上昇，甚且具有下降之趨勢。



上升幅度最為明顯；近三十年的氣溫變化趨勢則以冬季氣溫的上升趨勢最為顯著。在空間分佈上，臺灣各地測站均觀測到氣溫上升的趨勢。平均來說，過去 100 年全臺灣的平均氣溫上升約 0.8 度，超越過去百年全球平均溫度上升的兩倍。尤其最近 10 年上升的速度最快，其中五代表性測站（台北、臺中、台南、花蓮、台東）的上升速度約 1.4 度。」在 SLR 變化方面，吳 等(2010)引述 2002 年「國家通訊」內文指出：「依據國內 14 處驗潮站長期海平面觀測資料分析發現，近九十年來，基隆、竹圍、塭港、將軍、安平、高雄及梗訪等地之海平面有上升之趨勢；而臺中、富岡、蘇澳等之海平面則是有逐年下降的情形。此外，結合現場潮位資料與衛星觀測資料分析臺灣附近海域海平面變動情形，發現近五十年來，台灣附近之海平面上升速度約 2.4 mm/yr，為同時期全球平均海平面上升速度的 1.3 倍；其中，西南沿海地層下陷區之海平面上升速率甚至高達約 7.89 mm/yr，可見臺灣附近海平面上升趨勢極為顯著。」

許 等(2011)曾編撰“台灣氣候變遷科學報告”，並於其第六章「氣候變遷與災害衝擊」內文中引用 2007 年之 IPCC 第四次評估報告指出：「1993-2003 年的 10 年中全球海平面高度平均增加了 3.1 公分，到 2100 年之前，還會增加 18~59 公分。」另外，在 SLR 分析方面，許 等(2011)於其第四章「臺灣地區氣候變遷」內文中尚指出：「臺灣東部海域，由於地質斷層的劇烈垂直運動，故不採用東部之驗潮站資料。其他之驗潮站，則選用以位在同一板塊上為主，藉以忽略板塊運動對資料所產生之影響。」、「在長期時間尺度下，可以發現自 1950 年以來，與臺灣鄰近之每個測站的海平面高度變化(包括香港 1.14mm/yr、坎門 1.78mm/yr、高雄 2.41mm/yr、基隆 1.17mm/yr、沖繩 2.10mm/yr、名瀨 0.31mm/yr、澎湖 6.06mm/yr、廈門 1.20mm/yr)都處於上升的趨勢，並表現明顯的年際與年代際震盪。其中，海平面高度上升最快速的時期皆發生在 1970 與 1990 年代。臺灣周遭測站，最近海平面高度上升速率最大值發生於 1990 年代後期(超過 10mm/yr)，這主要是由於 1997~1998 年著名的強聖嬰現象所造成。」

林 等(2011)在其研究文中亦曾指出：「20 世紀以來之海水位上升率已達約 2 mm/yr，在 1961-2003 年間數十年的趨勢變動約為 3.1 mm/yr；在海水位每 10 年趨勢變化率之分析中，基隆測站的變化速度為最快，地層下陷，參見圖 1-5，可能為主要的影響因子；高雄測站具有較大變動，最高在 1993 年(17.7 mm/yr)，最低在 1999 年(-12.6 mm/yr)。海水位 10 年趨勢變化率之 10-20 年的變化特性可能與 PDO 相關，低頻水位變化與 PDO 則呈現負相關。」另外，該文尚提示：「以驗潮站觀測資料進行海水面變化速率計算時，除了需考慮地殼變動速率外，還需進行大氣壓力之逆氣壓(inverted barometer, IB)效應改正。然而長期以來臺灣驗潮站之數據並未經過基準點的校正、驗證及氣壓之改正，且基隆之水準點自 1998~2009 年間沉陷約 74 mm (內政部，2010)，由於潮位數據並未經此改正，其影響海水位上升甚鉅。」

關於考量地殼垂直變動對估算 SLR 之影響，劉 (1987)即曾探討平均海水面與地殼垂直變動之相關性。Chang *et al.* (2012)亦曾應用驗潮站之潮位紀錄，進行地殼垂直變動量之推算，並指出：「基隆驗潮站之地殼垂直變動量，可能大於 SLR。」

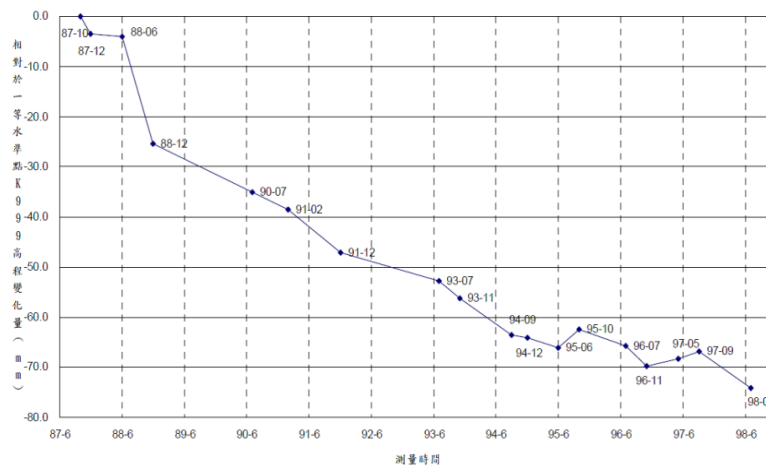


圖 1-5 基隆港西碎波堤之基隆驗潮站旁 K021 點位相對於 K999 水準原點之檢測高程差變化，自 1998~2009 年間檢測沉陷約 74mm，平均約 6.7mm/yr (資料來源：內政部，2010)

最近期，陳 等(2014)為建立臺灣環島長期歷史海平面觀測資料庫，曾針對 17 個驗潮站之觀測記錄，就其可能之基準面偏移課題，開發海平面均一化之資料檢校系統。郭 等(2014)結合近十年(2002~2011)之衛星測高資料與驗潮站紀錄進行「臺灣四周海域近十年之海水面變化速率研究」，並於該研究文中，首先，估算臺灣環島驗潮站近十年之地殼變動速率，其後，再將其自驗潮站之潮位紀錄中移除，而後分區進行 SLR 分析，主要研究結果指出：「臺灣周圍海域各分區的海水面變化主要呈現上升現象，上升速率由北向南遞增，其中，臺灣北部 SLR 年變率為-1~2 mm/yr、南部為 4~8 mm/yr、而到菲律賓鄰近海域，SLR 年變率約可高達 8~14 mm/yr。至於若應用衛星測高資料估算緯度：10°N~30°N；經度：110°E~130°E 範圍內全臺灣四周海域之 SLR 年變率，可得約為 6~8 mm/yr。」關於地殼垂直變動量之分析估算，該研究進一步指出：「臺灣周圍驗潮站大多呈現地殼下沉情形，其中，臺灣西南部驗潮站為顯著下沉之區域，而塭港驗潮站周圍地殼表面下沉量最大，每年可下沉 3~4 公分，地殼變動改正的影響量平均值約 7.5 mm/yr。」此外，該研究尚評估海潮、逆氣壓效應、偏移量與地殼變動等改正對於利用臺灣周圍驗潮站資料估算 SLR 變化速率之影響，並確認：「潮位紀錄偏移量改正對估算 SLR 年變率之影響最為顯著，一般皆在 30 mm/yr 以上，因此若應用未經偏移量和地殼變動改正的驗潮站資料進行 SLR 年變率估算，將造成嚴重誤差。」至於臺灣四周海域近二十年(1993~2012)之長期性海水面變化速率，則可參見郭 等(2015；2016)，以及莊 等(2015)最近期之相關研究分析結果。

1.3 工作項目

本研究_「臺灣環島驗潮站潮位基準偏移之自動化偵測與校正研究」為四年期總研究計畫_「全球暖化引致臺灣海域海面水位升降變動率之評估」之第三分年研究課題。研究重點在主動積極因應全球暖化所造成氣候變遷之衝擊與影響，針對臺灣環島海岸，應用英國平均海

平面長久服務中心(The Permanent Service for Mean Sea Level, PSMSL)所收錄近二十年期(1990~2013)之毗鄰臺灣海岸驗潮站資料，以及我國中央氣象局(CWB)等各政府機關在基隆、蘇澳、花蓮、高雄、臺中等國內五大國際商港海域及在淡水、竹圍、澎湖、將軍、蟬廣嘴、富岡等環島沿岸驗潮站長期所收錄之觀測潮位紀錄，應用郭 等(2014;2015)所提之潮位觀測基準偏移改正方法，重新檢視基準偏移偵測與判定準則之妥適性，並藉對照比較毗鄰驗潮站之 SLR 分析結果，評估基準偏移改正之效能與準確性。主要之年度研究重點工作項目如下：

- (1). 毗鄰臺灣海岸及臺灣環島沿岸驗潮站近二十年期實測潮位紀錄之檢索、蒐集與整理。
- (2). 臺灣環島驗潮站潮位基準偏移樣態綜合檢視。
- (3). 潮位基準偏移偵測與判定準則研析與訂定。
- (4). 潮位基準偏移改正方法研究。
- (5). 應用環繞臺灣海岸及臺灣環島沿岸驗潮站近二十年期之實測潮位紀錄，進行基準偏移改正，並分析基準偏移改正前後之平均海平面上升率(SLR)。
- (6). 藉毗鄰臺灣環島沿岸驗潮站 SLR 分析結果之交互對照比較，檢測潮位基準偏移改正法之效能，並評估其準確性。
- (7). 年度研究報告綜合整理與撰寫及提交。

1.4 研究成果之預期應用

本研究成果之預期應用，可綜整條列如下：

- (1). 確實準確地掌握海岸經營管理及防災等水情，提供政府及業界掌握臺灣近岸海域近二十年期詳實的平均海平面升降變動率特性，藉以促進都市防洪排水規劃、設計及維護等工程之效能提

昇，有效因應全球暖化所造成的氣候變遷課題，強化防災、減災與救災資訊，敦節實施全面監測之人力及物力之投注成本。

- (2). 針對臺灣環島近岸驗潮站資料庫長期所收錄之潮位紀錄，探討潮位基準偏移課題，研提自動校正之有效方法，並準確可靠地將臺灣環島海域長期性的潮位紀錄，應用於平均海平面升降變動率之分析。藉以反饋及確認全球暖化、氣候變遷所造成的影響，減少人為溫室效應，達成海岸保育與永續利用之目標。
- (3). 具體配合政府推展「海洋國家」之策略目標，落實海洋經理政策，補充既有海象監測及防災資料庫之完整，強化因應全球暖化、氣候變遷課題之決策資訊，厚植近岸防災預警與風險管理機制之關鍵技術，提升近岸海域災害應變與預警能力，精進災害風險評估系統，強化救災及預警科技之評估效能及應用。
- (4). 結合國際海洋科學資源，擴展海岸科技學能，強化跨領域之合作研究，堅實科技人力資源，落實總體性之海岸保育與防災策略。就臺灣環島共 11 處驗潮站之潮位基準偏移課題，建立系統化之自動校正架構，進而詳實分析並評估臺灣環島各驗潮站區位之平均海平面年變動率資訊。相關成果可提供交通部、環資部、內政部、本所、各港務分公司、經濟部水利署、各工程顧問公司等相關產、官、學、研單位從事海岸開發、港灣規劃、設計、擴建及維護的應用參考。

第二章 驗潮站潮位與海面氣壓紀錄

2.1 驗潮站潮位資料庫

驗潮站為設置於海岸、港灣、河口、及近海礁岩上之潮位觀測站。其所觀測之逐時海面水位變化，充分包含有全球氣候暖化的資訊。臺灣環島沿岸之驗潮站與長期之潮位紀錄，主要可自下列三處資料中心蒐集及取得：(1)英國平均海平面永久服務中心(Permanent Service for Mean Sea Level, PSMSL) [<http://www.psmsl.org/>]；(2)美國夏威夷大學海水位中心(University of Hawaii Sea Level Center, UHSLC) [<http://uhslc.soest.hawaii.edu/>]；(3)我國中央氣象局(Central Weather Bureau, CWB) [<http://www.cwb.gov.tw/V7/>]。

PSMSL是一個全球驗潮站紀錄收集、整理、分析、與資料提供之服務組織。其潮位資料包含有RLR (Revised Local Reference)與Metric二類，其中，RLR為已經參考地方潮位基準作修正後之潮位資料；而Metric則為原始收集資料。故兩者之資料紀錄期間長短，常因潮位基準修正處理之有無而有所不同。惟兩者之觀測數據，均為每月平均一筆。

在PSMSL之潮位資料庫中，以分處臺灣南北兩端之基隆及高雄驗潮站為例，其相關站位、編號、紀錄期間等資訊，分別如表2-1所示，而其逐月平均紀錄，則可整理如圖2-1所示。觀察表2-1及圖2-1可見，基隆與高雄二驗潮站，近30年來，雖保存有Metric型態之完整記錄，但其RLR型態之記錄，大約在1996年後，實際存在有明顯之基準偏移(bias)未改正情形。

UHSLC亦是一個全球驗潮站之海水位紀錄收集、整理、分析、與資料提供之中心。其潮位資料來源與PSMSL相同，資料格式為每日平均一筆數據。在UHSLC資料庫中，針對基隆及高雄兩處驗潮站，其相關站位、編號、紀錄期間等資訊，分別如表2-2所示，而其逐月平均紀錄，則可整理如圖2-2所示。觀察表2-2及圖2-2可見，基隆與高雄二驗

潮站，大約在1995年以前，UHSLC與PSMSL潮位資料庫中之逐月平均紀錄，甚相近似；而在1995年以後，則因基準偏移之校正有無而存在差異。

基於科學研究與工程應用之需要，國內曾有多個機構，各別曾在臺灣環島沿岸建置驗潮站，並進行期距長短不一之潮位觀測。其中，中央氣象局(CWB)為臺灣環島潮位資料之主要監測與經管機關，所經管之驗潮站，約計有40處。在CWB資料庫中，針對基隆及高雄兩處驗潮站，其相關站位、編號、紀錄期間等資訊，分別如表2-3所示，觀察表2-3可見，基隆與高雄驗潮站，各自皆有其個別之設置期間與維護單位，且其原始紀錄之時間間距，約在2000年以前，大多為逐時平均；而在2000年以後，普遍均為6分鐘平均。相關時序紀錄，統一經逐時平均處理後，分別可整理如圖2-3所示。

表 2-1 PSMSL 資料庫中基隆與高雄驗潮站之資訊。

Station ID.	Station name			Lon(°)	Lat(°)	Data period	
	Ch.	Eng.	Abbr.			RLR	Metric
612002	基隆	Keelung	KL	121.7	25.1	1956-1995	1948-2010
612012	高雄	Kaohsiung	KS	120.3	22.5	1973-1989	1973-2010

表 2-2 UHSLC 資料庫中之基隆與高雄驗潮站之資訊。

Station ID.	Station name			Lon(°)	Lat(°)	Data period
	Ch.	Eng.	Abbr.			
341	基隆	Keelung	KL2	121.8	25.2	1980-2012
340	高雄	Kaohsiung	KS2	120.3	22.6	1980-2012

表 2-3 CWB 資料庫中基隆與高雄驗潮站之資訊。

Station ID.	Station name			Lon(°)	Lat(°)	Records (minutes)	Data period	Originator
	Ch.	Eng.	Abbr.					
1511	基隆	Keelung	KL3	121.7	25.2	60	1992-2000	基隆港務局
1513				X	X	60	2004-2006	基隆港務局
1516				121.8	25.2	6	2006-2013	中央氣象局
148	高雄	Kaohsiung	KS3	120.3	22.6	60	1987-2006	高雄港務局
1486				120.3	22.6	6	2004-2013	內政部

X: 表示原始資料中未提供該項資訊

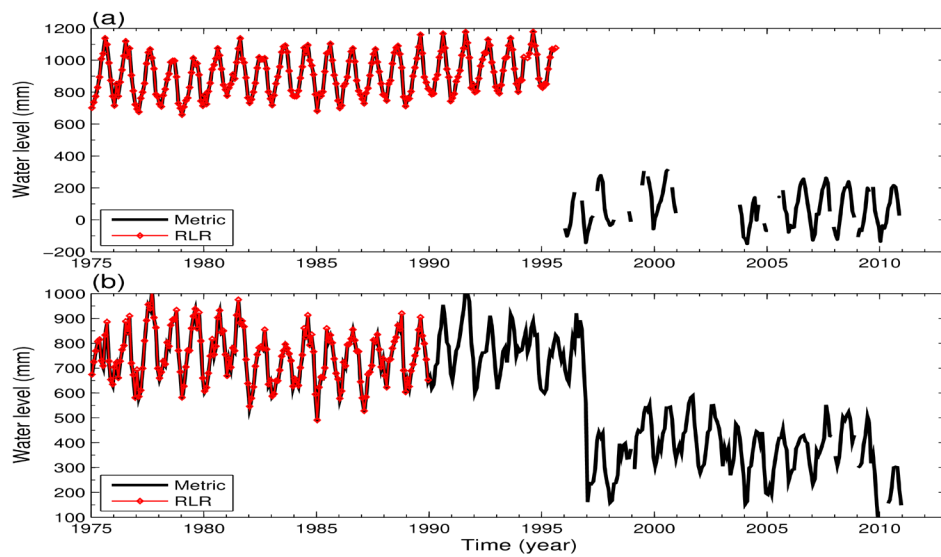


圖 2-1 PSMSL 資料庫中基隆(上)與高雄(下)驗潮站近三十年期間之 RLR(紅點)與 Metric(黑)型態之逐月平均紀錄

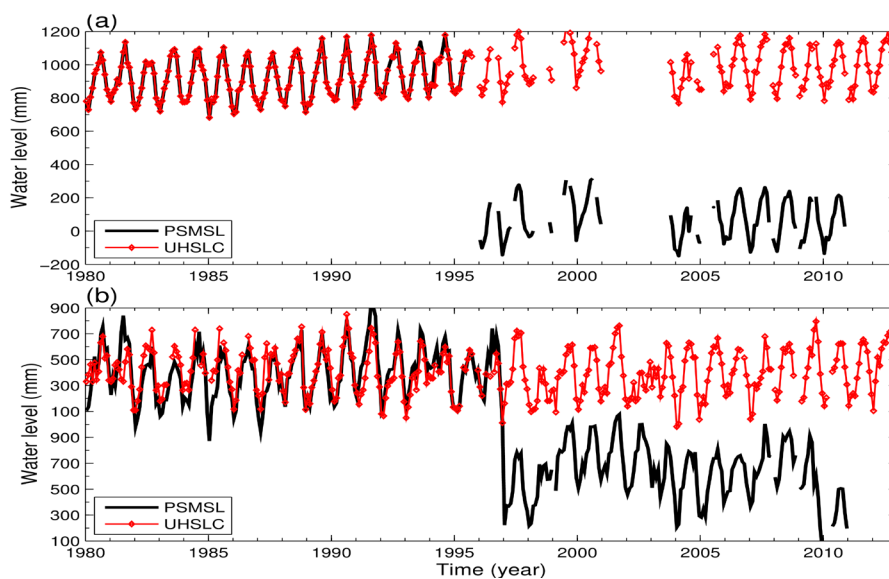


圖 2-2 UHSLC 資料庫中基隆(上)與高雄(下)驗潮站近二十年期間之逐月平均紀錄(紅點)及其與 PSMSL Metric 型態逐月平均紀錄(黑線)之對照比較

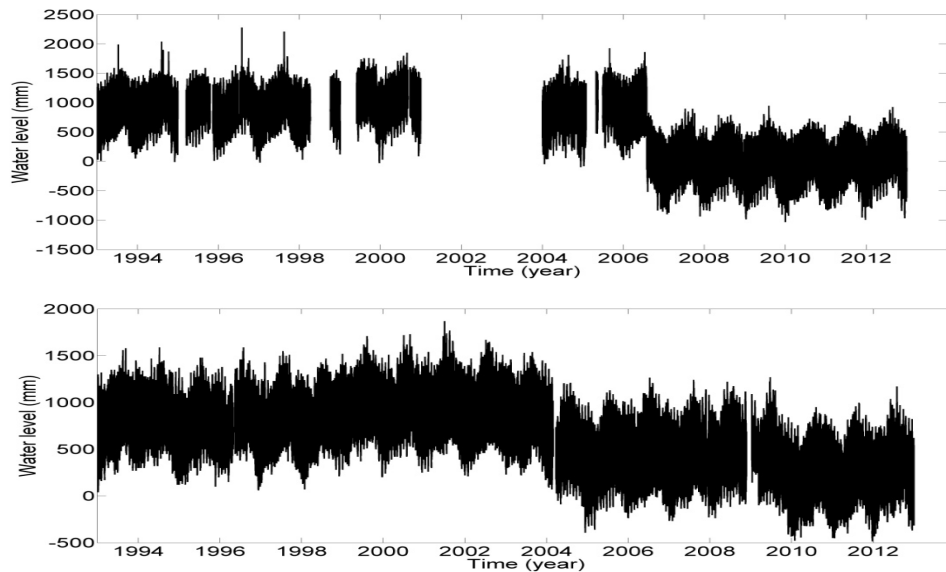


圖 2-3 CWB 資料庫中基隆(上)與高雄(下)驗潮站近二十年期間之逐時平均紀錄

觀察圖2-3可見，基隆與高雄驗潮站，基於個別設置期間、維護單位與設置地點之差異，加以區域性地殼昇降與局部基準點沉降及儀器更新、維護之複合影響，致使長期性的觀測資料，不僅均含有長短不一之紀錄缺漏情形，更普遍具有潮位基準偏移(bias)之情形。其中，基隆港約在2006年後，而高雄港約在2004及2010年後，潮位基準偏移情形均甚明顯。

2.2 海面氣壓資料庫

海面氣壓不僅會因全球氣候暖化而變動，在相關逆氣壓(inverted barometer, IB)與熱比容(thermosteric)效應之共同影響作用下，更會促使平均海平面產生綜合性的升降變化。

針對臺灣環島海域，海面氣壓資料通常可由下列三個資料中心取得：(1)歐洲中尺度天氣預報中心 (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF) [<http://www.ecmwf.int/>]，該中心提供全球網

格解析度 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 之海面氣壓再分析資料，時間間隔有六小時、日平均及月平均等三種，資料涵蓋期間為 1980~2012 年；(2)美國國際環境預測中心(National Centers for Environmental Prediction, NCEP) [<http://www.cdc.noaa.gov/>]，該中心提供全球網格解析度 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 之海面氣壓再分析資料，時間間隔亦有六小時、日平均及月平均等三種，資料涵蓋期間為 1948 年迄今；(3)我國大氣研究資料庫(Data Bank for Atmospheric Research, DBAR) [<http://dbar.ttfri.narl.org.tw/>]，該資料庫收錄 CWB 在臺灣各地所設置共 33 個氣象測站之化算平均海平面氣壓。

為準確度顧慮與應用選擇之需要，針對網格解析度分別為 0.5° 及 2.5° 之 ECMWF、NCEP 以及站位分布於臺灣環島特定海岸位置之 CWB/DBAR 海面氣壓資料庫，透過雙線性內插法，先將 ECMWF 與 NCEP 之網格氣壓資料內插至 CWB/DBAR 之氣壓觀測站位，再分別計算三種海面氣壓資料庫間之相關係數，由結果(莊 等，2014)可確認，各海面氣壓資料庫之相關係數，普遍均大於 0.95，即彼此具有十分良好之相關性與一致性。

以具有 0.5° 空間網格解析度之 ECMWF 之全球網格氣壓資料為代表，因此可得全球海面日平均及月平均氣壓變化，如圖 2-4 所示。由圖觀察可見，全球網格氣壓資料具有極佳之連續性。進一步進行簡單之統計分析，可得全球海面日平均及月平均氣壓變化之長期性平均值，均為 1010.9 mb(毫巴)，標準差分別為 0.56 及 0.47 mb，皆略小於 1013 mb 之一大標準氣壓通用值。

至於 CWB DBAR 在基隆、蘇澳、花蓮、高雄、臺中等國內五大商港海域之海面日平均與月平均氣壓，經整理分別可如圖 2-5 與圖 2-6 所示。由圖詳細觀察可見，國內五大商港海域之逐日或逐月平均海面氣壓，通常在夏季最低，而在冬季最高，即明顯具有季節性之年週期變化。至於長期性之逐日與逐月海面氣壓平均值及其標準偏差，經分析可得如表 2-4，皆與標準大氣壓 1013 mb 相近似。另外，其年變率皆甚小，僅約 $\pm 0.1 \text{ mb/yr}$ 。

表 2-4 臺灣五大國際商港長期性之海面氣壓資訊

驗潮站	逐日平均		逐月平均	
	平均值	標準偏差	平均值	標準偏差
基隆(KL)	1014.2	6.9	1014.2	5.9
蘇澳(SA)	1014.2	6.5	1014.2	5.5
花蓮(HL)	1014.5	6.1	1014.5	5.1
高雄(KH)	1012.6	5.5	1012.6	4.6
臺中(TC)	1013.8	6.2	1013.8	5.3

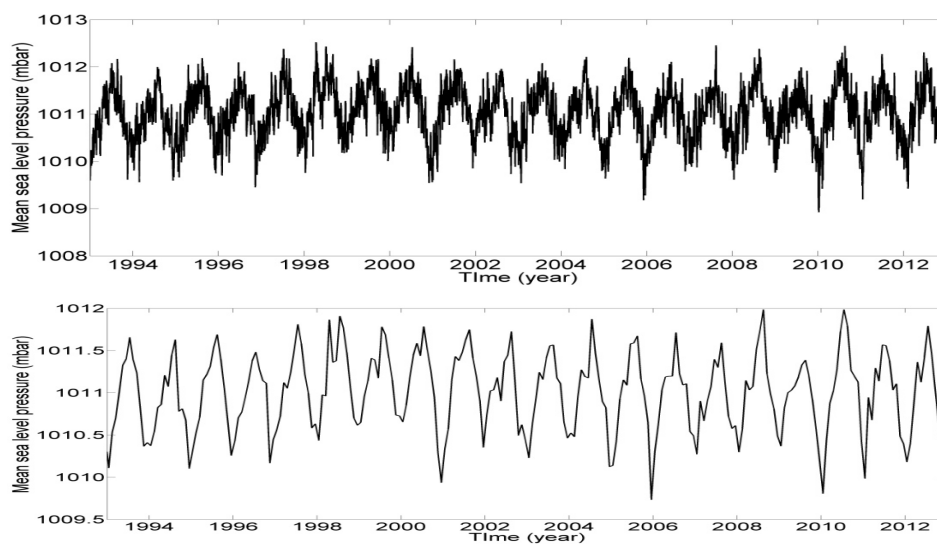


圖 2-4 ECMWF 全球海面日(上)、月(下)之平均氣壓

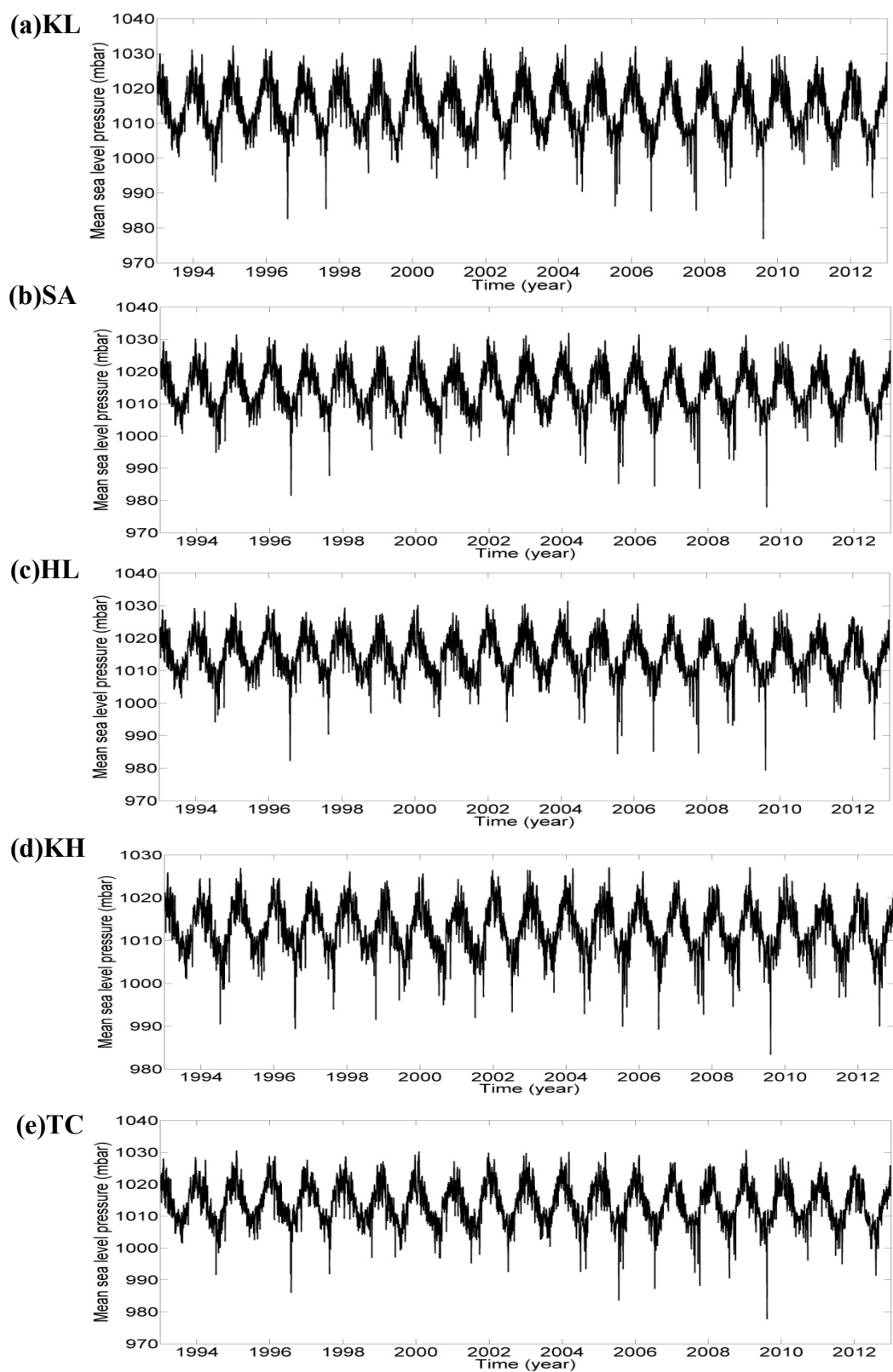


圖 2-5 CWB 基隆(a)、蘇澳(b)、花蓮(c)、高雄(d)、臺中(e)等國內五大商港海域之海面日平均氣壓

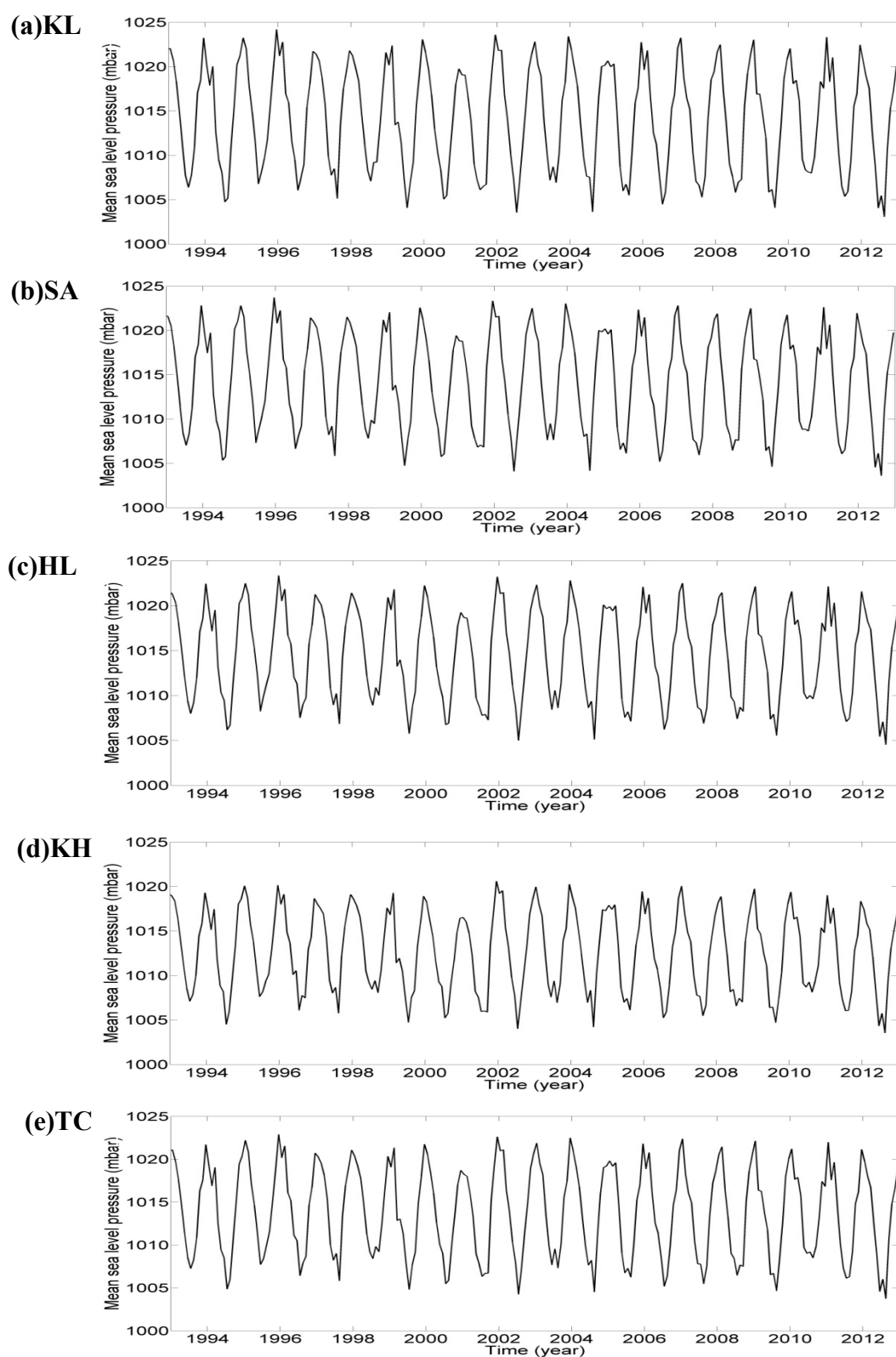


圖 2-6 CWB 基隆(a)、蘇澳(b)、花蓮(c)、高雄(d)、臺中(e)等國內五大商港海域之海面月平均氣壓

2.3 鄰近臺灣及環島海岸驗潮站之檢選

為進行臺灣環島驗潮站潮位基準偏移之自動化偵測與校正研究，結合國、內外之驗潮站潮位資料庫，並以1990~2013年之近20年作為研究期間，則自PSMSL資料庫中，可檢選鄰近臺灣海岸之坎門、廈門、大浦滯、那霸、黎牙實比等共5處驗潮站，其個別之站位、編號及紀錄期間等資訊，如表2-5所示；而自CWB資料庫中，可檢選臺灣環島沿岸之基隆、蘇澳、花蓮、高雄、臺中、淡水、竹圍、澎湖、將軍、蟬廣嘴、富岡等共11處驗潮站，各自之站位、編號及紀錄期間等資訊，分別如表2-6所示。進一步將上列檢選自PSMSL及CWB資料庫中之驗潮站資訊作匯整，可得各測站位置分布與近20年各站潮位紀錄之涵蓋期間，如圖2-7所示。其中，PSMSL資料庫中，坎門、廈門、大浦滯、那霸、黎牙實比等共5處驗潮站近20年期間之逐月平均紀錄，分列如圖2-8所示；至於CWB資料庫中，基隆、蘇澳、花蓮、高雄、臺中、淡水、竹圍、澎湖、將軍、蟬廣嘴、富岡等共11處驗潮站近20年期間之逐時平均紀錄，則分列如圖2-9所示。進一步再以逐時等權方式作逐日及逐月平均處理，因而可得其逐日及逐月平均時序資料，分別如圖2-10及圖2-11所示。

表 2-5 英國平均海平面永久服務中心(PSMSL)資料庫中鄰近臺灣且環繞臺灣海岸之驗潮站資訊。

	Station ID.	Station name			Lon(°)	Lat(°)	Data period	
		Ch.	Eng.	Abbr.			RLR	Metric
China	610016	坎門	Kanmen	KM	121.3	28.1	1959-2013	1959-2013
	610005	廈門	Xiamen	XM	118.1	24.5	1954-2004	1954-2004
	611014	大浦滯	Tai Po Kau	TPK	114.2	22.4	1963-2013	1963-2013
Japan	646024	那霸	Naha	NH	127.7	26.2	1966-2013	1966-2013
Philippines	660021	黎牙實比	Legaspi	LGSP	123.8	13.2	1947-2011	1947-2013

表 2-6 中央氣象局(CWB)資料庫中之臺灣環島沿岸驗潮站資訊

Station name			Station ID.	Lon(°)	Lat(°)	Records (minutes)	Data duration	Originator
Ch.	Eng.	Abbr.						
基隆	Keelung	KL	1212	121.7	25.1	60	1946-1990	中央氣象局
			1511	121.7	25.2	60	1991-1995	基隆港務局
			151	121.7	25.2	6	1995-2000	基隆港務局
			1514	X	X	6	2003-2004	港研中心
			1513	X	X	6	2005-2006	基隆港務局
			1516	121.8	25.2	6	2006-2013	中央氣象局
蘇澳	Su-ao	SA	1241	X	X	60	1981-1991	中央氣象局
			124	121.9	24.6	6	1991-2005	中央氣象局
			1246	121.9	24.6	6	2005-2014	中央氣象局
花蓮	Hualien	HL	1251	X	X	60	1950-1990	中央氣象局
			125	121.6	24.0	6	1991-2003	中央氣象局
			1256	121.6	24.0	6	2003-2013	中央氣象局
高雄	Kaohsiung	KS	1482	X	X	60	1947-1986	中央氣象局
			148	120.3	22.6	60	1987-2004	高雄港務局
			1486	120.3	22.6	6	2004-2013	內政部
臺中	Taichung Port	TCP	1431	120.5	24.3	60	1971-1990	港研中心
			1432	120.5	24.3	60	1990-1993	港研中心
			1433	120.5	24.3	10	1993-1997	港研中心
			143	120.5	24.3	6	1997-1999	港研中心
			1434	120.5	24.3	6	2001-2004	港研中心
			1436	120.5	24.3	6	2004-2013	內政部
淡水	Tamsui	TS	1101	121.4	25.2	60	1949-1991	中央氣象局
			110	121.4	25.2	6	1991-1995	中央氣象局
			1102	121.4	25.2	6	1999-2013	中央氣象局
竹圍	Jhuwei	JW	1111	121.2	25.1	60	1976-1992	水利署
			111	121.2	25.1	6	1992-2007	中央氣象局
			1116	121.2	25.1	6	2007-2013	中央氣象局
澎湖	Penghu	PH	1351	119.6	23.6	60	1955-1991	中央氣象局
			135	119.6	23.6	60	1991-2007	中央氣象局
			1356	119.6	23.6	6	2007-2013	中央氣象局
將軍	Jiangjun	JG	146	120.1	23.2	60	1979-2001	水利署
			1176	120.1	23.2	6	2002-2013	中央氣象局
蟬廣嘴	Syunguangzui	SGZ	149	120.7	22.0	60	1976-2002	水利署
			1496	120.7	22.0	6	2001-2013	水利署
富岡	Fugang	FG	158	121.2	22.8	60	1976-2002	水利署
			1586	121.2	22.8	6	2001-2013	水利署

X: 表示原始資料中未提供該項資訊

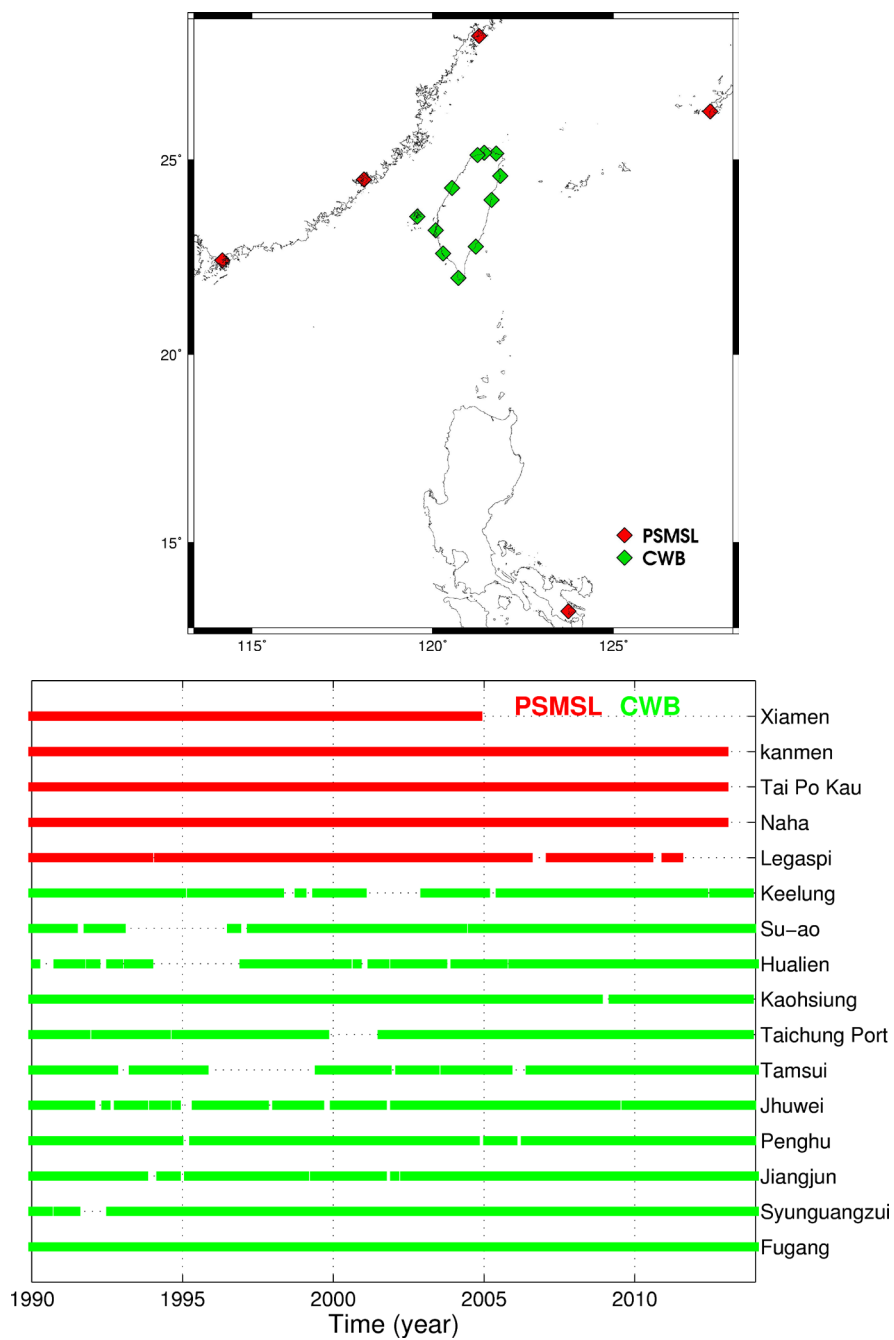
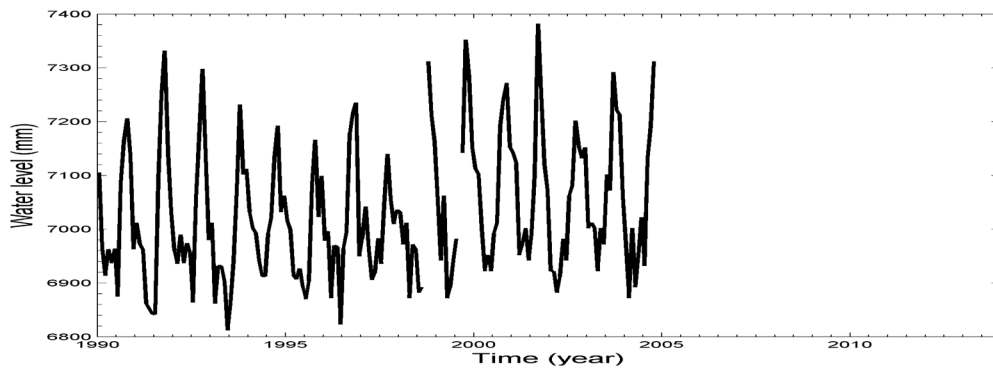
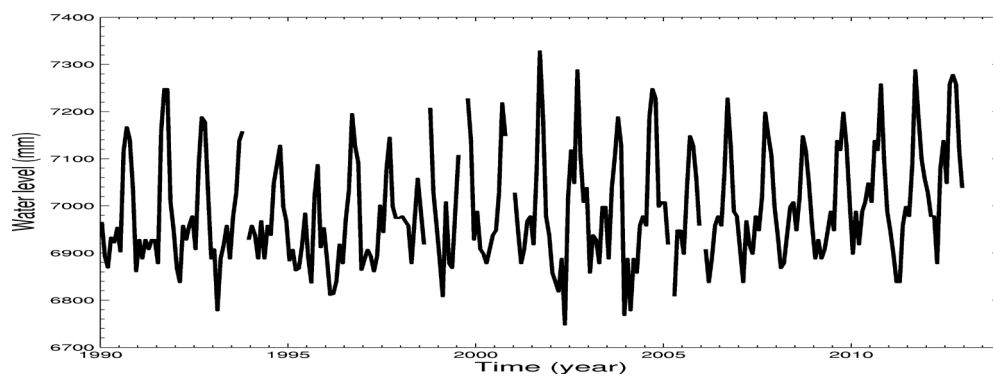


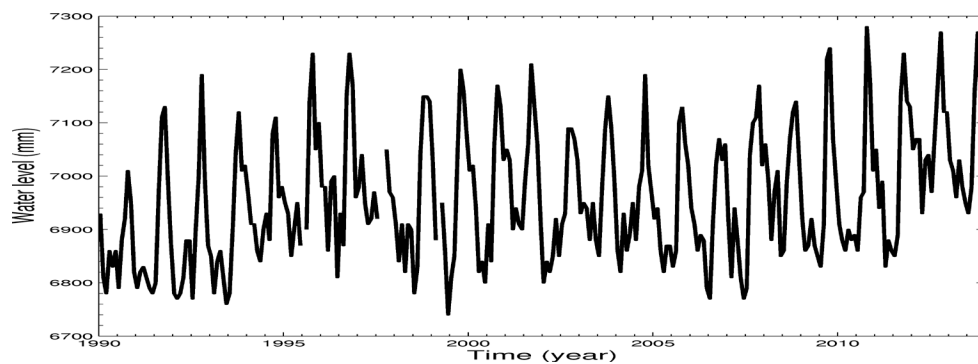
圖 2-7 自 PSMSL 及 CWB 資料庫中檢選鄰近臺灣海岸及臺灣環島沿岸之驗潮站位置(上)與近 20 年各站潮位紀錄之涵蓋期間(下)



廈門(Xiamen_610005)驗潮站月平均時間序列

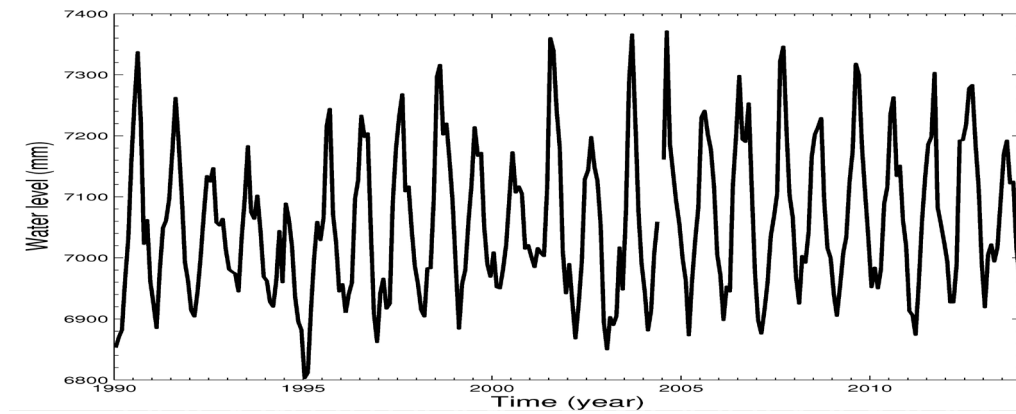


坎門(Kanmen_610016)驗潮站月平均時間序列

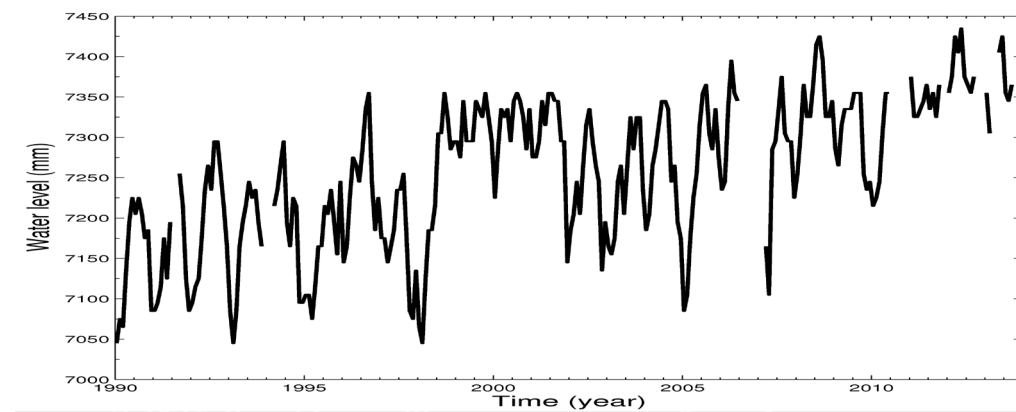


大浦滘(TaiPoKau_611014)驗潮站月平均時間序列

**圖 2-8 PSMSL 潮位資料庫中廈門、坎門、大浦滘驗潮站近二十年期間
RLR 型態之逐月平均紀錄**

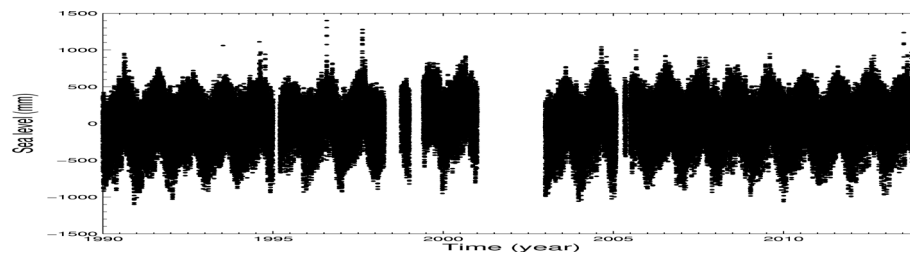


那霸(Naha_646024)驗潮站月平均時間序列

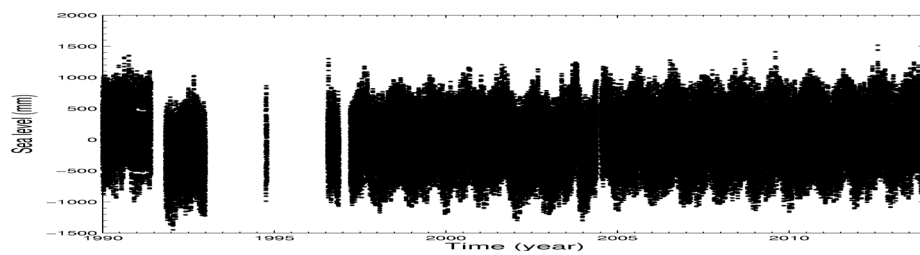


黎牙實比(Legaspi_660021)驗潮站月平均時間序列

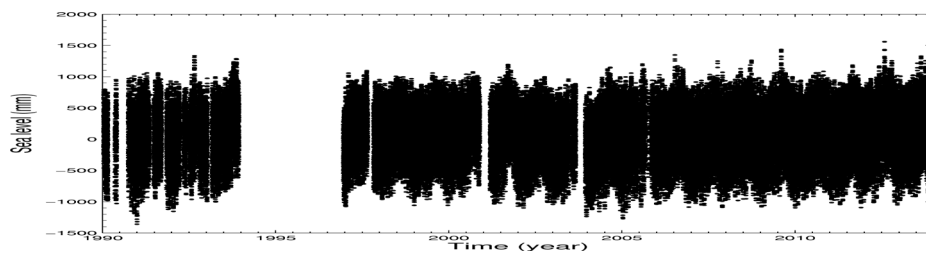
圖 2-8(續) PSMSL 潮位資料庫中那霸、黎牙實比驗潮站近二十年期間
RLR 型態之逐月平均紀錄



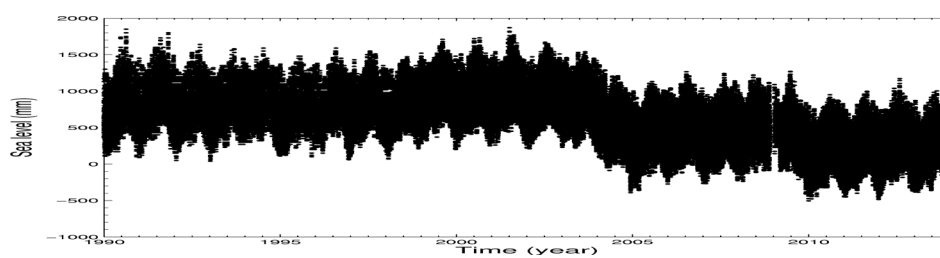
基隆(KL_1516)驗潮站逐時時間序列



蘇澳(SA_1246)驗潮站逐時時間序列

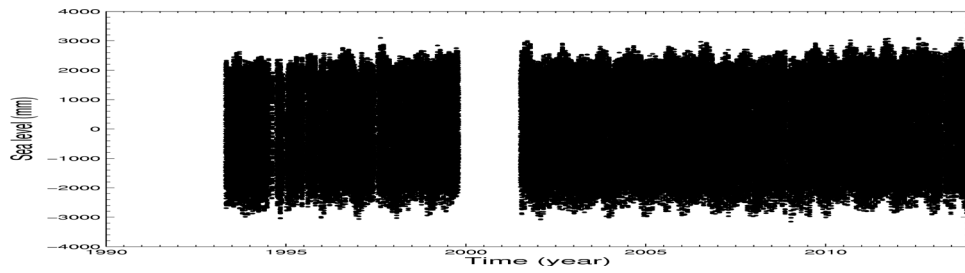


花蓮(HL_1256)驗潮站逐時時間序列

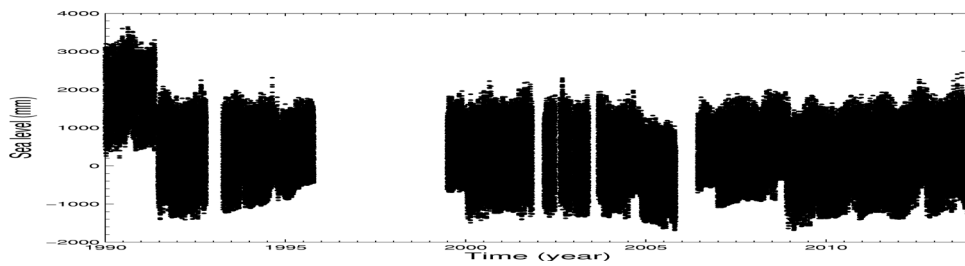


高雄(KS_1486)驗潮站逐時時間序列

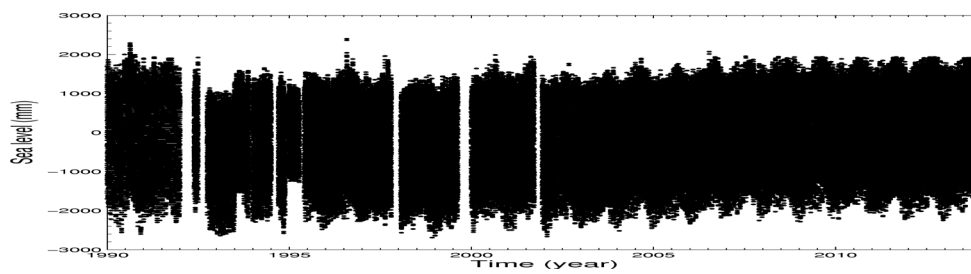
圖 2-9 CWB 潮位資料庫中基隆、蘇澳、花蓮、高雄驗潮站近二十年期間之逐時平均紀錄



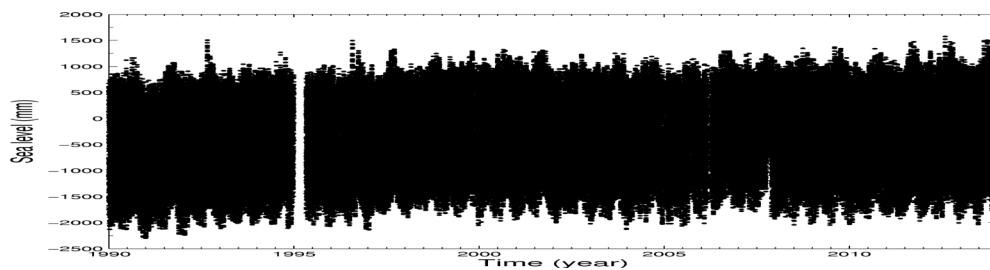
臺中(TC_1436)驗潮站逐時時間序列



淡水(TS_1102)驗潮站逐時時間序列

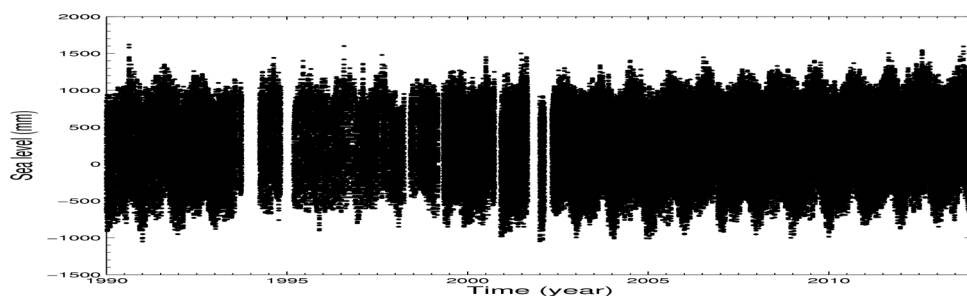


竹圍(JW_1116)驗潮站逐時時間序列

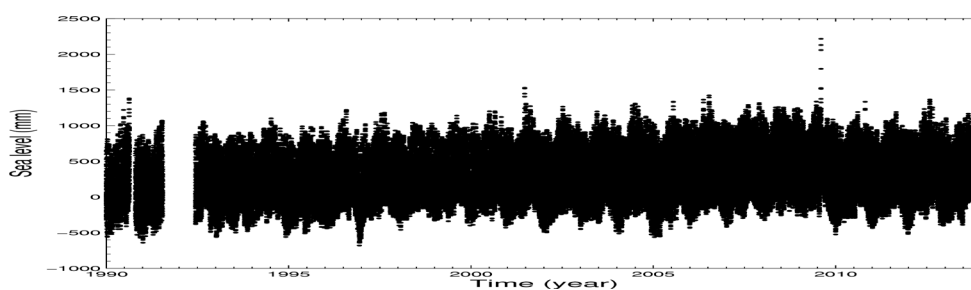


澎湖(PH_1356)驗潮站逐時時間序列

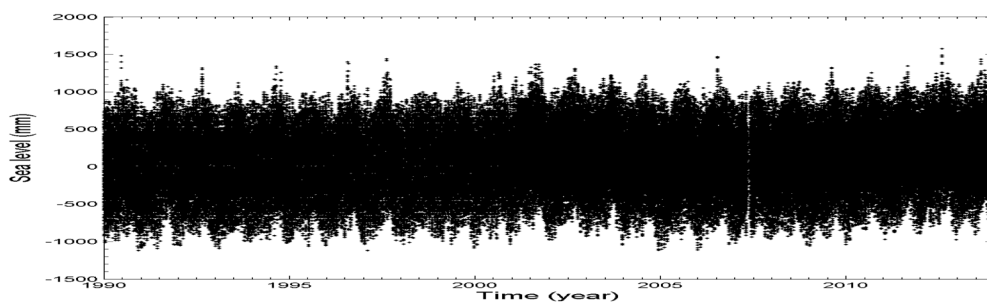
圖 2-9(續) CWB 潮位資料庫中臺中、淡水、竹圍、澎湖驗潮站近二十年期間之逐時平均紀錄



將軍(JG_1176)驗潮站逐時時間序列

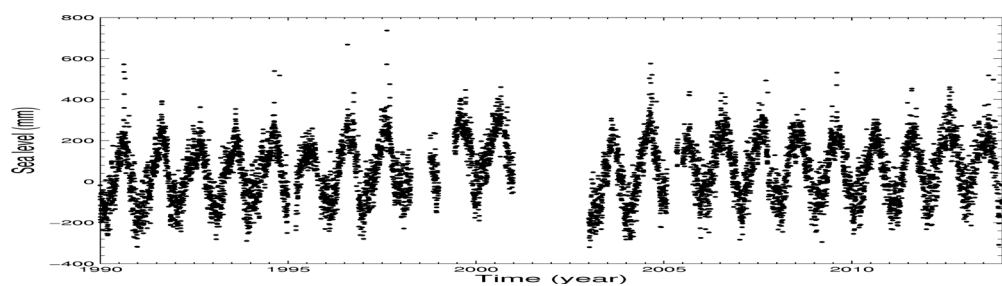


蟬廣嘴(SGZ_1496)驗潮站逐時時間序列

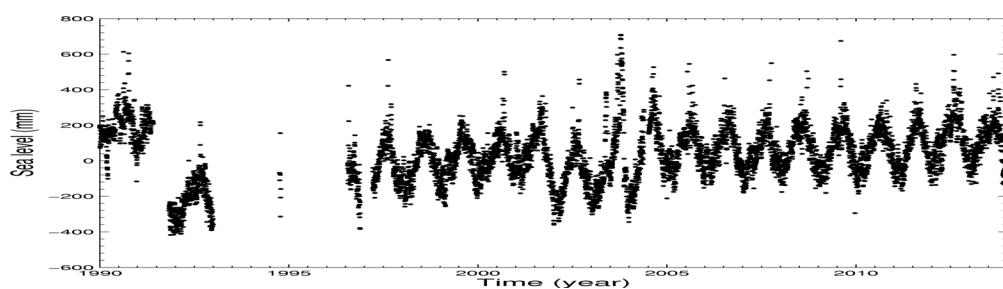


富岡(FG_1586)驗潮站逐時時間序列

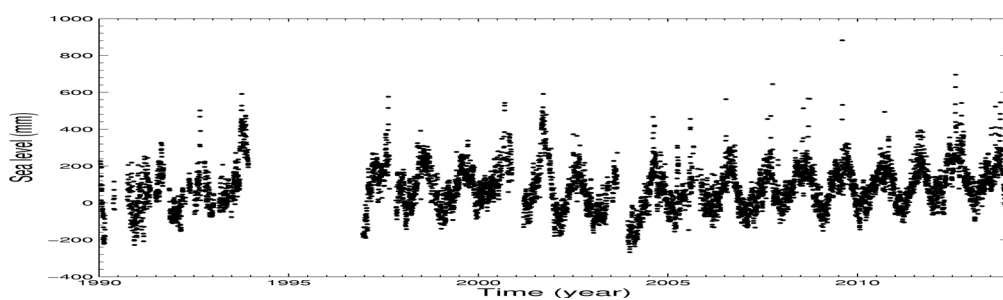
圖 2-9(續) CWB 潮位資料庫中將軍、蟬廣嘴、富岡驗潮站近二十年期間之逐時平均紀錄



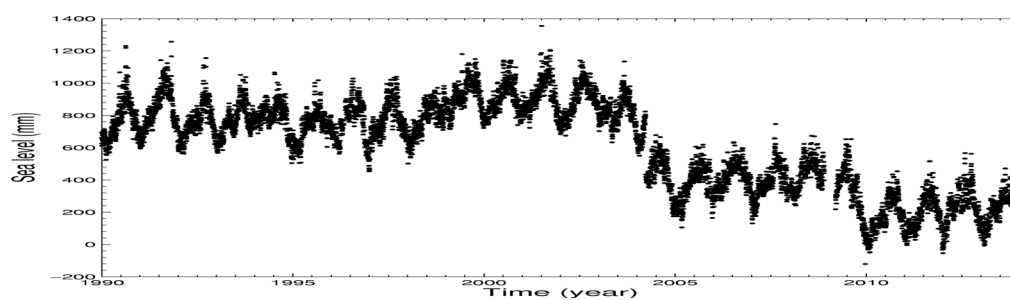
基隆驗潮站逐日時間序列



蘇澳驗潮站逐日時間序列

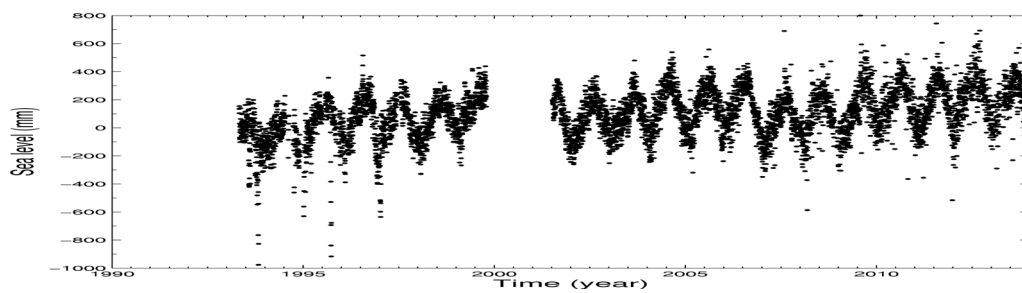


花蓮驗潮站逐日時間序列

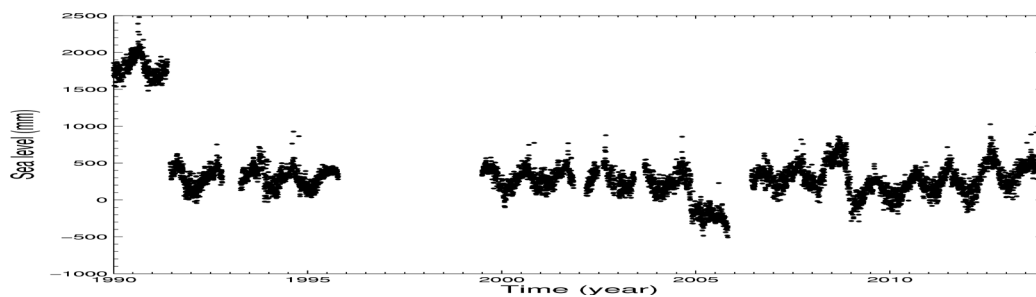


高雄驗潮站逐日時間序列

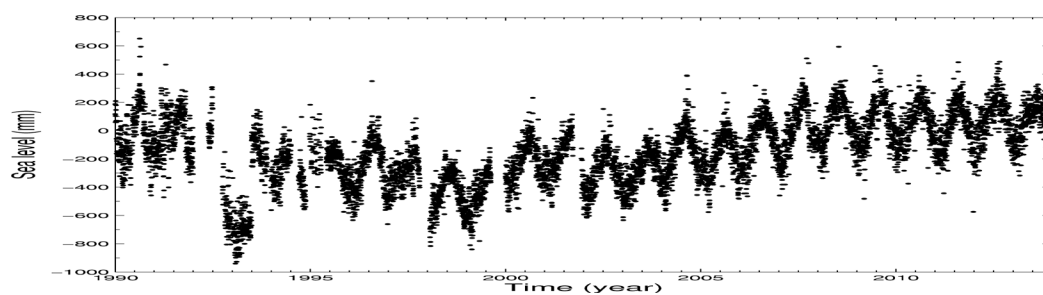
圖 2-10 近二十年期間以逐時等權方式計算基隆、蘇澳、花蓮、高雄驗潮站之逐日平均紀錄



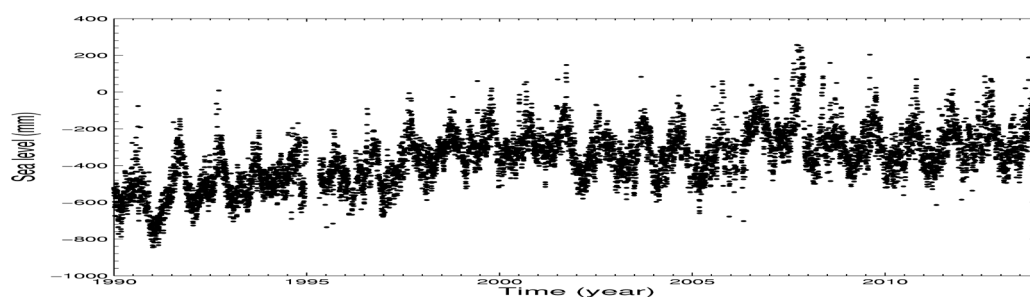
臺中驗潮站逐日時間序列



淡水驗潮站逐日時間序列

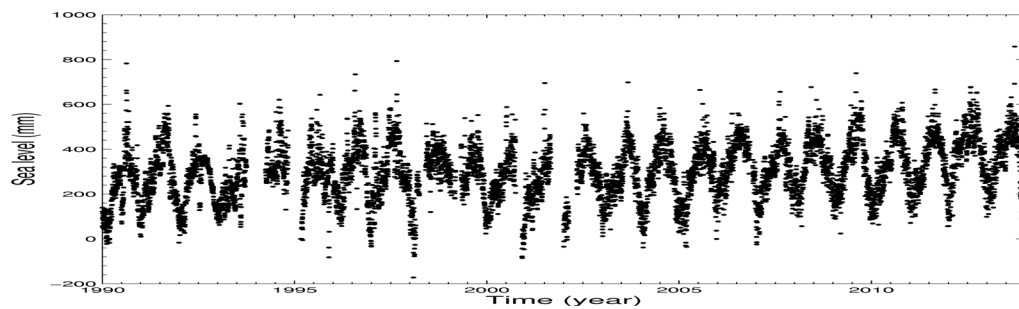


竹圍驗潮站逐日時間序列

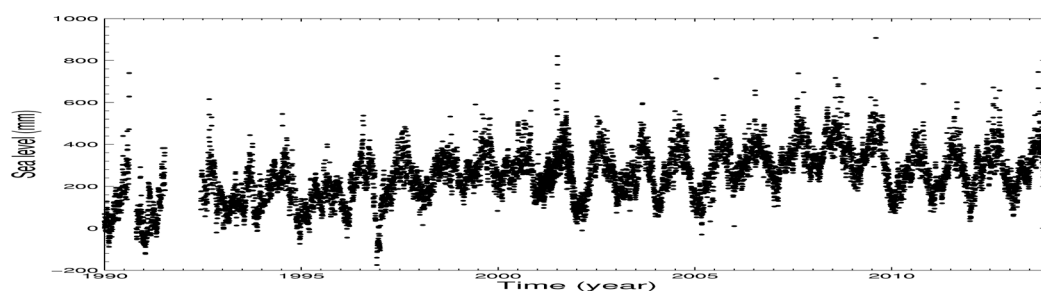


澎湖驗潮站逐日時間序列

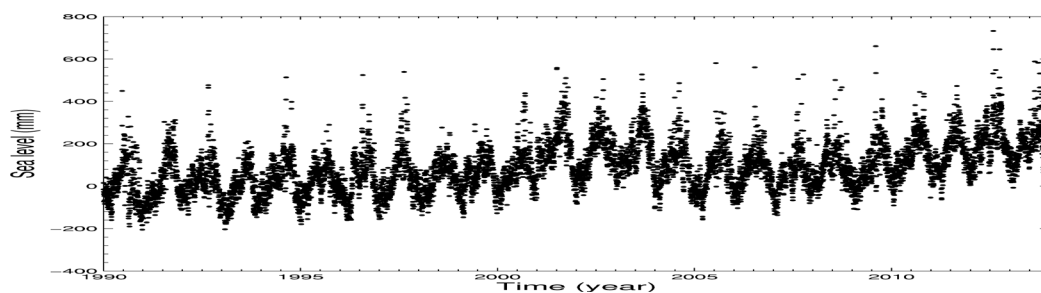
圖 2-10(續) 近二十年期間以逐時等權方式計算臺中、淡水、竹圍、澎湖驗潮站之逐日平均紀錄



將軍驗潮站逐日時間序列

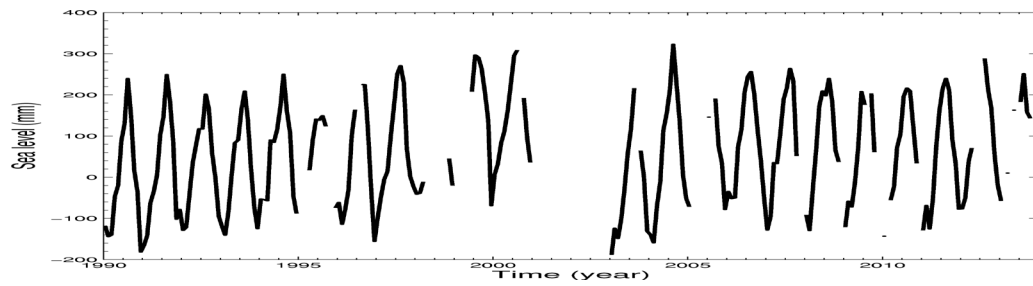


蜆廣嘴驗潮站逐日時間序列

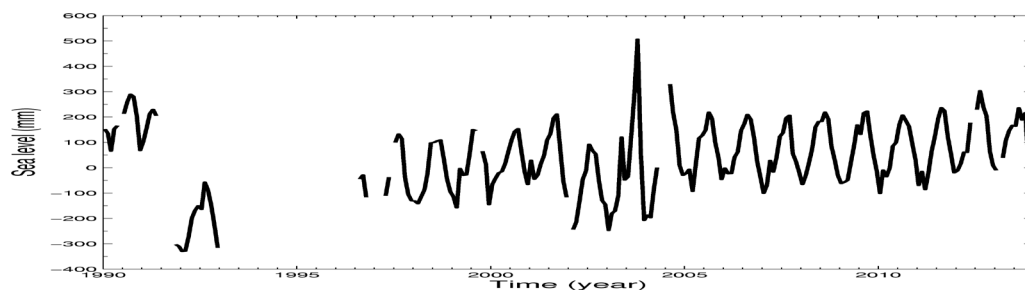


富岡驗潮站逐日時間序列

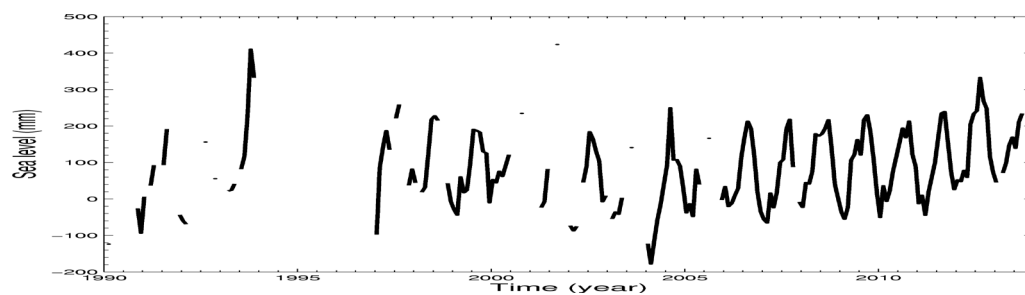
圖 2-10(續) 近二十年期間以逐時等權方式計算將軍、蜆廣嘴、富岡驗潮站之逐日平均紀錄



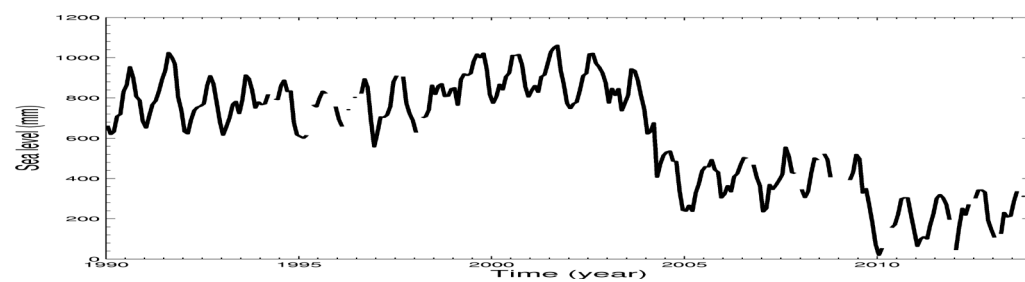
基隆驗潮站逐月時間序列



蘇澳驗潮站逐月時間序列

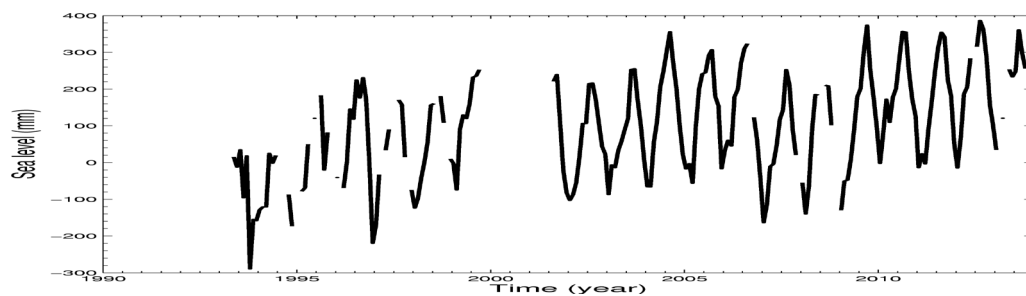


花蓮驗潮站逐月時間序列

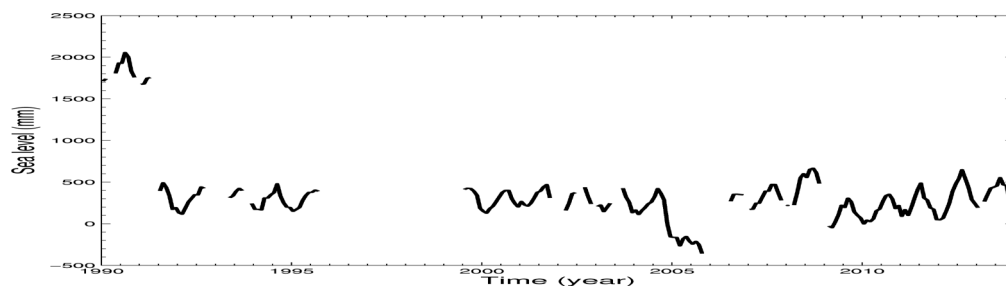


高雄驗潮站逐月時間序列

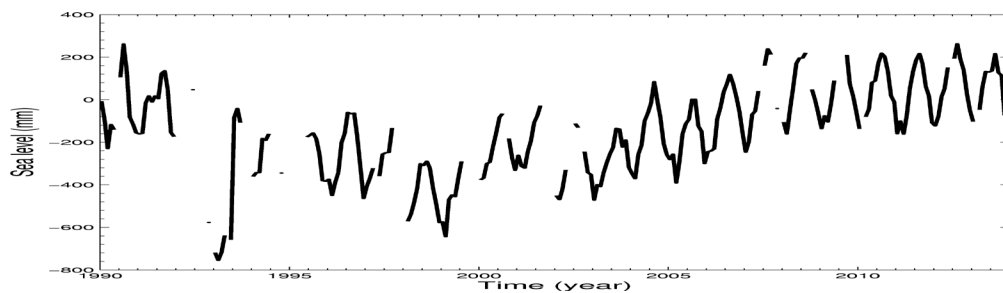
圖 2-11 近二十年期間以逐時等權方式計算基隆、蘇澳、花蓮、高雄驗潮站之逐月平均紀錄



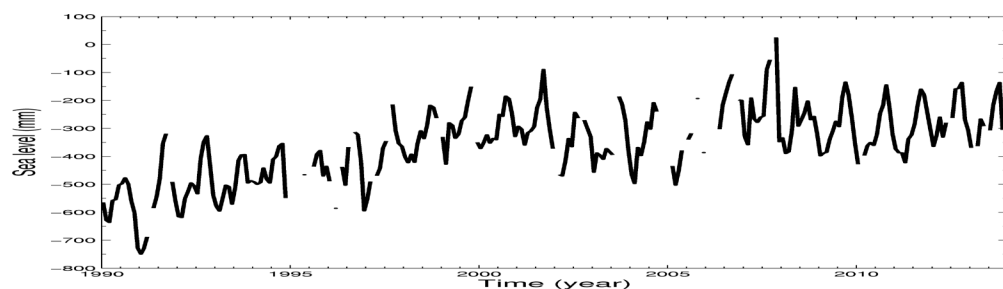
臺中驗潮站逐月時間序列



淡水驗潮站逐月時間序列

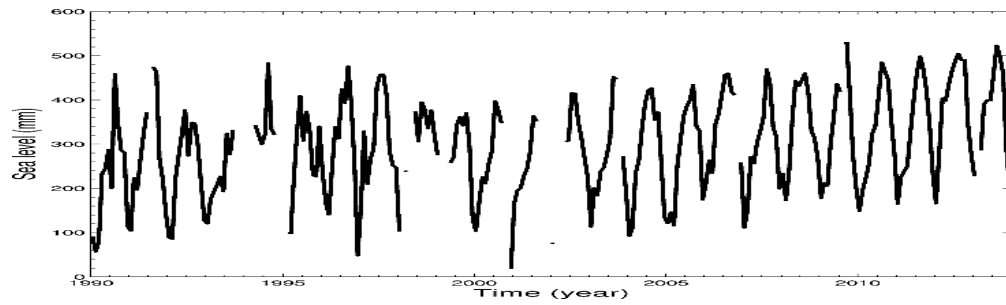


竹圍驗潮站逐月時間序列

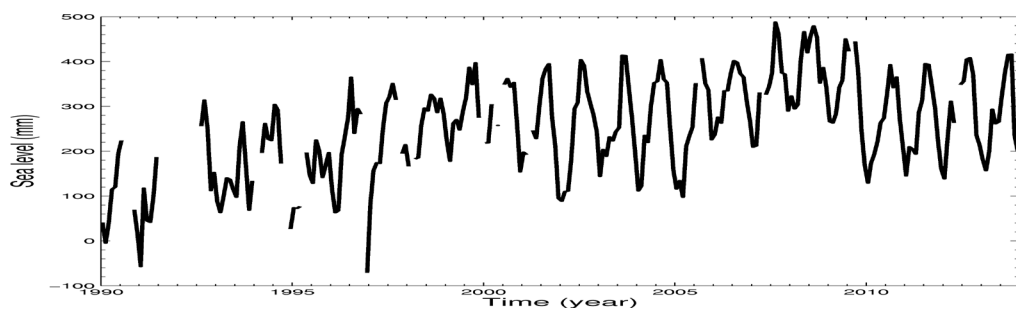


澎湖驗潮站逐月時間序列

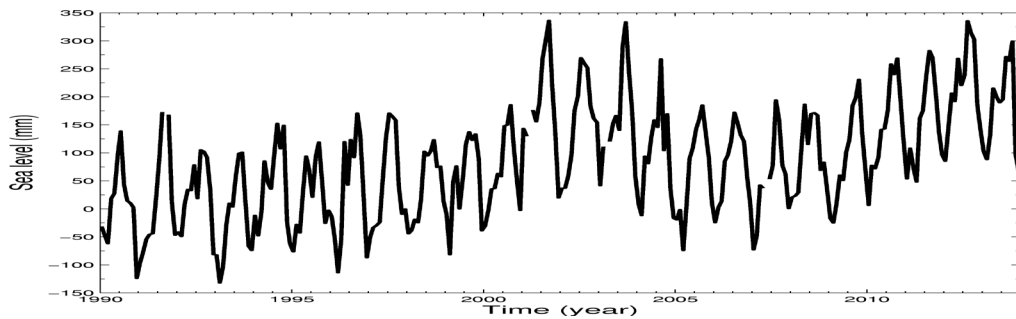
圖 2-11(續) 近二十年期間以逐時等權方式計算臺中、淡水、竹圍、澎湖驗潮站之逐月平均紀錄



將軍驗潮站逐月時間序列



蜆廣嘴驗潮站逐月時間序列



富岡驗潮站逐月時間序列

圖 2-11(續) 近二十年期間以逐時等權方式計算將軍、蜆廣嘴、富岡驗潮站之逐月平均紀錄

綜合觀察圖 2-8 及圖 2-9~圖 2-11 可見，無論是在 PSMSL 或 CWB 資料庫中，各驗潮站近 20 年期間之潮位紀錄，皆曾因測站位置變動、更新與維護等問題，以致均含有長短不一之缺漏期間，其中，基隆、蘇澳、花蓮、臺中及淡水等驗潮站，最大之缺漏期間，甚至長達 2 年以上，除此之外，臺灣環島沿岸各驗潮站，更普遍具有潮位基準偏移(bias)之情形。

特別值得一提的是，在圖 2-3 與圖 2-9 中之 CWB 基隆驗潮站，其在 2006 年後之近 10 年期間，潮位紀錄並不完全相同，經仔細檢視比對發現，主要差異原因為圖 2-9 中之潮位時序資料，除了增列站號 1514 之 2003/01~2004/12 期間資料外，原存在 2006~2007 年間之明顯基準偏移，CWB 已經作海平面均一化之校正調校(陳 等，2014)。

第三章 基準偏移校正前置處理

3.1 長期潮位紀錄之低頻化

潮位基準之偏移(bias)校正，係屬趨勢(trend)訊號突變之辨識與分析課題。而隱含於訊號中之趨勢，通常可藉訊號之低頻化予以突顯。

為因應各類工程應用之需要，驗潮站實測潮位之數位紀錄頻率，參見表 2-6，隨著科技之進步，已從往昔通用之每小時一筆，逐步增高為每 10 分鐘、每 6 分鐘、甚至是每秒一筆。因此，驗潮站之實測潮位紀錄，實際包含有半日、全日、月、季、年等高、低頻之天文分潮資訊(莊 等，2006；張 等，2013)。故為長期潮位紀錄之低頻化，週期小於一個月或 28 日之高頻天文潮訊號，應可先自紀錄中移除，亦即是進行通稱之海潮改正(郭 等，2014)，或等效地應用中央移動平均法(莊 等，2014)，藉以降低原始資料之標準偏差，減少高頻振盪訊號之影響。

此外，大氣壓力之高、低變動，亦會類如颱風之低氣壓所衍生之氣壓潮現象，促使海平面因逆氣壓(inverted barometer, IB)效應而昇降，僅管其屬於局部海平面之低頻變化，但因其並不包含於全球氣候暖化所衍生之比容海水面(steric sea level, SSL)變化效應，故該低頻資訊，亦可自驗潮站之實測潮位紀錄中移除，亦即是進行通稱之逆氣壓改正，藉以純化因全球氣候暖化所導致海水溫、鹽度變動之直接影響。

為準確且合理地進行潮位基準之偏移校正，本研究針對國內驗潮站長期之潮位紀錄特性，將相關前置處理流程，逐項條列如圖 3-1 所示。

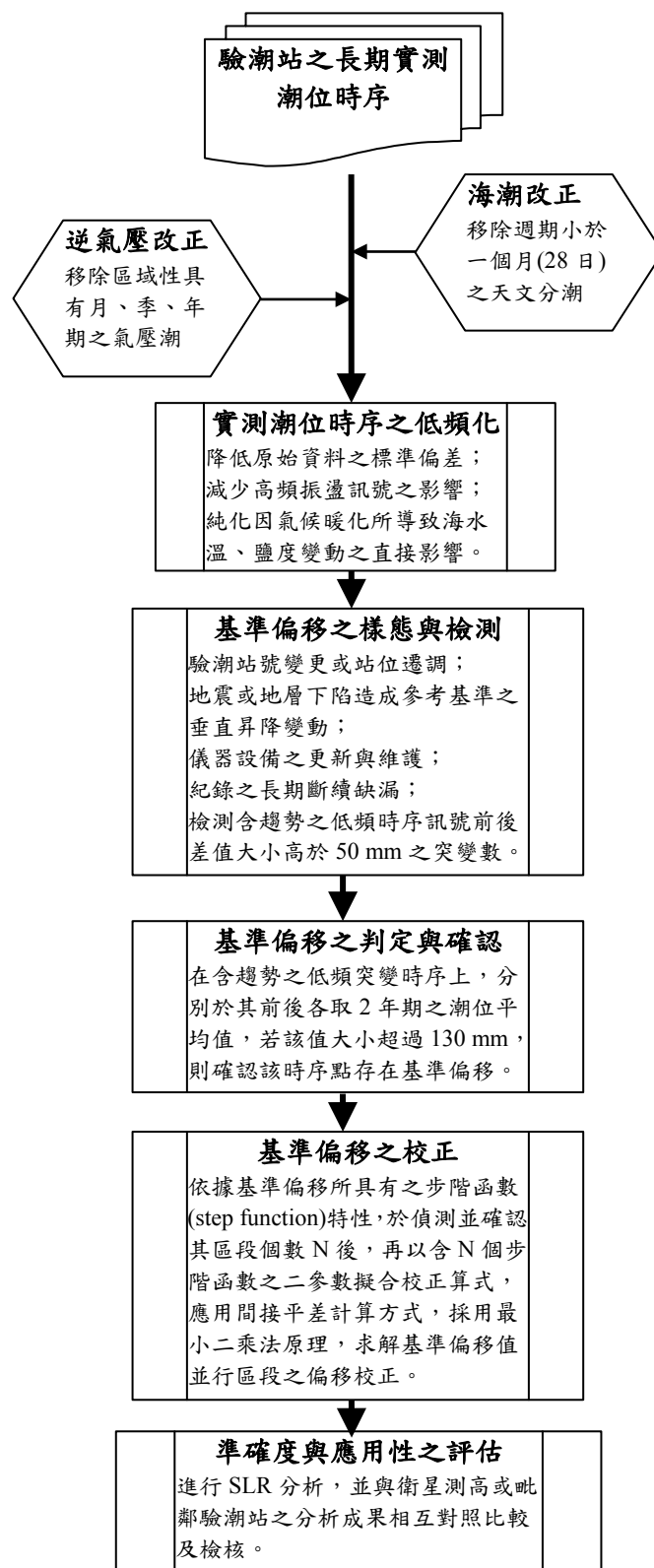


圖 3-1 潮位基準偏移校正之流程

3.2 海潮改正

在長期潮位紀錄中，為去除高頻天文潮訊號，藉以完成分析訊號之低頻化，仿照潮汐調和分析法，考量表 3-1 所示之 37 個高、低頻主要分潮，則驗潮站之逐時(t)實測潮位紀錄 $TG(t)$ ，一般可表示為

$$TG(t) = a_0 + a_1 t + \sum_{i=1}^{37} [A_i \sin(\omega_i t) + B_i \cos(\omega_i t)] \dots\dots\dots (3-1)$$

式中， a_0 為全潮位時序紀錄之平均值； a_1 為平均海平面之時序變動趨勢或變動率； A_i 、 B_i 則為與分潮頻率 ω_i 對應之分潮調和分析常數。

針對式(3-1)，透過擬合(fitting)程序，應用最小二乘法(least square error method)，首先，即可求解各高、低分潮之調和分析常數，然後，再將週期小於一個月(28 日)之高頻分潮訊號，透過自身預報，並自原實測潮位時序紀錄中加以扣除，因此，即可完成海潮改正。

以圖 2-3 所示之基隆與高雄驗潮站逐時平均潮位紀錄為基礎，應用式(3-1)分別進行海潮改正，因而可得原始逐時潮位紀錄、擬合之高頻海潮、及進行海潮改正後之逐時潮位時序，如圖 3-2 所示。

進一步對圖 3-2 所示經海潮改正後之逐時潮位時序，以等權重方式再進行逐月平均，並與自原始逐時潮位紀錄直接作逐月平均所得之近似去潮成果相互對照比較，結果可得如圖 3-3 所示。綜合觀察圖 3-3 可知，原始逐時潮位紀錄，經海潮改正後，其逐月平均之低頻逐時變動時序，實際與自原始逐時潮位紀錄直接作逐月平均所得之去潮成果甚相近似。這說明依據原始逐時潮位紀錄，進行長期性之平均海平面上升(SLR)趨勢分析前，採用式(3-1)方式進行海潮改正，或直接作等權逐月平均去潮，均可有效掌握低頻之海平面變動率。

至於，經海潮改正前、後之標準偏差值(STD)，經分析可得結果如表 3-2 所示。由表觀察可見，海潮改正確實具有降低原始潮位紀錄標準偏差效果，同時可減少高頻振盪訊號之影響。

表 3-1 實測潮位紀錄用以進行海潮改正之主要天文分潮

分潮名稱		週期(hrs)
M2	Principal lunar semidiurnal constituent	12.4206
S2	Principal solar semidiurnal constituent	12.0000
N2	Larger lunar elliptic semidiurnal constituent	12.6583
K1	Lunar diurnal constituent	23.9345
M4	Shallow water overtides of principal lunar constituent	6.2103
O1	Lunar diurnal constituent	25.8193
M6	Shallow water overtides of principal lunar constituent	4.1402
MK3	Shallow water terdiurnal	8.1771
S4	Shallow water overtides of principal solar constituent	6.0000
MN4	Shallow water quarter diurnal constituent	6.2692
NU2	Larger lunar evectional constituent	12.6260
S6	Shallow water overtides of principal solar constituent	4.0000
MU2	Variational constituent	12.8718
2N2	Lunar elliptical semidiurnal second-order constituent	12.9054
OO1	Lunar diurnal	22.3061
LAM2	Smaller lunar evectional constituent	12.2218
S1	Solar diurnal constituent	24.0000
M1	Smaller lunar elliptic diurnal constituent	24.8332
J1	Smaller lunar elliptic diurnal constituent	23.0985
MM	Lunar monthly constituent	661.3092
SSA	Solar semiannual constituent	4382.9052
SA	Solar annual constituent	8765.8210
MSF	Lunisolar synodic fortnightly constituent	354.3670
MF	Lunisolar fortnightly constituent	327.8589
RHO	Larger lunar evectional diurnal constituent	26.7231
Q1	Larger lunar elliptic diurnal constituent	26.8684
T2	Larger solar elliptic constituent	12.0164
R2	Smaller solar elliptic constituent	11.9836
2Q1	Larger elliptic diurnal	28.0062
P1	Solar diurnal constituent	24.0659
2SM2	Shallow water semidiurnal constituent	11.6070
M3	Lunar terdiurnal constituent	8.2804
L2	Smaller lunar elliptic semidiurnal constituent	12.1916
2MK3	Shallow water terdiurnal constituent	8.3863
K2	Lunisolar semidiurnal constituent	11.9672
M8	Shallow water eighth diurnal constituent	3.1052
MS4	Shallow water quarter diurnal constituent	6.1033

表 3-2 原始及經海潮改正後逐時平均潮位紀錄之標準偏差(STD)比較

站名	改正前 STD (mm)	改正後 STD (mm)
基隆	424	337
高雄	315	214

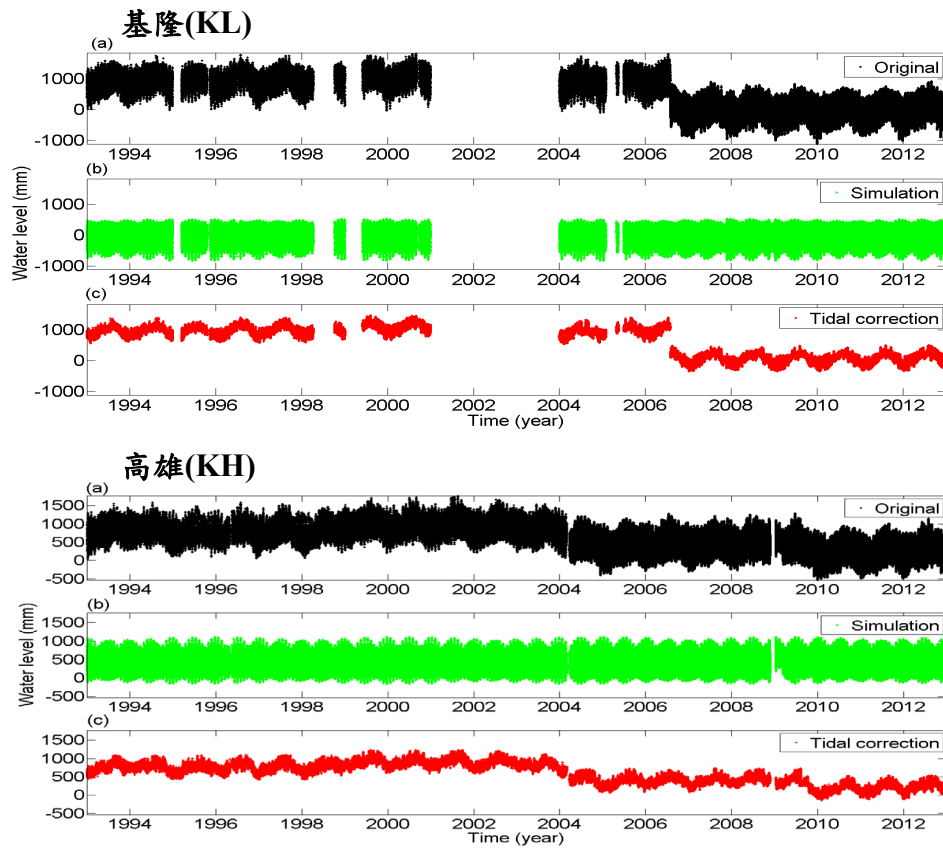


圖 3-2 基隆(上)與高雄(下)驗潮站之原始逐時潮位紀錄(a)及擬合之高頻海潮(b)與進行海潮改正後之逐時潮位(c)

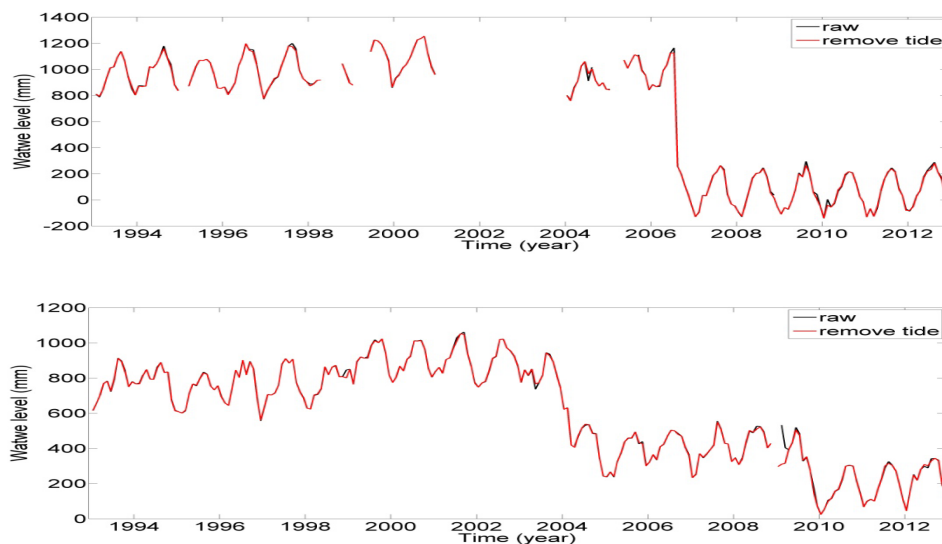


圖 3-3 基隆(上)與高雄(下)驗潮站原始(黑)及經海潮改正後(紅)之逐月平均潮位比較

3.3 逆氣壓改正

因全球氣候暖化所導致全球氣候之各項變遷中，氣壓的變動亦應是重要衝擊之一。在氣壓之高、低變動作用下，海平面自然會產生對應的上、下起伏變動(Wunsch and Stammer, 1997)。通常，氣壓高時，海平面會降低；而當氣壓低時，海平面反而會升高，凡此種因氣壓變化所造成之海平面變動影響，統稱為逆氣壓效應(inverted barometer effect, IBe)。概略而言，當海面氣壓具有 1 毫巴(mbar)或 1 百帕(hPa)之高、低變化時，海平面會對應降、升約 10 公釐(mm)(Chelton and Enfield, 1986)。在臺灣環島近海，最經常陳現的逆氣壓效應，即是颱風期間因低氣壓作用所導致之暴潮現象。

為減小海面氣壓變動對平均海平面上升(SLR)趨勢所造成之干擾，依據驗潮站實測潮位時序紀錄進行 SLR 分析，其逆氣壓效應 IBe(單位：公釐或 mm)通常可應用下列經驗公式(Wunsch, 1972)進行估算：

$$IBe = -9.948 \times (P_{slm} - P_{ref}) \dots\dots\dots(3-2)$$

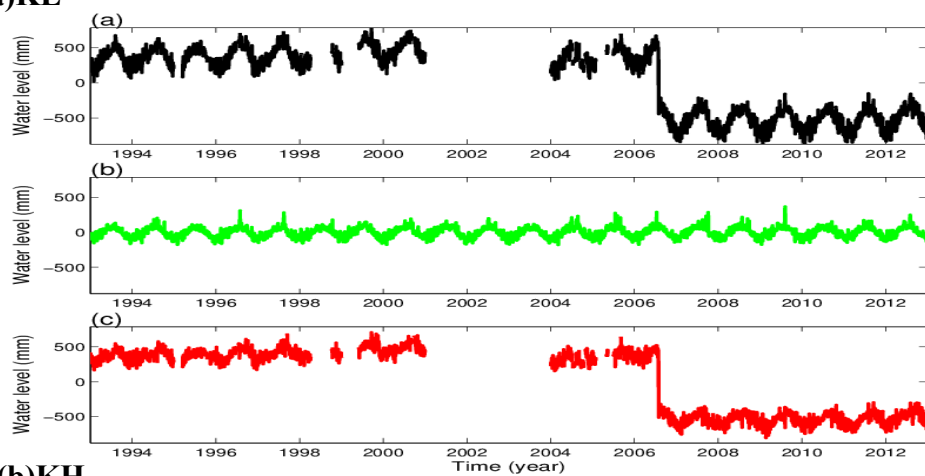
式中， 9.948 為地球中緯度海域之經驗尺度因子(scale factor)； P_{slm} 、 P_{ref} 分別為特定海域之海平面觀測氣壓與全球海面之平均氣壓，單位均為毫巴(mbar)或百帕(hPa)。相關全球海面之平均氣壓(P_{ref})以及在基隆、蘇澳、花蓮、高雄、臺中等國內五大商港海域之海平面觀測氣壓(P_{slm})之逐日與逐月平均季節變動性，分別可參見圖 2-4、圖 2-5 及圖 2-6 所示。

以基隆與高雄驗潮站經海潮改正後之逐日平均潮位紀錄為例，首先依據式(3-2)計算各站對應之逐日逆氣壓效應，而後再將其自對應時序中扣除，因而可得經逆氣壓改正後之逐日平均潮位時序紀錄，如圖 3-5 所示，而分析其在逆氣壓改正前、後之標準偏差值(STD)，可得結果如表 3-3 所示。由表 3-3 及圖 3-5 綜合比較觀察可見，經逆氣壓改正，實際亦可減小逐日平均低頻海平面之變動性。

表 3-3 經逆氣壓改正前後逐日平均潮位紀錄之標準偏差(STD)比較

驗潮站	改正前 STD (mm)	改正後 STD (mm)
基隆	473	465
高雄	277	272

(a)KL



(b)KH

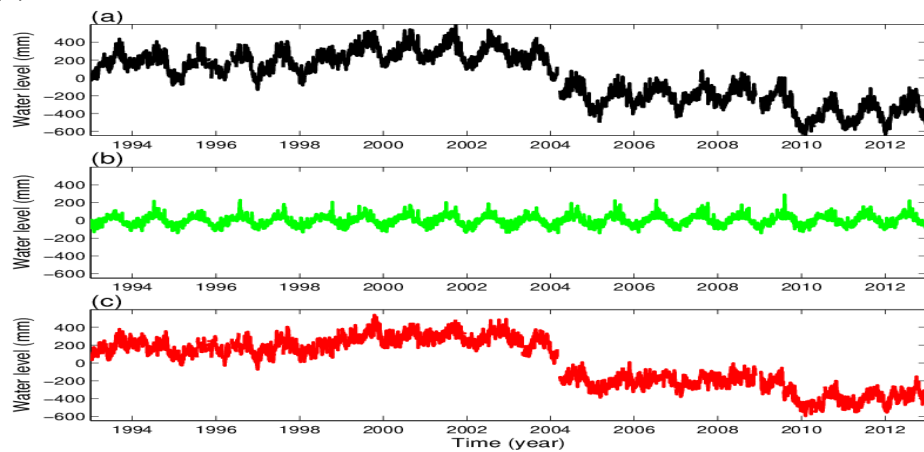


圖 3-5 基隆(上)與高雄(下)驗潮站之逐日平均潮位紀錄(a)及逆氣壓效應(b)與進行逆氣壓改正後之逐日潮位時序(c)

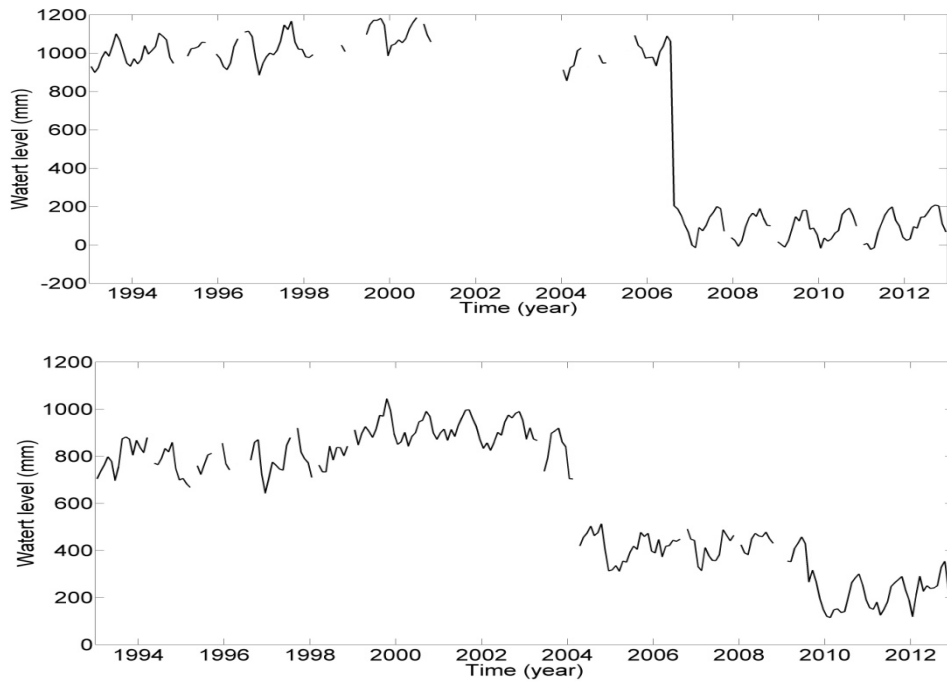
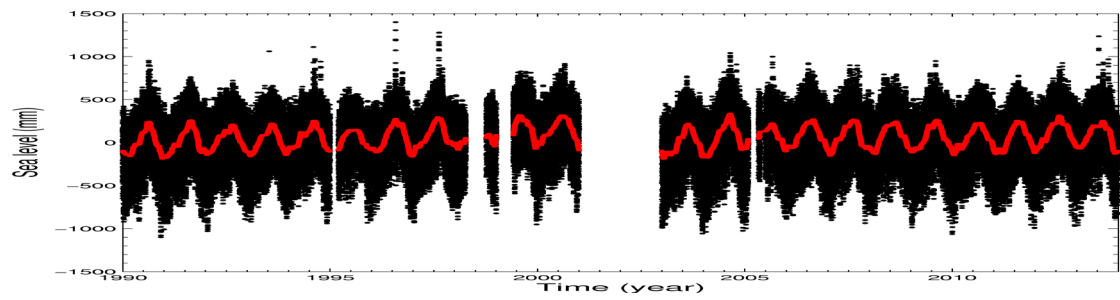


圖 3-6 基隆(上)與高雄(下)驗潮站經逆氣壓改正後之逐月潮位時序

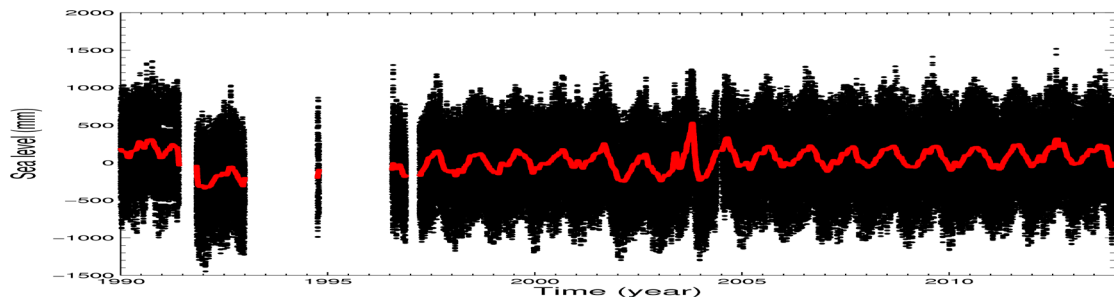
3.4 中央移動平均之應用

去除長期潮位紀錄中之高頻天文潮訊號，除了採用海潮改正方法外，尚可簡單地針對逐時潮位紀錄，取特定時間長度之平均視窗，透過中央移動平均方法作處理，藉以完成驗潮站紀錄之低頻化。

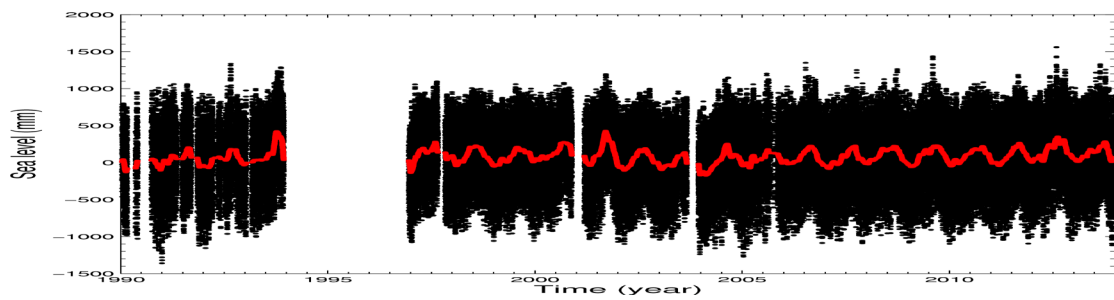
以圖 2-9 所示之臺灣環島沿岸共 11 處驗潮站近二十年期間之逐時平均紀錄為例，採取中央移動平均方法，且特定時間長度之平均視窗，取為 720 hrs (莊 等，2006；2007；2014)，因而可得各驗潮站之低頻化潮位紀錄，分別如圖 3-7 所示。至於與對應等權逐月潮位紀錄(參見圖 2-11)之對照比較，則分別如圖 3-8 所示。由圖綜合觀察可見，應用 720 hrs 視窗長度之移動平均法，不僅可甚簡易地完成長期逐時潮位紀錄之低頻化，更可甚準確地用以類比等權逐月潮位紀錄。因此，本研究後續將以經移動平均處理後之低頻化逐月紀錄為依據，進行各驗潮站之平均海平面變動率分析。



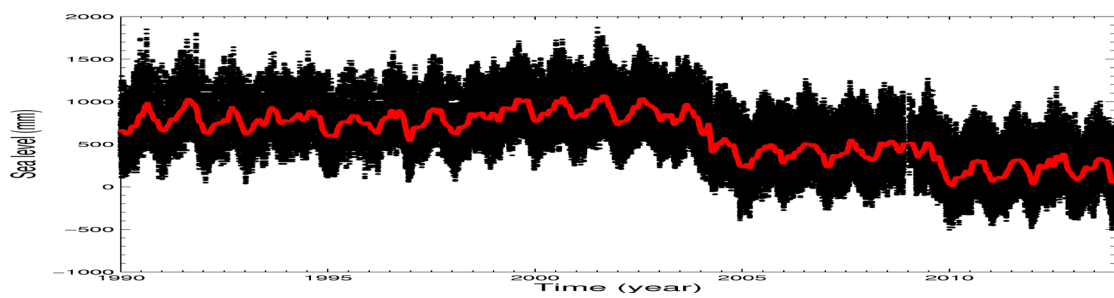
基隆驗潮站逐時時間序列



蘇澳驗潮站逐時時間序列

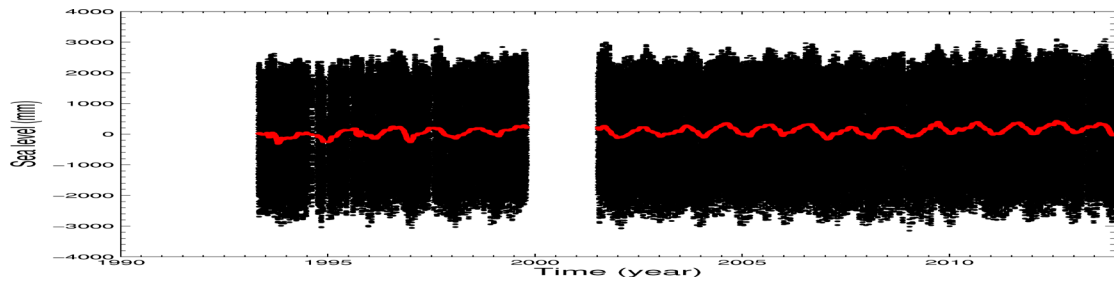


花蓮驗潮站逐時時間序列

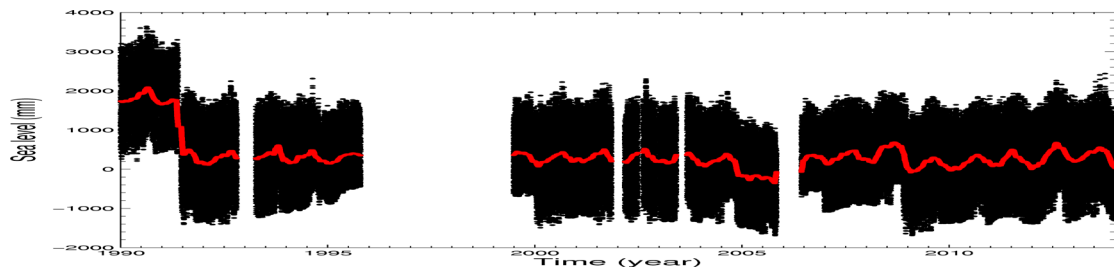


高雄驗潮站逐時時間序列

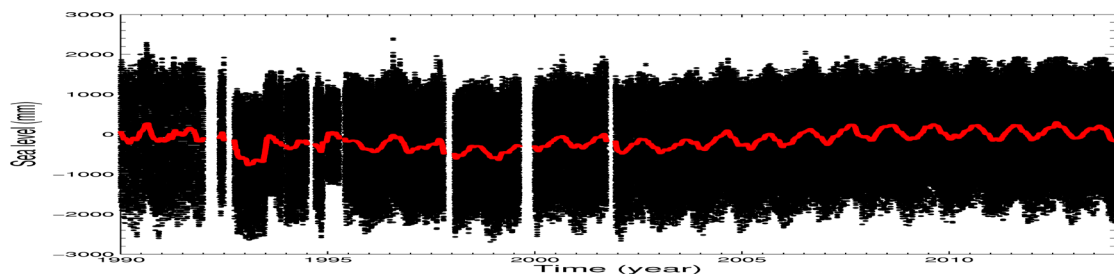
圖 3-7 近二十年期間基隆、蘇澳、花蓮、高雄驗潮站之逐時平均(黑)與其 720 小時中央移動平均(紅)紀錄



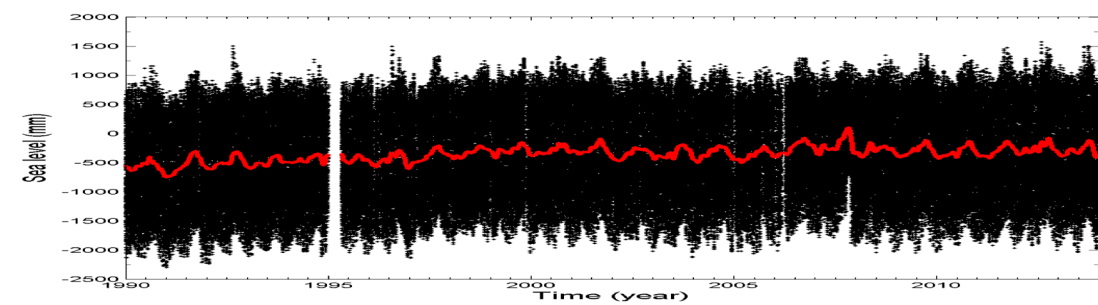
臺中驗潮站逐時時間序列



淡水驗潮站逐時時間序列

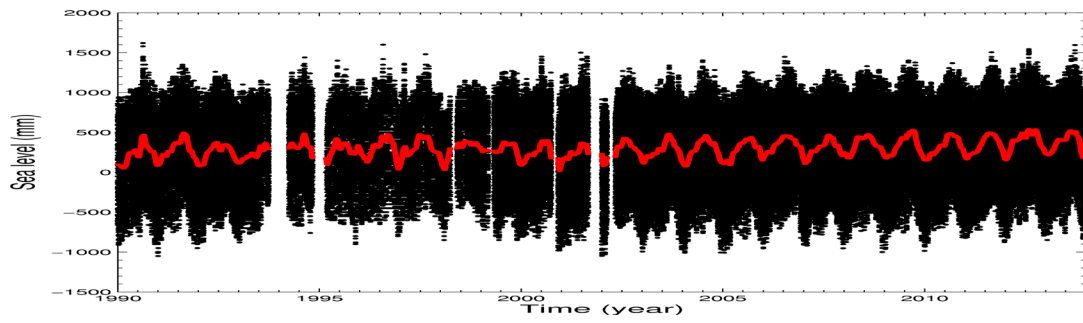


竹圍驗潮站逐時時間序列

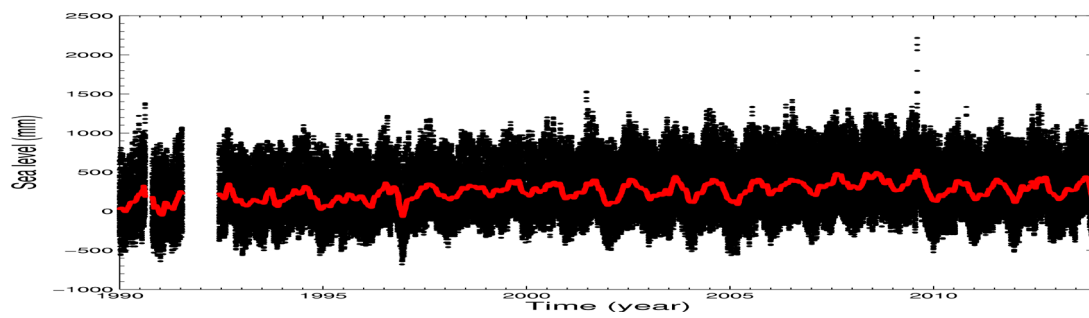


澎湖驗潮站逐時時間序列

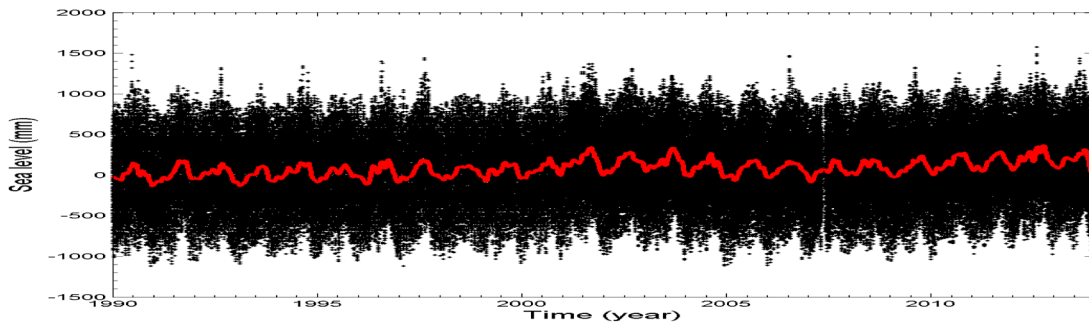
圖 3-7(續) 近二十年期間臺中、淡水、竹圍、澎湖驗潮站之逐時平均(黑)與其 720 小時中央移動平均(紅)紀錄



將軍驗潮站逐時時間序列

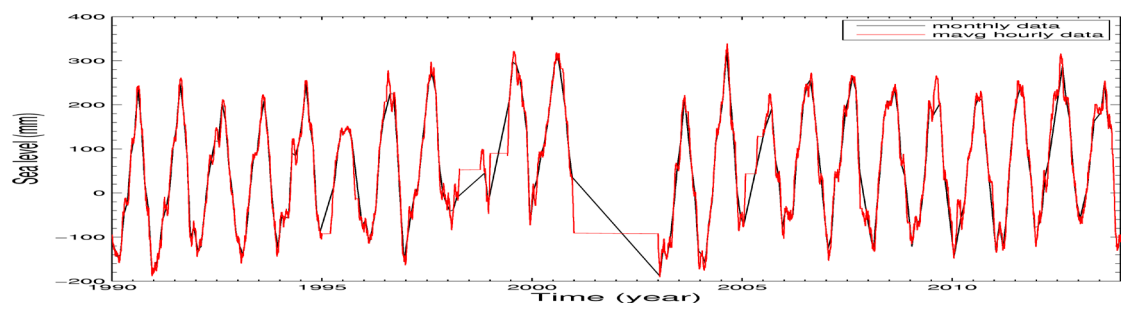


蟬廣嘴驗潮站逐時時間序列

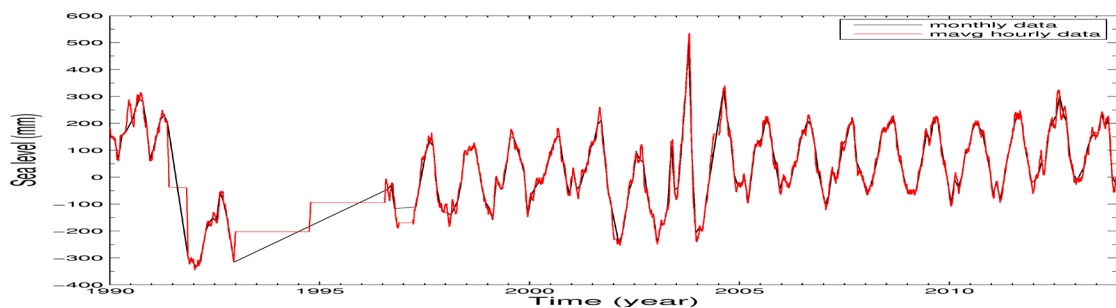


富岡驗潮站逐時時間序列

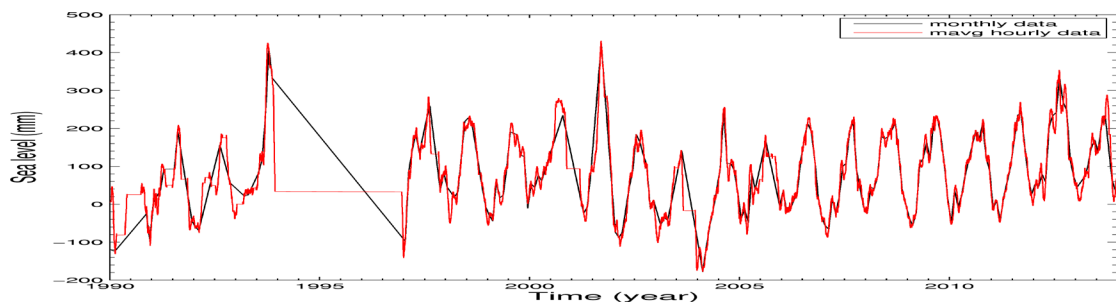
圖 3-7(續) 近二十年期間將軍、蟬廣嘴、富岡驗潮站之逐時平均(黑)與其 720 小時中央移動平均(紅)紀錄



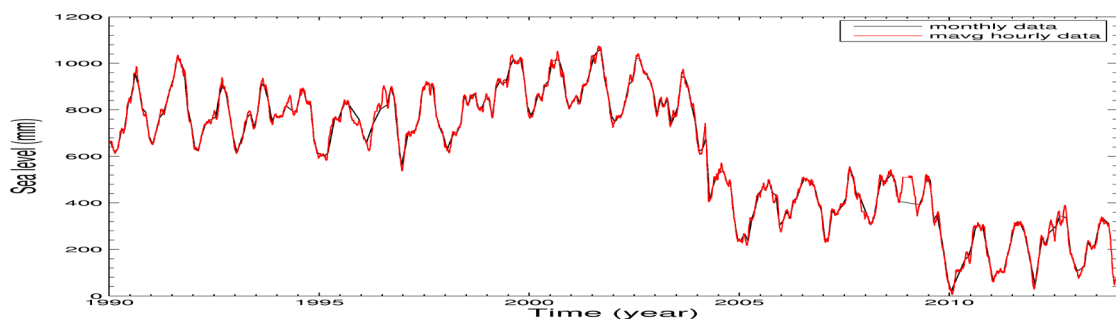
基隆驗潮站時間序列



蘇澳驗潮站時間序列

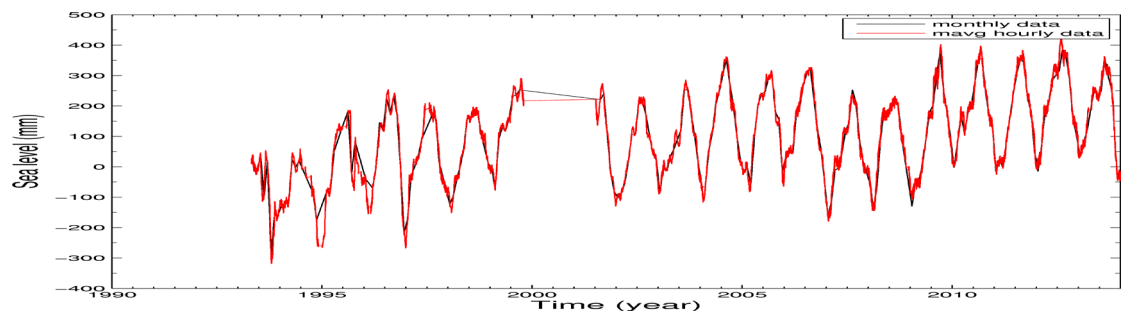


花蓮驗潮站時間序列

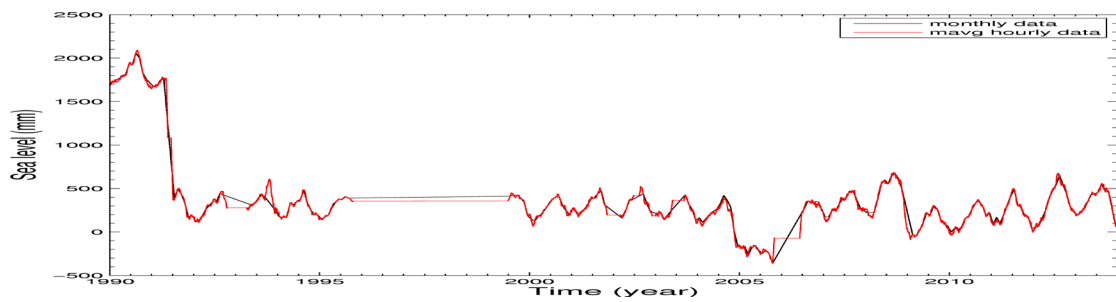


高雄驗潮站時間序列

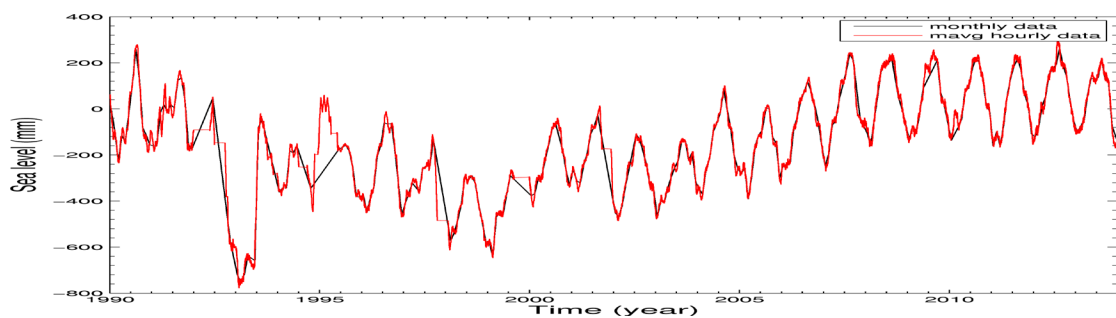
圖 3-8 近二十年期間基隆、蘇澳、花蓮、高雄驗潮站之等權逐月平均(黑)與 720 小時中央移動平均(紅)紀錄之對照比較



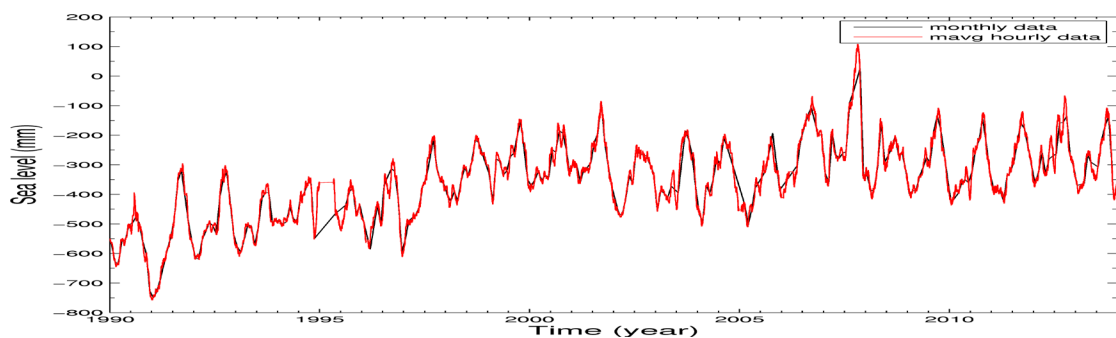
臺中驗潮站時間序列



淡水驗潮站時間序列

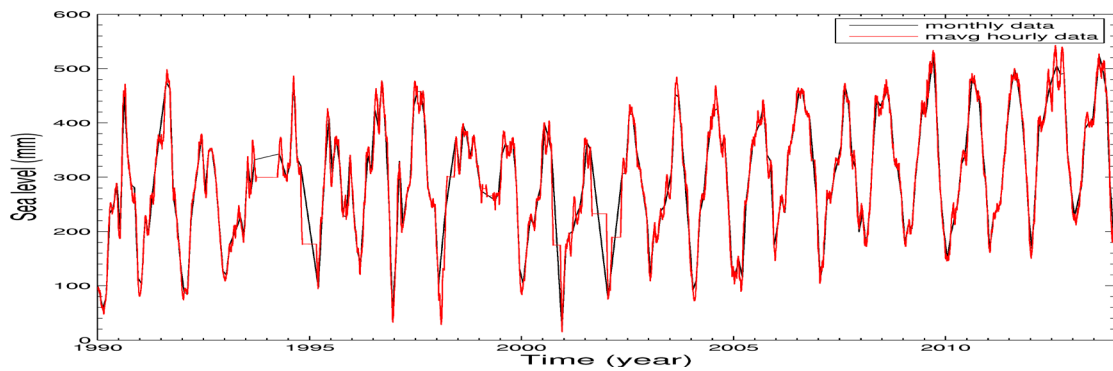


竹圍驗潮站時間序列

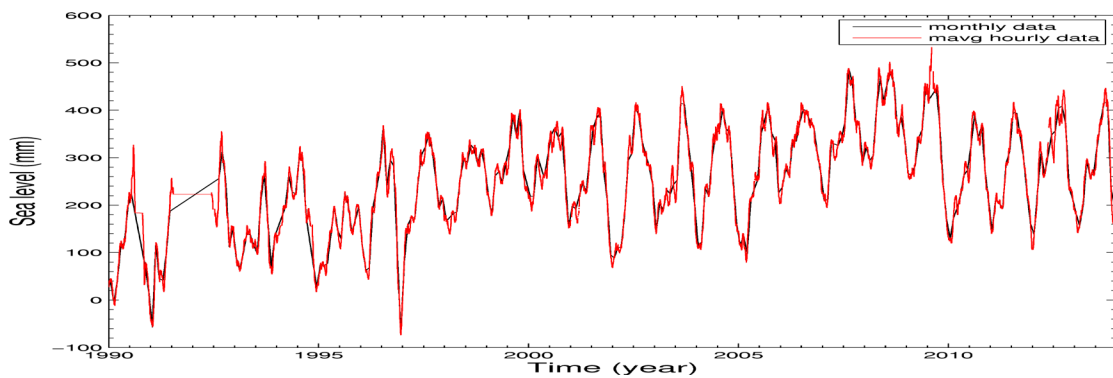


澎湖驗潮站時間序列

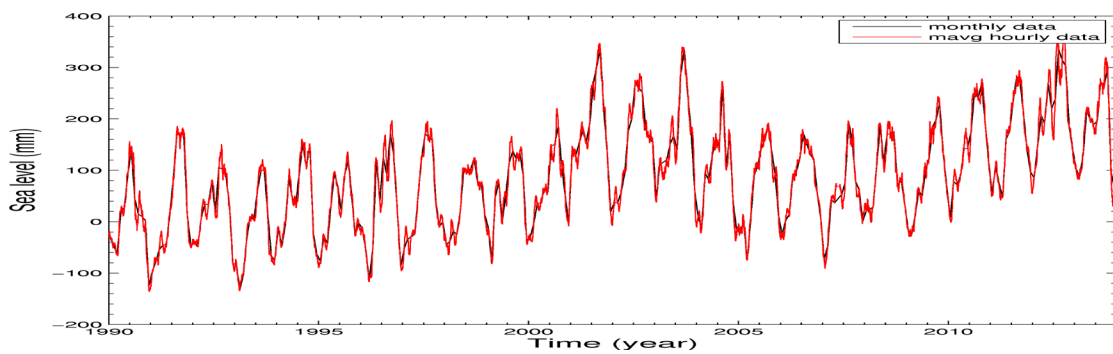
圖 3-8(續) 近二十年期間臺中、淡水、竹圍、澎湖驗潮站之等權逐月平均(黑)與 720 小時中央移動平均(紅)紀錄之對照比較



將軍驗潮站時間序列



蟬廣嘴驗潮站時間序列



富岡驗潮站時間序列

圖 3-8(續) 近二十年期間將軍、蟬廣嘴、富岡驗潮站之等權逐月平均(黑)與 720 小時中央移動平均(紅)紀錄之對照比較

第四章 潮位觀測基準之偏移與改正

4.1 基準偏移概述

臺灣環島沿岸驗潮站近二十年期之逐時潮位紀錄，如圖 2-9 至圖 2-11 所示，各驗潮站之潮位觀測，持續一段期間後，常會因儀器檢校、設備維修、儀器更新、或設置地點變更等情形，造成觀測紀錄存在數個期間長短不一之斷續缺漏情形。此外，基於驗潮站之潮位觀測基準係相對參考陸岸固定之水準點高程，故若陸岸之水準點高程因劇烈的地殼升降作用(如地震)而移位或因觀測儀器必要的定期維護或更新而變動，皆會促使長期性之實測潮位紀錄，存在數目不定且偏移程度大小不一之基準偏移現象。因此，應用驗潮站之長期潮位紀錄進行平均海平面升降變動率相關之研究分析前，除了一般之斷續缺漏紀錄補遺處理外，甚特別地，尚需對觀測基準偏移作必要之校正。

4.2 基準偏移之檢測基準

參考表 2-5 及表 2-6 所示環繞臺灣海岸及臺灣環島沿岸驗潮站之潮位紀錄資訊，再配合圖 2-8 及圖 2-9~圖 2-11 所示各潮站近 20 年期間之時序紀錄，對於基準偏移樣態之初步檢測，本研究將其分為下列二個主要重點：

- (1) 驗潮站號變更：當驗潮站編號不同，如表 2-5 至表 2-6 所示，即可能因為潮位監測儀器變動或遷調移動而導致基準偏移。
- (2) 紀錄斷續缺漏：當驗潮站觀測儀器因為檢校、維修及更新，或因紀錄媒體及傳輸故障而造成觀測記錄之斷續缺漏情形，亦可能產生觀測基準偏移(陳進益，2014)。因此，在審酌及配合實務作業所可能造成必然之斷續缺漏期間下，本研究設定以當斷續缺漏期間超過 6 個月以上，即判定可能產生基準偏移。

對於實質基準偏移之確認檢測，國內外文獻迄今尚無標準程序與作法，因此，本研究將依據下列步驟進行處理、分析與研判：

- (1) 應用逐時等權平均或經移動平均處理後之低頻化逐月平均潮位紀錄。
- (2) 仿照調合分析，應用六參數擬合方法，以附錄一所示之間接平差公式，依最小二乘法原理，計算及移除年週期與半年週期等季節性潮位訊號對偏移量檢測之影響(郭 等，2015)。擬合公式如下：

$$TG_M(t) = a_0 + a_1 t + \sum_{i=1}^2 [A_i \sin(\Omega_i t) + B_i \cos(\Omega_i t)] \dots\dots\dots (4-1)$$

式中， a_0 為全潮位時序紀錄之平均值； a_1 為平均變動率(趨勢)； A_i 、 B_i 分別為與年及半年頻率 Ω_i 對應之擬合常數，即 $\Omega_1 = 2\pi$ 、 $\Omega_2 = 4\pi$ 。

- (3) 針對移除季節性訊號之低頻化逐月平均潮位紀錄，再藉時序壓縮以移除缺漏，促使時序連續，然後，再以哈爾小波(Haar wavelet)進行分頻之分解(decomposition)，藉以移除資料中的高頻(細節)訊號，並僅保留第三層次分頻之低頻(近似)訊號。
- (4) 針對第三層次分頻後之低頻(近似)訊號，先逐時序進行相鄰訊號之差值，俾突顯可能因基準偏移所產生突衝(spike)之時序，接著，透過預先設定之判別門檻值，篩選可能發生基準偏移之時序。至於門檻值之大小，則可引用鄰近確認無基準偏移問題之驗潮站對應時序差值逕行推估，或可應用已經具有絕對海平面參考基準之衛星測高資料，預先作比較計算而設定。對於後者，郭 等(2015)曾應用 PSMSL 潮位資料庫之 RLR 資料，進行臺灣四周海域之評估計算，並建議以 50 mm 做為篩選可能發生基準偏移時序之門檻值。
- (5) 針對可能發生基準偏移之篩選時序，再分別於該時序之前後，

各取 2 年期間作潮位時序平均，並計算其相對偏差值，當該偏差值超過預先設定之偏移確認門檻值時，則判定有基準偏移發生，並需作後續之基準偏移改正。至於該確認門檻值，經郭 等 (2015) 應用 PSMSL 潮位資料庫之 RLR 資料，進行臺灣四周海域之評估計算，建議為 130 mm。

4.3 基準偏移檢測應用

為測試基準偏移檢測基準之通用性，結合表 2-5 及表 2-6 所示之國、內外驗潮站潮位資料庫，先以圖 2-8 所示自 PSMSL 資料庫中所檢選鄰近臺灣海岸之坎門、廈門、大浦滯、那霸、黎牙實比等共 5 處驗潮站之逐時等權低頻化逐月平均潮位紀錄進行基準偏移檢測，因而可得各驗潮站相關之原始低頻化逐月平均潮位紀錄及扣除季節性潮位後之逐月平均潮位，如圖 4-1 所示；經應用小波分解後之高、低頻潮位與用以作基準偏移偵測之差值潮位，則如圖 4-2 所示。

觀察圖 4-2 可見，PSMSL 資料庫中之 RLR 型態潮位紀錄，僅管其原始紀錄已經參考地方潮位基準作修正，惟用差值潮位作基準偏移檢測，仍可發現各站尚皆有多處時序可能存在基準偏移。以大浦滯驗潮站之偏移量檢測結果為例，初步可發現有多個差值潮位大於 75 mm，惟經與周圍驗潮站及衛星測高資料比較後，確認其並無進行基準偏移校正之必要；再以黎牙實比驗潮站之偏移量檢測結果為例，初步亦可發現該驗潮站有有多個差值潮位大於 75 mm，甚至有 1 個大於 150 mm，經與周圍驗潮站及衛星測高資料比較後，確認那個差值潮位大於 150 mm 的原因，係受聖嬰現象影響所致。總體而言，在 PSMSL 資料庫中，環繞臺灣海岸之 5 處驗潮站，僅管各站之差值潮位會存在多個大於偏移量檢測基準之時序，但卻均可通過潮位偏移之確認基準，故皆不需再作後續之偏移校正。

另外，再以圖 3-8 所示自 CWB 資料庫中所檢選臺灣環島沿岸之基隆、蘇澳、花蓮、高雄、臺中、淡水、竹圍、澎湖、將軍、蟬廣嘴、

富岡等共 11 處驗潮站經移動平均處理後之低頻化逐月平均潮位紀錄進行基準偏移檢測，因而可得各驗潮站相關之原始低頻化逐月平均潮位紀錄及扣除季節性潮位後之逐月平均潮位，如圖 4-3 所示；經應用小波分解後之高、低頻潮位與用以作基準偏移偵測之差值潮位，則如圖 4-4 所示。

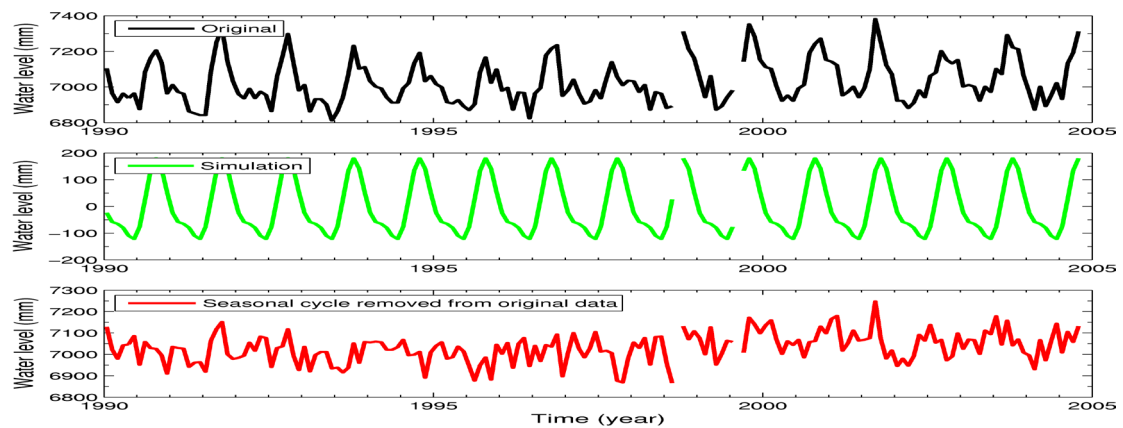
觀察圖 4-4 可見，CWB 資料庫中之低頻化逐月平均潮位紀錄，經應用差值潮位作基準偏移檢測，各站均可發現多處時序可能存在基準偏移。其中，基隆有一時序之差值潮位大於 150 mm；蘇澳有一時序之差值潮位大於 400 mm；高雄有三時序之差值潮位大於 100 mm，且有一時序大於 200 mm；花蓮、臺中、澎湖、蟬廣嘴、將軍各皆有一時序之差值潮位大於 100 mm；淡水有三時序之差值潮位大於 400 mm，且有二時序甚至大於 600 mm；竹圍有二時序之差值潮位大於 200 mm，且有 1 時序大於 400 mm；最特別的是富岡驗潮站，其差值潮位皆甚小，大多在 50 mm 上下。

將圖 4-4 所示各站之差值潮位所存在多個大於偏移量檢測基準之時序，再經潮位偏移確認基準判別，並與周圍驗潮站及衛星測高資料比較後，因而可得各站應進行基準偏移校正之時序，綜合整理如表 4-1 所示。

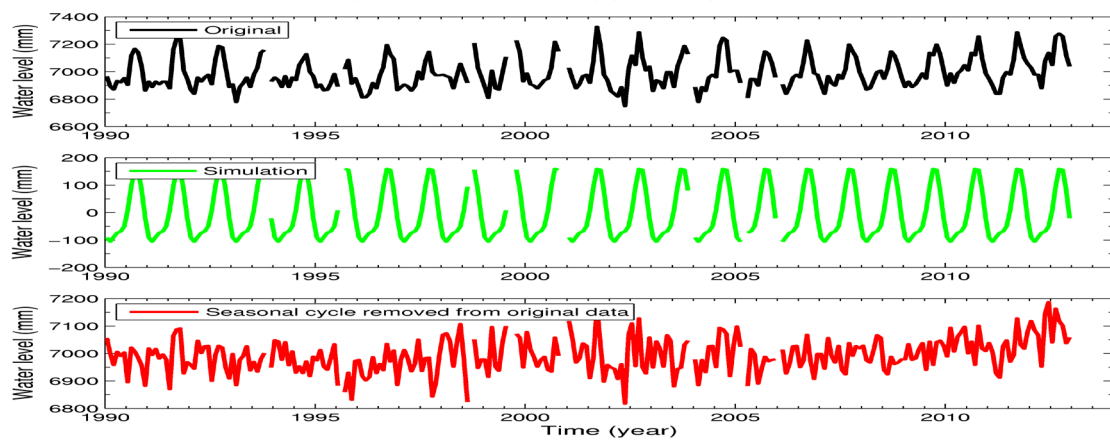
表 4-1 CWB 潮位資料庫中臺灣環島各驗潮站經基準偏移檢測判定確認有基準偏移發生之時序。

驗潮站名	步階區段	步階區段對應之 起始年月
基隆	1	1998.5
	2	2003
	3	2004.37
蘇澳	1	1991.5
	2	1995
	3	2002
	4	2004.62
花蓮	1	1990.8
	2	1997
高雄	1	1999
	2	2003.37
	3	2004.2285
	4	2009.62
臺中	1	2000
	2	2006.79
	3	2009.6

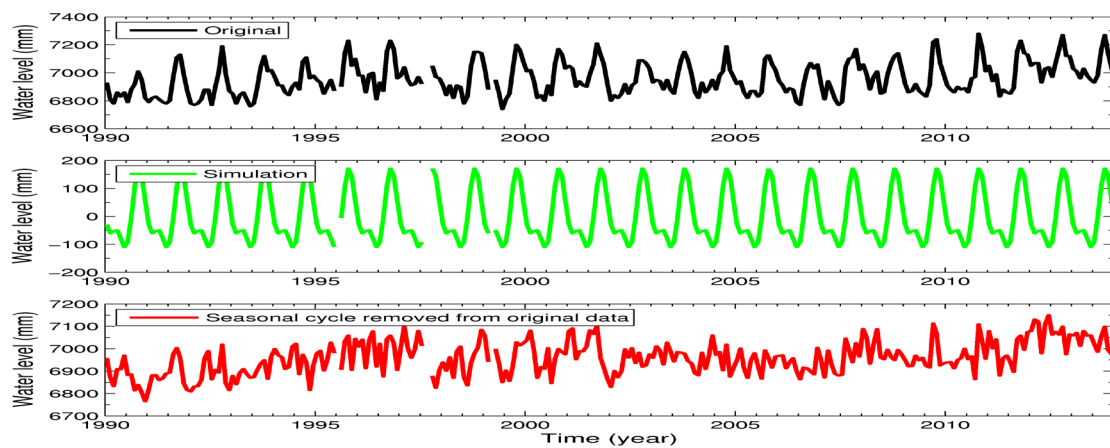
驗潮站名	步階區段	步階區段對應 之起始年月
淡水	1	1991.5
	2	1993
	3	1996
	4	2005
	5	2008.291
	6	2009
	7	2010.5
	8	2011.6
竹圍	1	1992
	2	1995
	3	1998
	4	2000
	5	2002
澎湖	1	1990.5
	2	1997.7
	3	2006.37
	4	2008.46
將軍	1	1994.291
蟬廣嘴	1	1992.5
	2	2009.875
富岡	1	2001
	2	2004.5
	3	2009.78



廈門驗潮站之季節性訊號移除

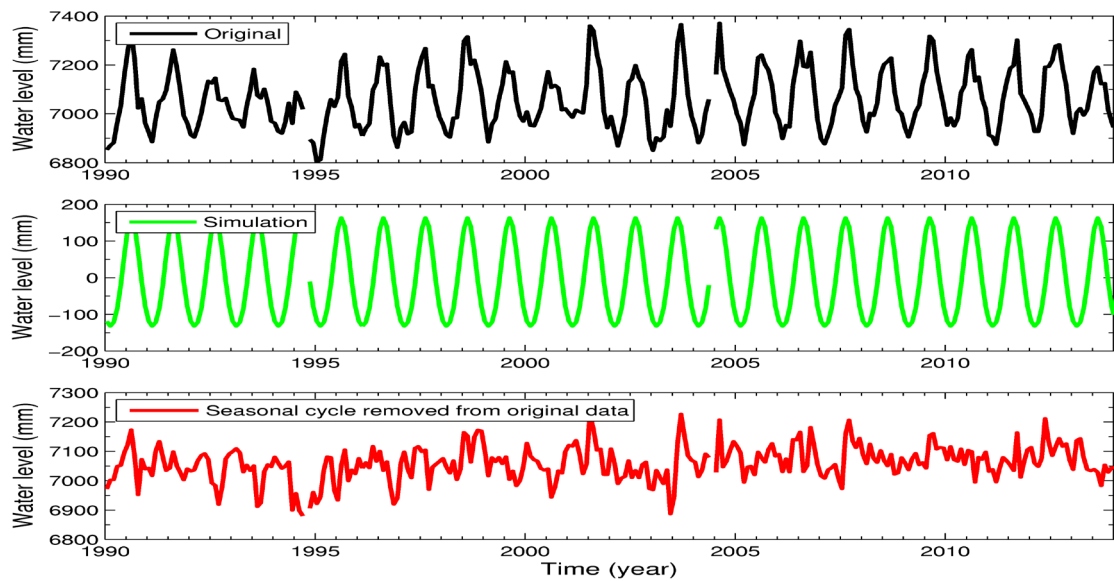


坎門驗潮站之季節性訊號移除

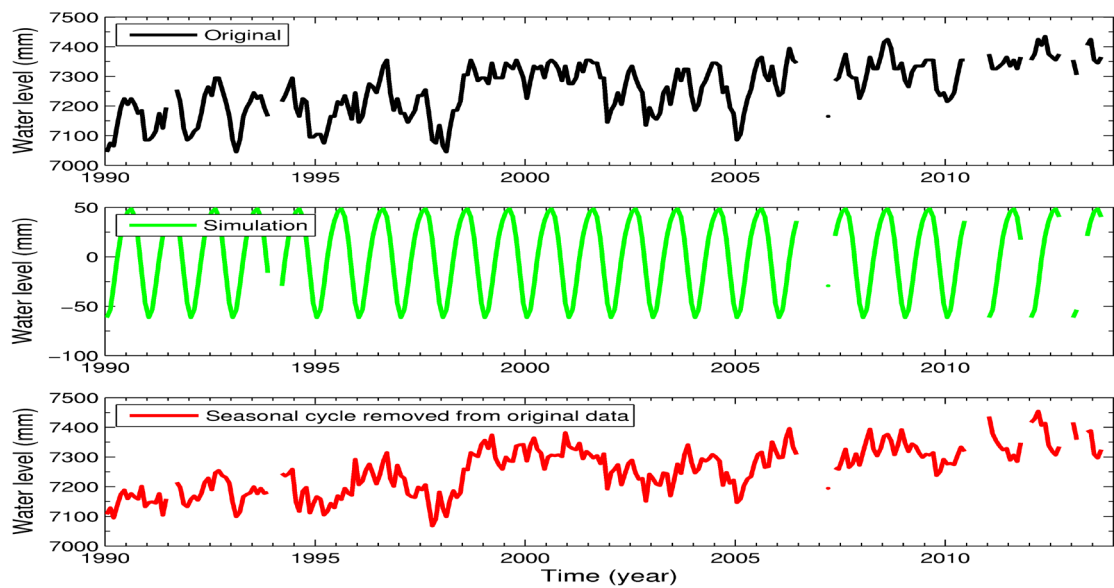


大浦滯驗潮站之季節性訊號移除

圖 4-1 PSMSL 潮位資料庫中廈門、坎門、大浦滯驗潮站之原始逐月平均潮位(黑)及扣除季節性潮位(綠)後之逐月平均潮位(紅)

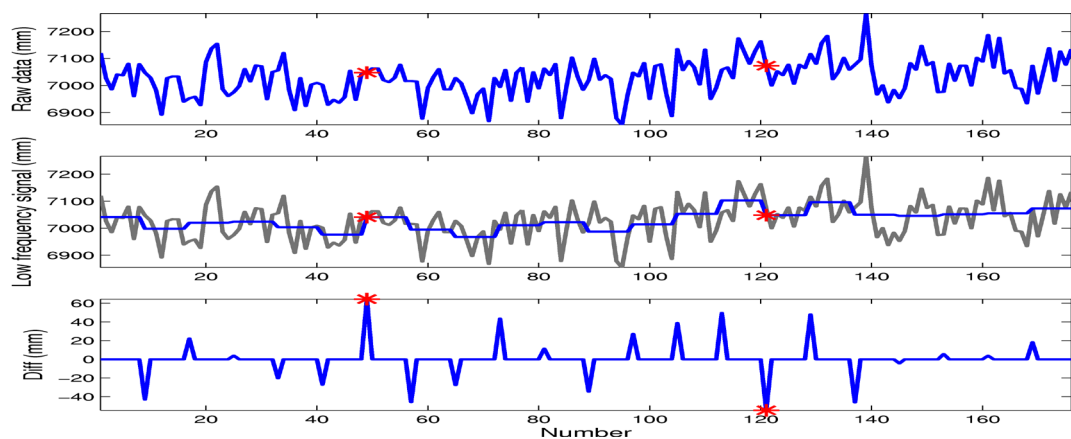


那霸驗潮站之季節性訊號移除

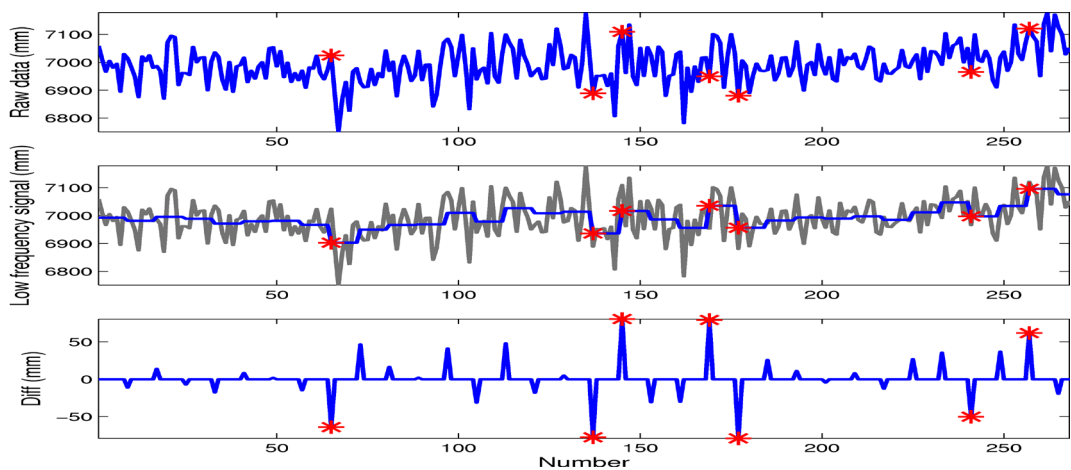


黎牙實比驗潮站之季節性訊號移除

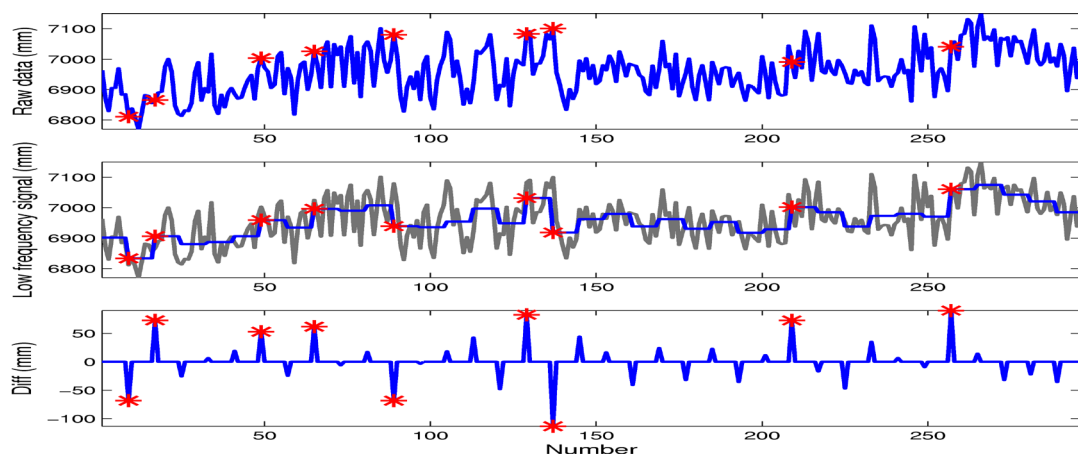
圖 4-1(續) PSMSL 潮位資料庫中那霸、黎牙實比驗潮站之原始逐月平均潮位(黑)及扣除季節性潮位(綠)後之逐月平均潮位(紅)



廈門驗潮站之偏移量偵測

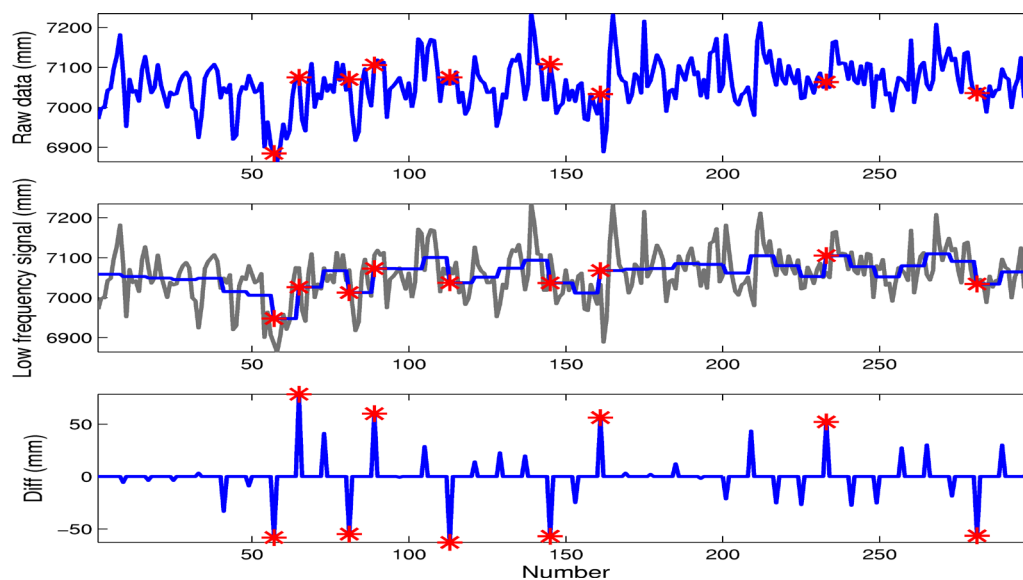


坎門驗潮站之偏移量偵測

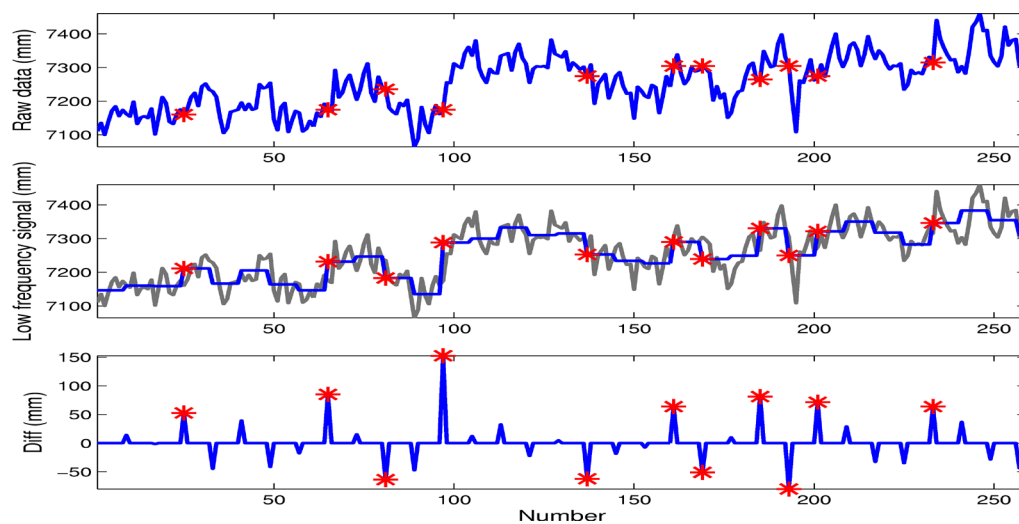


大浦滬驗潮站之偏移量偵測

圖 4-2 PSMSL 廈門、坎門、大浦滬驗潮站扣除季節性潮位後之逐月平均潮位(圖上)及其以小波分解後之高、低頻潮位(圖中)與用以作基準偏移偵測之差值潮位(圖下)

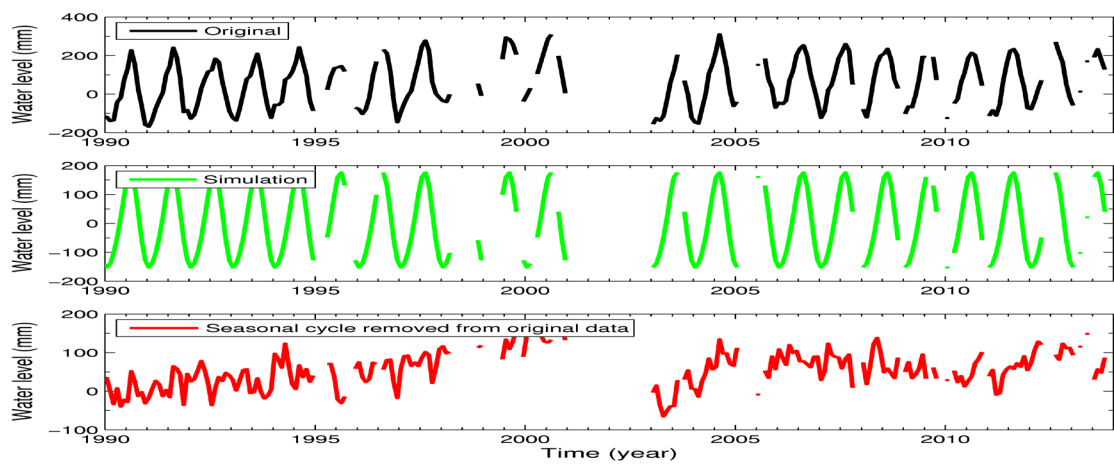


那霸驗潮站之偏移量偵測

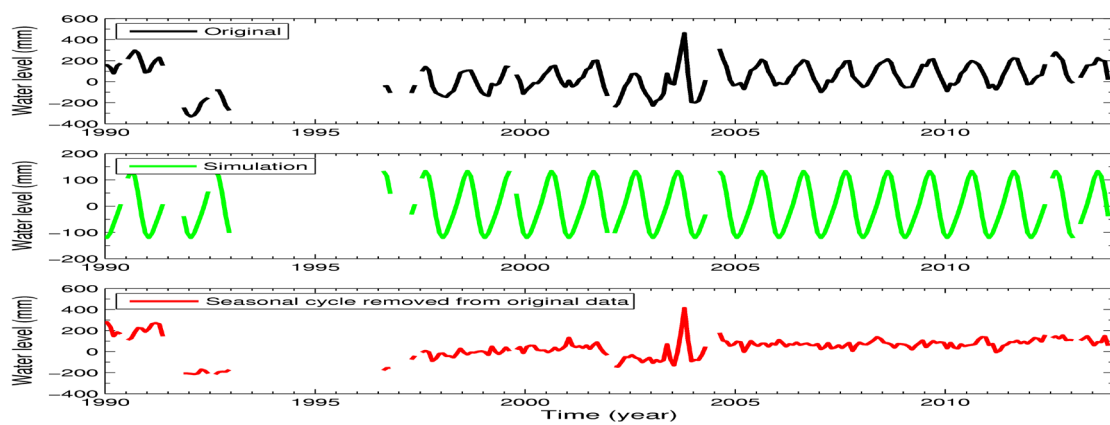


黎牙實比驗潮站之偏移量偵測

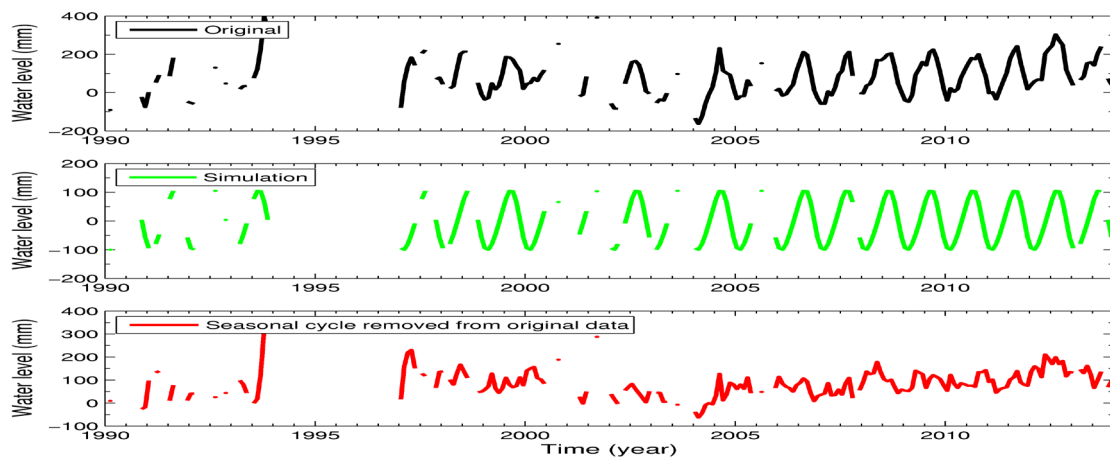
圖 4-2(續) PSMSL 那霸、黎牙實比驗潮站扣除季節性潮位後之逐月平均潮位(圖上)及其以小波分解後之高、低頻潮位(圖中)與用以作基準偏移偵測之差值潮位(圖下)



基隆驗潮站之季節性訊號移除

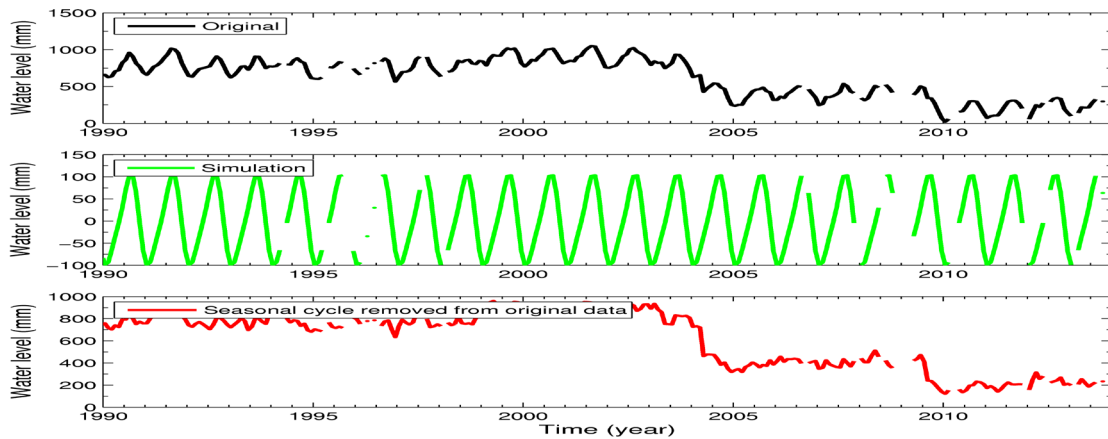


蘇澳驗潮站之季節性訊號移除

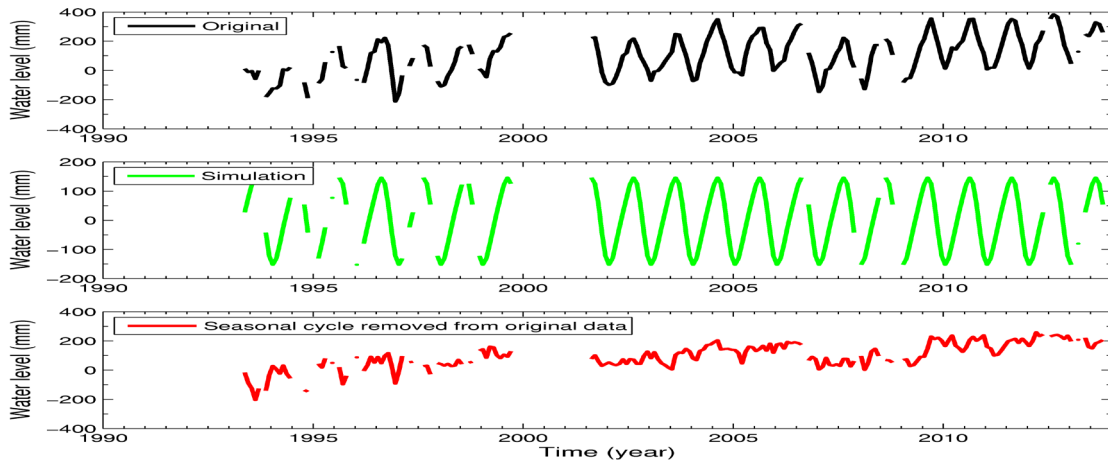


花蓮驗潮站之季節性訊號移除

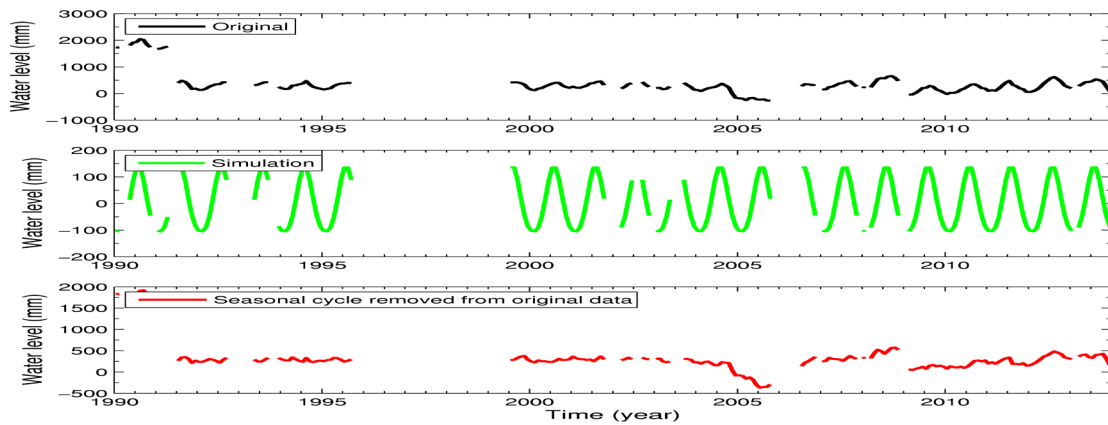
圖 4-3 CWB 潮位資料庫中基隆、蘇澳、花蓮驗潮站之原始逐月平均潮位(黑)及扣除季節性潮位(綠)後之逐月平均潮位(紅)



高雄驗潮站之季節性訊號移除

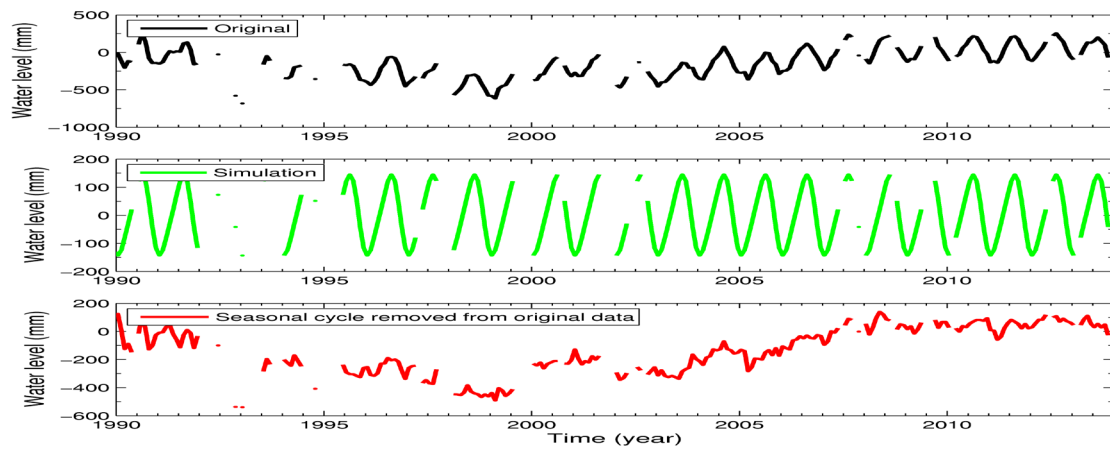


臺中驗潮站之季節性訊號移除

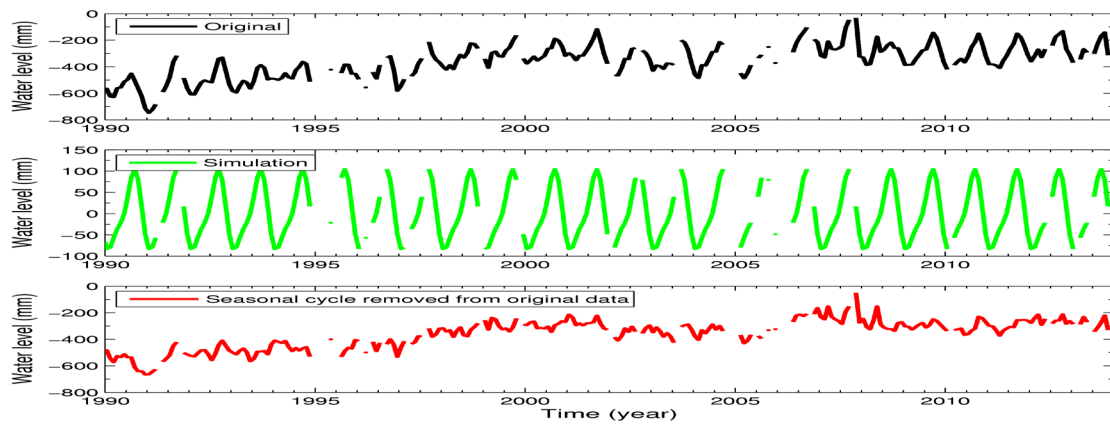


淡水驗潮站之季節性訊號移除

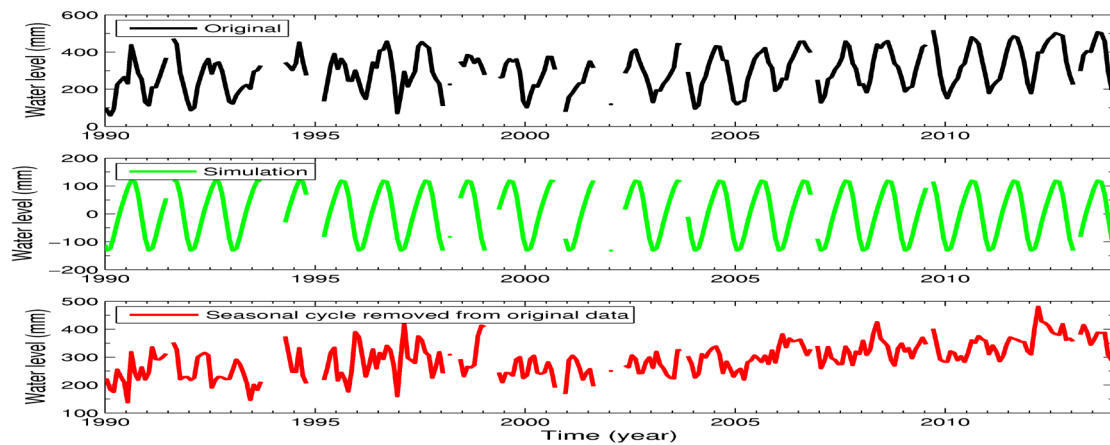
圖 4-3(續) CWB 潮位資料庫中高雄、臺中、淡水驗潮站之原始逐月平均潮位(黑)及扣除季節性潮位(綠)後之逐月平均潮位(紅)



竹圍驗潮站之季節性訊號移除

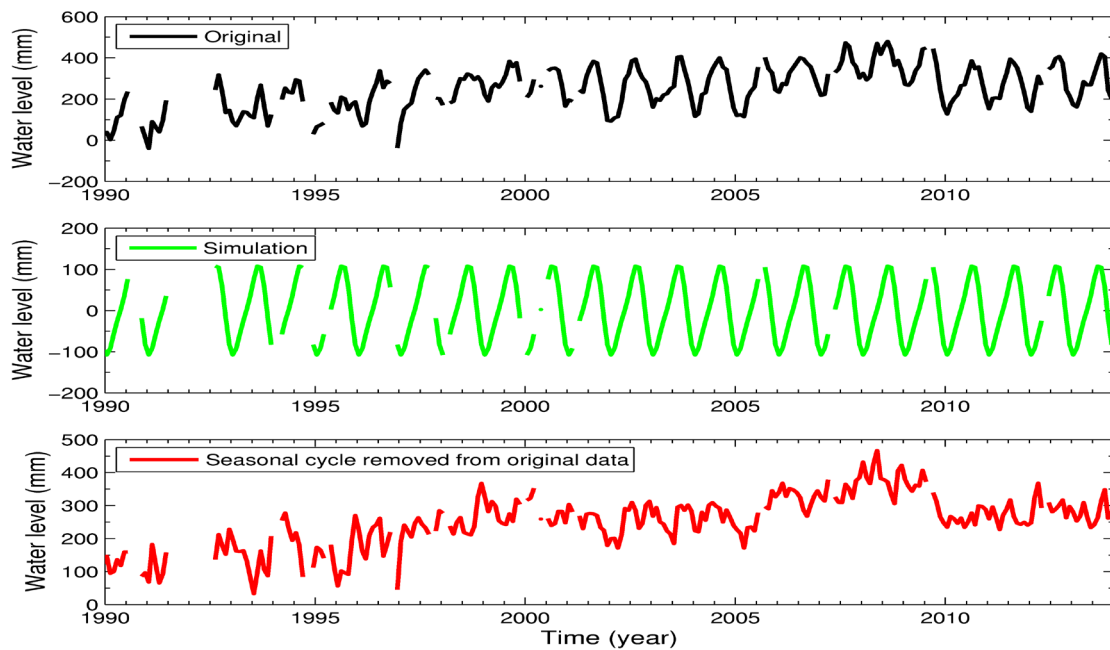


澎湖驗潮站之季節性訊號移除

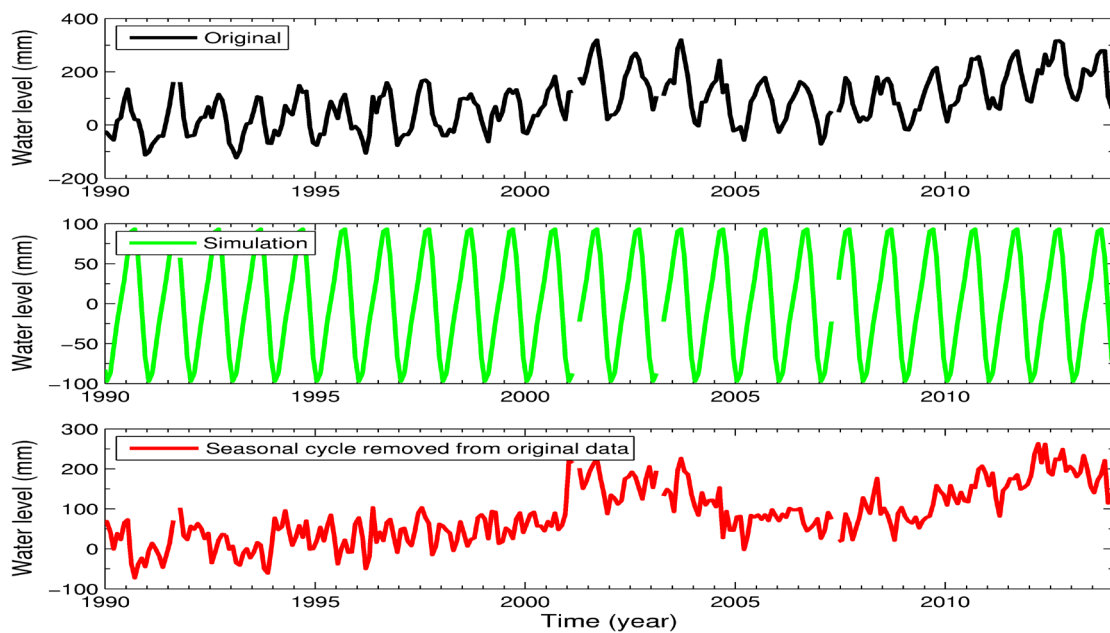


將軍驗潮站之季節性訊號移除

圖 4-3(續) CWB 潮位資料庫中竹圍、澎湖、將軍驗潮站之原始逐月平均潮位(黑)及扣除季節性潮位(綠)後之逐月平均潮位(紅)

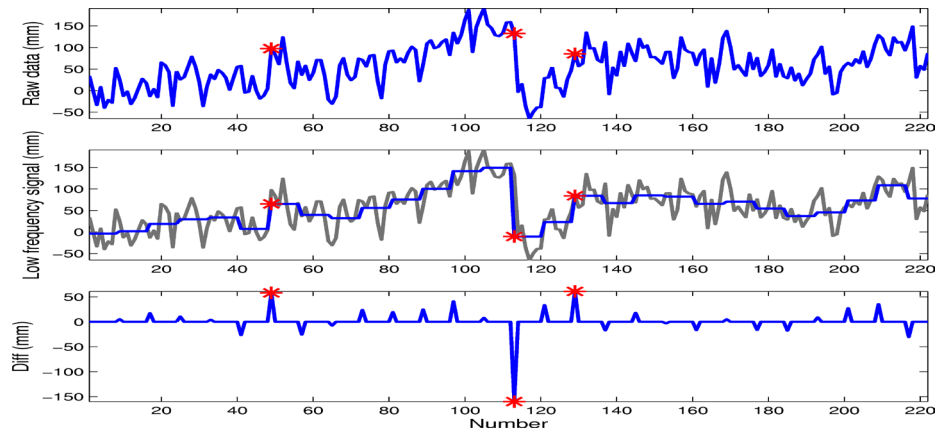


蟬廣嘴驗潮站之季節性訊號移除

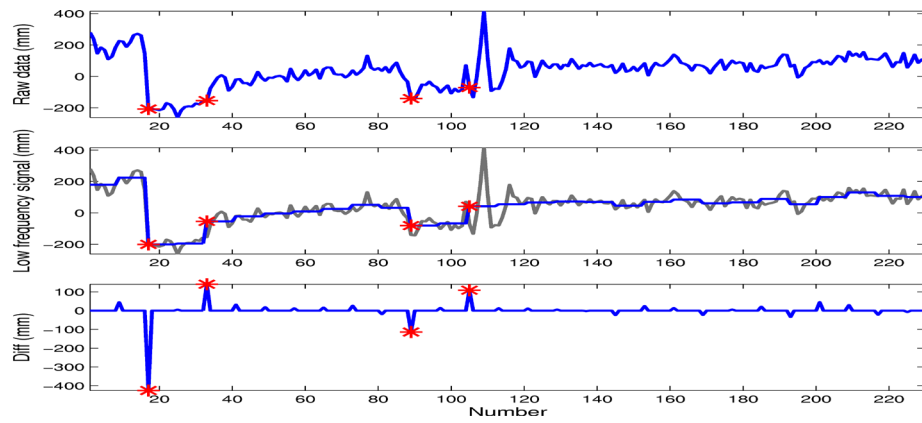


富岡驗潮站之季節性訊號移除

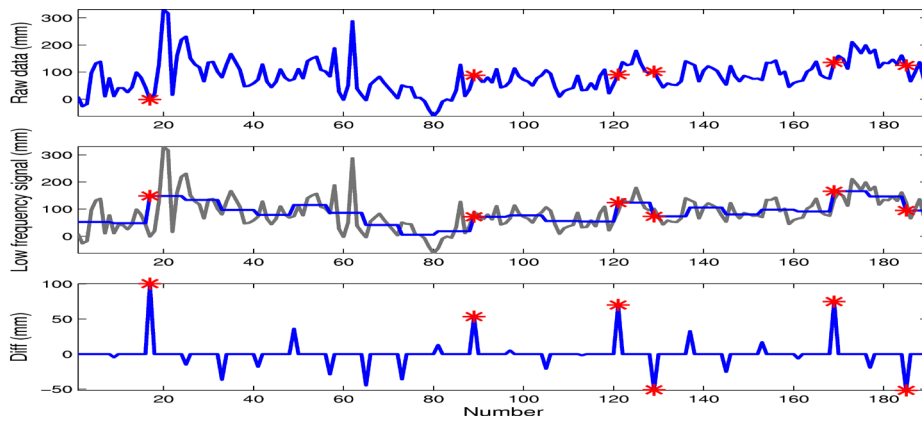
圖 4-3(續) CWB 潮位資料庫中蟬廣嘴、富岡驗潮站之原始逐月平均潮位(黑)及扣除季節性潮位(綠)後之逐月平均潮位(紅)



基隆驗潮站之偏移量偵測

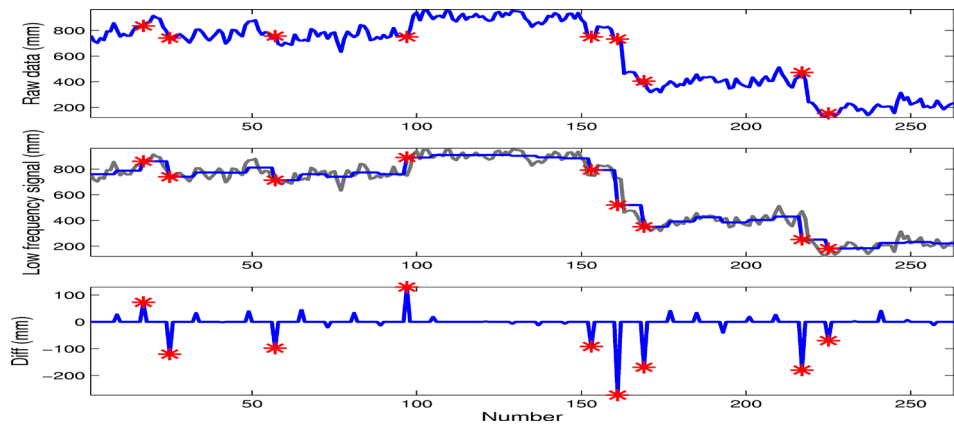


蘇澳驗潮站之偏移量偵測

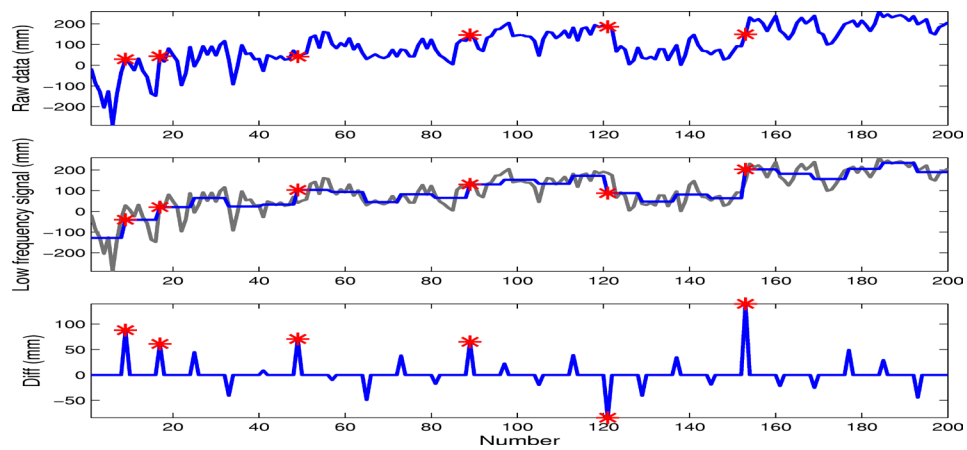


花蓮驗潮站之偏移量偵測

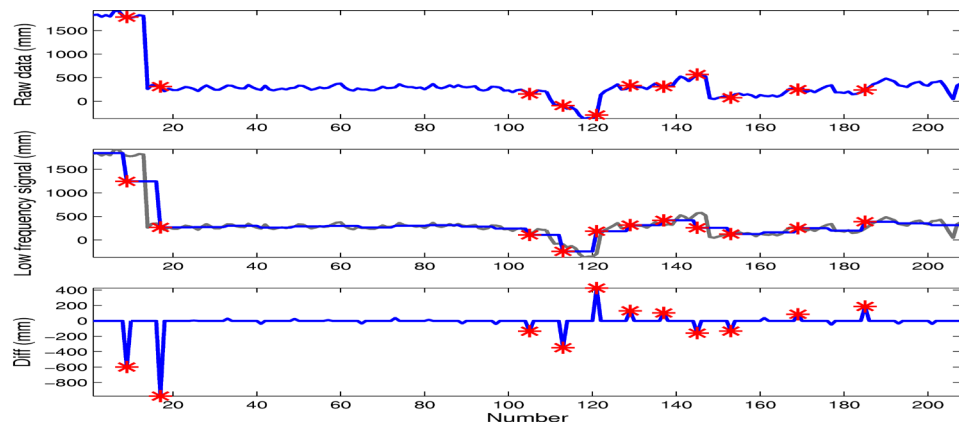
圖 4-4 CWB 基隆、蘇澳、花蓮驗潮站扣除季節性潮位後之逐月平均潮位(圖上)及其以小波分解後之高、低頻潮位(圖中)與用以作基準偏移偵測之差值潮位(圖下)



高雄驗潮站之偏移量偵測

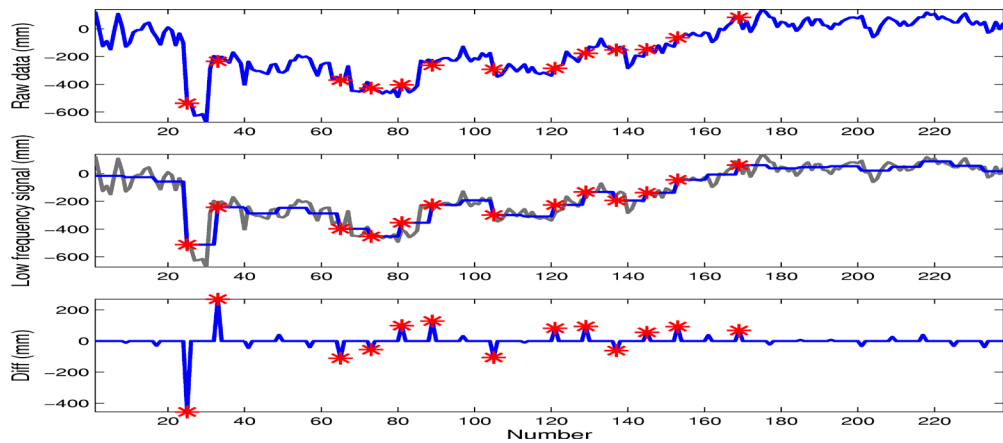


臺中驗潮站之偏移量偵測

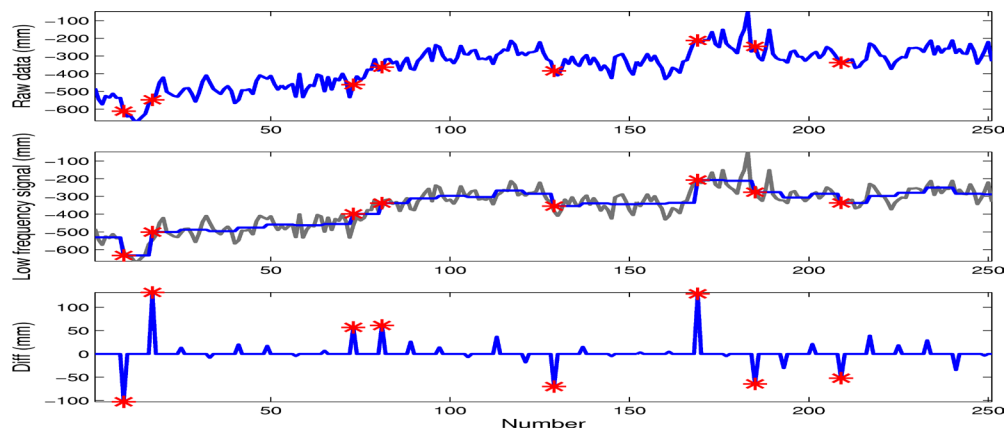


淡水驗潮站之偏移量偵測

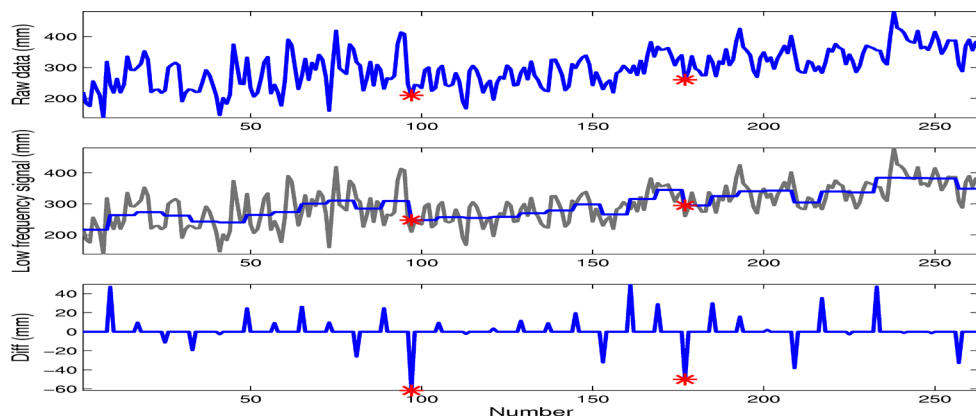
圖 4-4(續) CWB 高雄、臺中、淡水驗潮站扣除季節性潮位後之逐月平均潮位(圖上)及其以小波分解後之高、低頻潮位(圖中)與用以作基準偏移偵測之差值潮位(圖下)



竹圍驗潮站之偏移量偵測

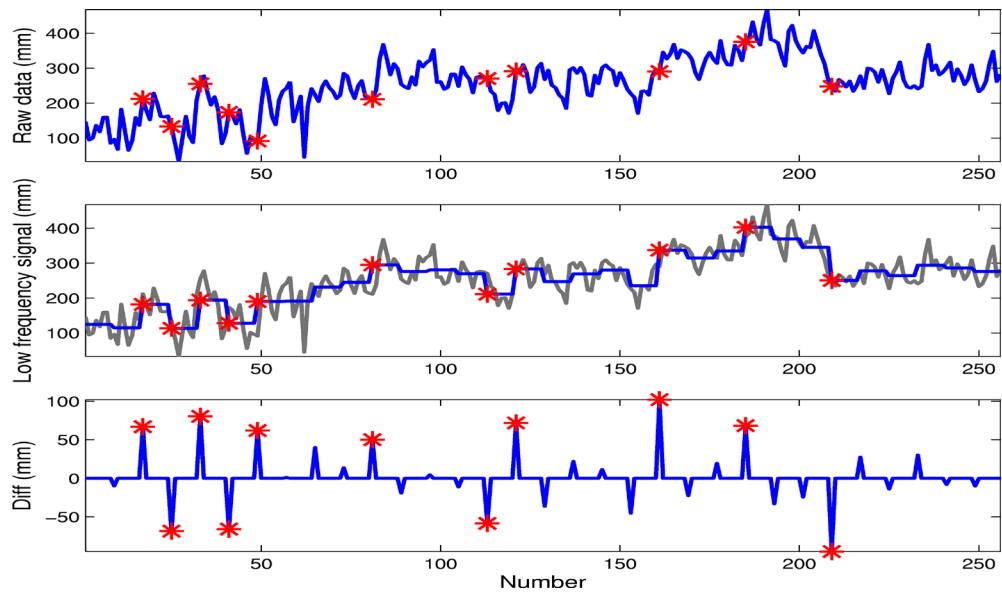


澎湖驗潮站之偏移量偵測

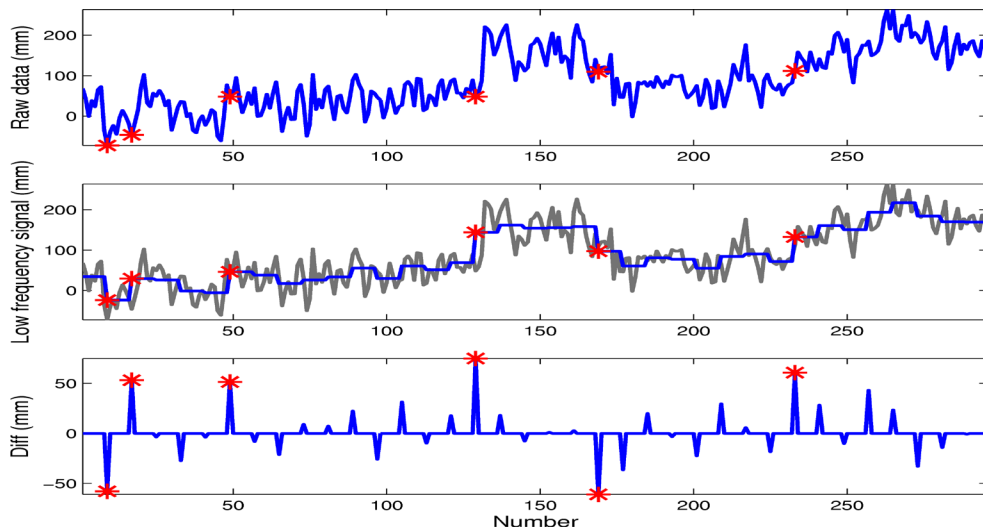


將軍驗潮站之偏移量偵測

圖 4-4(續) CWB 竹圍、澎湖、將軍驗潮站扣除季節性潮位後之逐月平均潮位(圖上)及其以小波分解後之高、低頻潮位(圖中)與用以作基準偏移偵測之差值潮位(圖下)



蟬廣嘴驗潮站之偏移量偵測



富岡驗潮站之偏移量偵測

圖 4-4(續) CWB 蟬廣嘴、富岡驗潮站扣除季節性潮位後之逐月平均潮位(圖上)及其以小波分解後之高、低頻潮位(圖中)與用以作基準偏移偵測之差值潮位(圖下)

4.4 基準偏移之自動化校正

針對臺灣環島沿岸應進行潮位基準偏移校正之基隆、蘇澳、花蓮、高雄、臺中、淡水、竹圍、澎湖、將軍、蟬廣嘴、富岡等共 11 處驗潮站扣除季節性潮位後之逐月平均潮位時序(參見圖 4-3)，經潮位偏移確認基準判別後，因此，自表 4-1 中即可確定各驗潮站基準偏移之總數(N)及其對應之發生時序(t_j)，接著，設定 N 個基準偏移校正量，並分別用大小為 Δ_j 之步階函數(step function)代表，則仿照式(4-1)，再以附錄一所示之間接平差計算方式，依最小二乘法原理，求解下列以二參數擬合之基準偏移校正算式：

$$TG_C(t) = c_0 + c_1 t + \sum_{j=1}^N \Delta_j \dots\dots\dots(4-2)$$

最後，即可解算出 c_0 、 c_1 及 N 個步階函數 Δ_j ，並據以進行基準偏移之自動校正，同時，也可從 c_1 值，估算 SLR 值或平均海平面升降之年變率(趨勢)。值得特別一提的是，式(4-2)之意義，實際係將特定驗潮站長期之原始潮位紀錄，依基準偏移總數 N ，區分為 $N+1$ 個紀錄區間，而 c_0 及 N 個步階函數 Δ_j ，分別可類比為各紀錄區間之平均值；至於 c_1 ，則可類比各紀錄區間內，以區間長短為權重之 SLR 總平均值，因此，最長或最主要區間之 SLR，將會主控 c_1 值之大小及其最終升降特性之陳現。

針對圖 3-8 所示臺灣環島沿岸各驗潮站經移動平均處理後之低頻化逐月平均潮位紀錄，應用式(4-2)所解算之 N 個步階函數 Δ_j ，如表 4-2 所示，進行潮位基準偏移自動校正，因而可得各驗潮站校正前、後之時序，如圖 4-5 所示，而對應校正前、後之標準偏差(STD)比較，則如表 4-3 所示。

配合表 4-3，綜合觀察圖 4-5 可見，臺灣環島沿岸各驗潮站之低頻化逐月平均潮位紀錄，不論原始基準偏移之發生數目與大小，應用含

步階函數之擬合法，似皆可自動且有效地進行基準偏移量改正，同時可降低校正前、後之標準偏差(STD)。

表 4-2 CWB 臺灣環島各驗潮站進行基準偏移偵測所得之偏移步階區段數與其對應之起始年月與偏移量

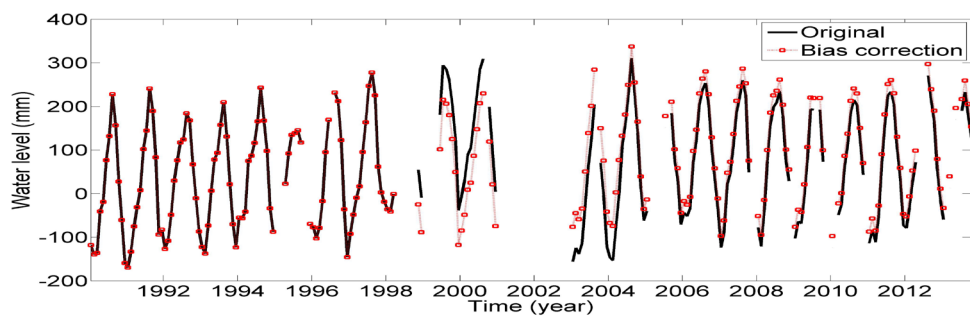
驗潮站名	步階區段	步階區段對應之起始年月	偏移量(mm)	
			CWB_monthly	CWB_mavg_hourly
基隆	1	1998.5	-80.94	-79.26
	2	2003	81.77	79.54
	3	2004.37	28.25	26.52
蘇澳	1	1991.5	426.51	418.49
	2	1995	272.68	269.23
	3	2002	362.80	356.68
	4	2004.62	267.19	262.74
花蓮	1	1990.8	-73.26	-41.12
	2	1997	-83.73	-49.97
高雄	1	1999	-149.23	-150.73
	2	2003.37	-23.69	-26.87
	3	2004.2285	343.89	340.64
	4	2009.62	533.84	528.92
臺中	1	2000	81.53	94.53
	2	2006.79	221.99	242.12
	3	2009.6	168.78	195.99

表 4-2(續) CWB 臺灣環島各驗潮站進行基準偏移偵測所得之偏移步階區段數與其對應之起始年月與偏移量

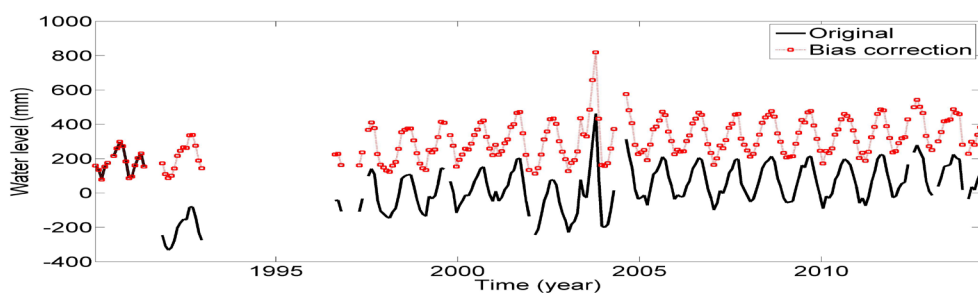
驗潮站名	步階區段	步階區段對應之起始年月	偏移量(mm)	
			CWB_monthly	CWB_mavg_hourly
淡水	1	1991.5	1571.82	1567.04
	2	1993	1598.91	1582.42
	3	1996	1703.29	1664.40
	4	2005	1829.43	1774.23
	5	2008.291	1561.74	1499.10
	6	2009	1958.96	1889.90
	7	2010.5	1841.88	1768.81
	8	2011.6	1810.08	1721.39
竹圍	1	1992	408.31	414.59
	2	1995	431.97	433.48
	3	1998	660.79	663.37
	4	2000	497.15	500.26
	5	2002	573.23	577.29
澎湖	1	1990.5	-12.79	-15.46
	2	1997.7	-142.55	-144.46
	3	2006.37	-202.77	-213.73
	4	2008.46	-123.54	-126.36
將軍	1	1994.291	7.72	2.56
蟬廣嘴	1	1992.5	-16.71	-15.44
	2	2009.875	99.13	98.87
富岡	1	2001	-95.03	-93.61
	2	2004.5	8.97	9.95
	3	2009.78	-64.97	-63.22

表 4-3 CWB 臺灣環島各驗潮站進行基準偏移校正前、後之標準偏差 (STD)分析與比較

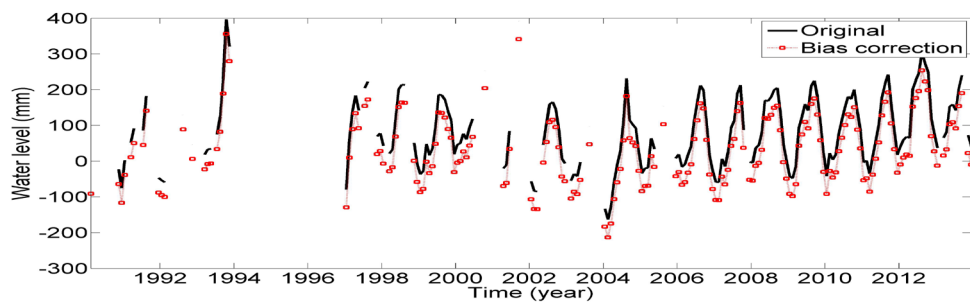
驗潮站名	等權平均		移動平均	
	改正前 STD (mm)	改正後 STD (mm)	改正前 STD (mm)	改正後 STD (mm)
基隆	126.96	124.64	123.74	121.40
蘇澳	137.74	119.94	133.75	115.96
花蓮	103.95	103.26	99.59	99.20
高雄	268.00	93.57	267.37	91.54
臺中	139.51	179.37	136.93	185.94
淡水	417.23	177.71	417.07	163.04
竹圍	211.67	261.93	209.41	261.07
澎湖	130.38	96.56	127.56	92.64
將軍	109.32	110.02	105.03	105.26
蟬廣嘴	108.38	119.75	106.05	117.50
富岡	98.91	84.64	96.74	82.43



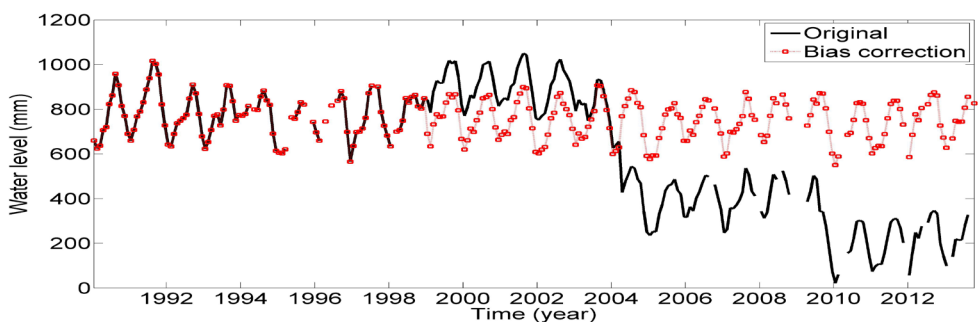
基隆驗潮站之偏移量改正



蘇澳驗潮站之偏移量改正

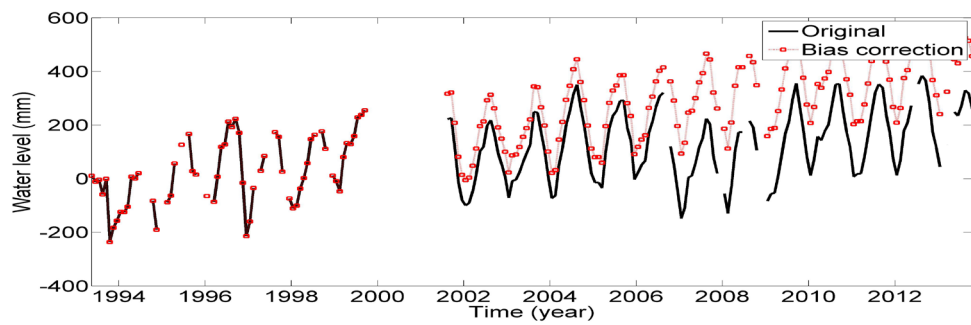


花蓮驗潮站之偏移量改正

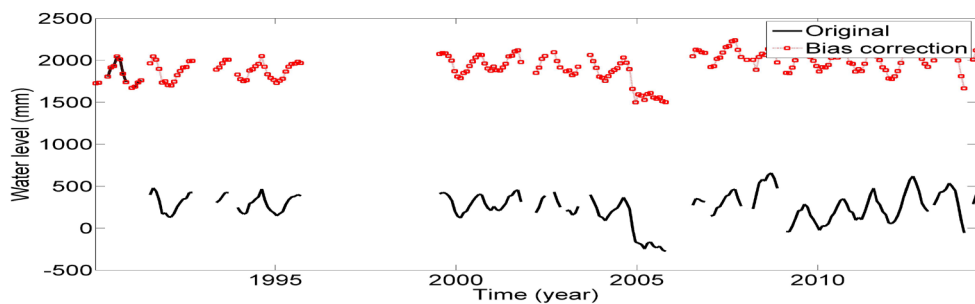


高雄驗潮站之偏移量改正

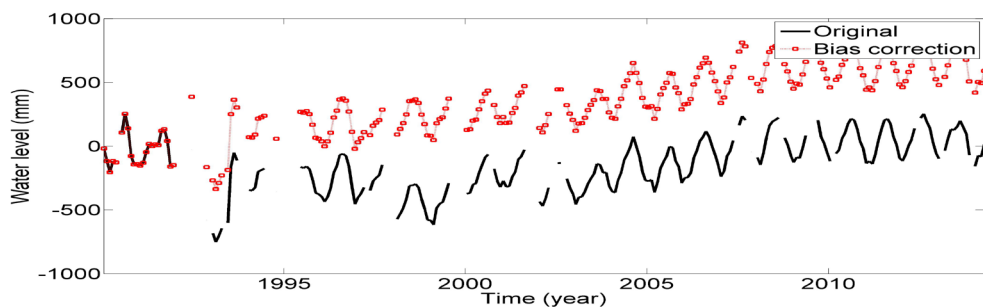
圖 4-5 CWB 基隆、蘇澳、花蓮、高雄驗潮站逐月平均潮位進行潮位基準偏移校正前(黑)、後(紅)之對照比較



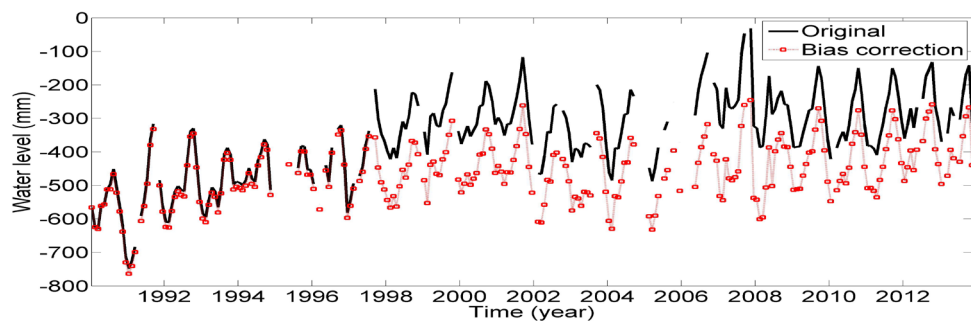
臺中驗潮站之偏移量改正



淡水驗潮站之偏移量改正

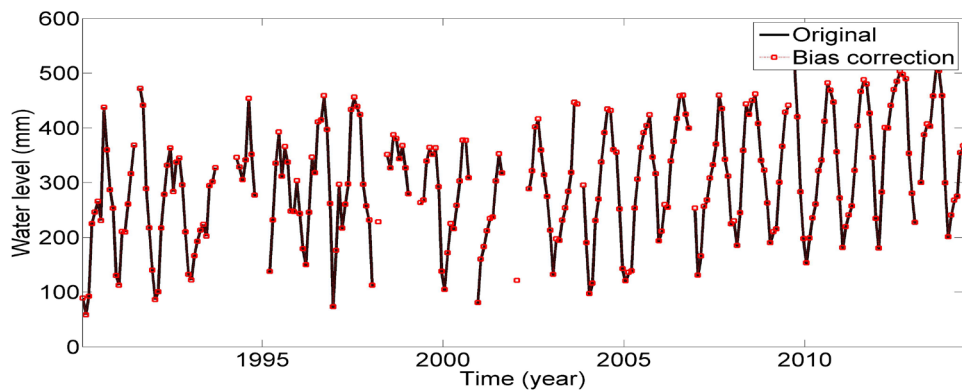


竹圍驗潮站之偏移量改正

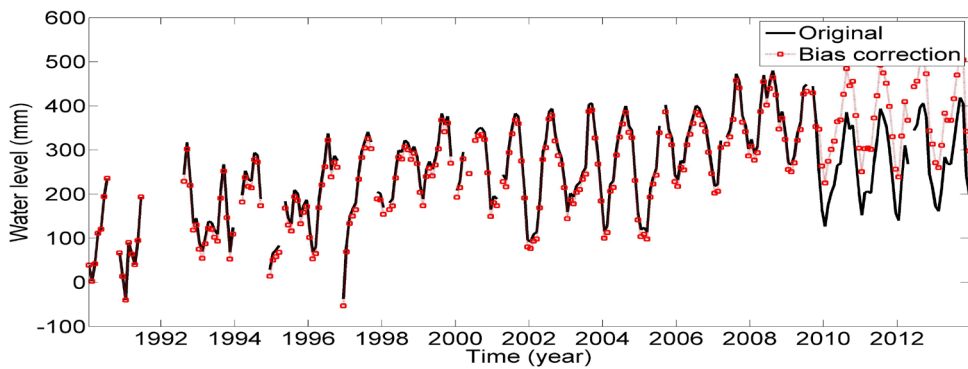


澎湖驗潮站之偏移量改正

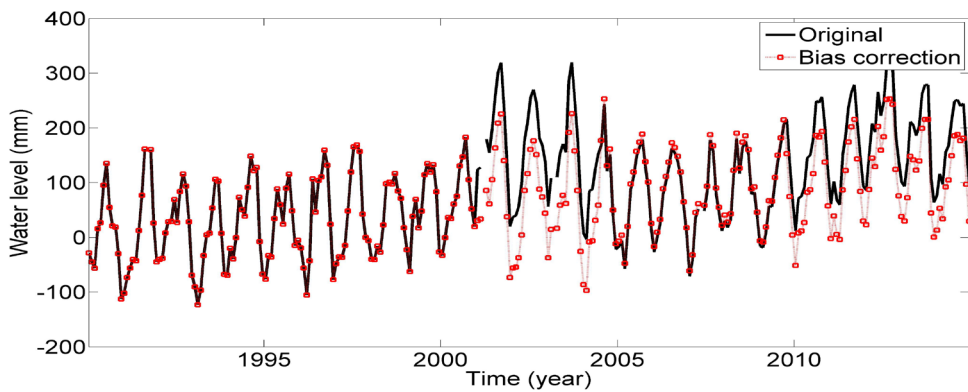
圖 4-5(續) CWB 臺中、淡水、竹圍、澎湖驗潮站逐月平均潮位進行潮位基準偏移校正前(黑)、後(紅)之對照比較



將軍驗潮站之偏移量改正



蟬廣嘴驗潮站之偏移量改正



富岡驗潮站之偏移量改正

圖 4-5(續) CWB 將軍、蟬廣嘴、富岡驗潮站逐月平均潮位進行潮位基準偏移校正前(黑)、後(紅)之對照比較

4.5 偏移改正準確度評估

在 PSMSL 及 CWB 資料庫中，對於經檢選驗潮站之長期低頻化逐月平均潮位紀錄，於進行潮位基準偏移校正後之相關準確度，本研究將應用式(4-2)之二參數擬合基準偏移校正算式，藉校正前、後所求出之 c_1 值，亦即是平均海平面升降年變率(趨勢)或 SLR 值，透過與應用 AVISO 衛星測高資料所分析結果(郭 等，2015)之對照比較，進行評估。

針對環繞臺灣海岸之坎門、廈門、大浦滯、那霸、黎牙實比等共 5 處驗潮站，由於各站均通過潮位偏移確認基準之判別而不需進行基準偏移校正，因此，可整理各站原始低頻化逐月平均潮位紀錄，及依據式(4-2)所求算出之平均海平面升降年變率或 SLR 趨勢，如圖 4-6 所示。相關之 SLR 值及與應用 AVISO 衛星測高資料所分析之結果(郭 等，2015)，則可綜整如表 4-4 所示。由表 4-4 對照比較可見，環繞臺灣驗潮站之潮位紀錄，總體而言，其 SLR 值均與衛星測高資料相近似。這意謂驗潮站長期之潮位紀錄，若原始潮位紀錄之基準偏移較小或具有較相同之潮位基準，則其 SLR 值，必將會與具有絕對潮位基準之衛星測高資料趨近於一致。在這一特殊之評估基礎上，尚值得特別注意的是：環繞在臺灣北側之坎門與那霸驗潮站，其 SLR 值皆小，且均不及 3.0 mm/yr；而位處臺灣西側之廈門驗潮站，其 SLR 值略大，約為 4.7 mm/yr；至於靠近赤道且位處臺灣南側之黎牙實比驗潮站，其 SLR 值可達 8.6 mm/yr，為各驗潮站之最。亦即環繞臺灣之海岸，若依據驗潮站之潮位紀錄計算平均海平面升降年變率(趨勢)，則其將因黎牙實比之 SLR 值大於廈門，且廈門又大於坎門及那霸，因而具有北小_南大；東小_西大之主要趨勢。

針對臺灣環島沿岸基隆、蘇澳、花蓮、高雄、臺中、淡水、竹圍、澎湖、將軍、蟳廣嘴、富岡等共 11 處驗潮站之低頻化逐月平均潮位紀錄，由於各站大多具有數目多寡不一、程度大小各異之潮位基準偏移(參見表 4-1 及表 4-2)，因此，各站皆具有基準校正前、後之低頻化逐月平均潮位紀錄可供相互對照比較，而其各別依據式(4-2)所求算出之平均

海平面升降年變率或 SLR 趨勢，可綜合整理如圖 4-7 所示。相關之 SLR 值及與應用 AVISO 衛星測高資料所分析之結果(郭 等，2015)，則可綜整如表 4-4 所示。

觀察表 4-4 可見，臺灣環島沿岸驗潮站近二十年期間(1990~2013)之潮位紀錄，其在基準偏移改正前、後所計算之 SLR 趨勢，總體而言，普遍皆大於應用衛星測高資料之分析結果。這說明臺灣環島沿岸驗潮站之實測潮位，在相對參考高程基準下，即使經過基準偏移校正，但因其實際上尚含括有資料品質、區域性地層下陷作用與地殼升降變動等複雜因素之影響，致使 SLR 趨勢，仍會因過與不及之基準偏移校正而難以準確掌握。

又以環繞臺灣海岸之坎門、廈門、大浦滯、那霸、黎牙實比等共 5 處驗潮站 SLR 所具有北小_南大、東小_西大之主要趨勢為評比基礎，由表 4-4 中對照比較臺灣環島沿岸各驗潮站應用移動平均所計算基準偏移改正前、後之 SLR 趨勢可見，基隆驗潮站，位處臺灣北部海岸，基準偏移改正後之 SLR 趨勢(4.12 mm/yr)，雖略大於改正前(2.14 mm/yr)，但因北濱坎門、南鄰廈門，故其 SLR 恰落處於坎門 2.62 mm/yr 與廈門 4.71mm/yr 之間，並與衛星測高資料之分析結果(3.16 mm/yr)相近似。這意謂經基準偏移改正後，基隆驗潮站具有較合理之 SLR 趨勢。

淡水驗潮站，位處臺灣西北部海岸，在基準偏移改正前，SLR 原為負值(-3.5 mm/yr)，亦即海平面原陳現下降趨勢，但在基準偏移改正後，SLR 已轉變為正值(9.1 mm/yr)，並與衛星測高資料分析結果所陳示海平面具上升趨勢相符合。只是，經基準偏移改正後之 SLR 值，與毗鄰驗潮站比較，不僅遠大於北側之基隆與南鄰之廈門，其值相較於環繞臺灣海岸最南側驗潮站黎牙實比之 SLR(約達 8.6 mm/yr)，亦略嫌偏大。主要造成原因，配合圖 4-7 及表 4-2 觀察可見，應係原始紀錄多缺漏所導致。

竹圍驗潮站，位處臺灣西北部海岸，在基準偏移改正前，SLR 值即甚大，約達 15 mm/yr，在基準偏移改正後，SLR 更倍增，約達 32

mm/yr，與毗鄰驗潮站對照比較可見，本驗潮站在基準偏移移校正前後，SLR 均不合理。主要造成原因，配合圖 4-7 及表 4-2 觀察，推測應係 2002 至 2007 年之原始紀錄中，初始 SLR 值已大幅偏大，外加未能準確判別潮位偏移發生之步階期間所致。

臺中驗潮站，位處臺灣中西部海岸，在基準偏移改正前，與竹圍驗潮站相似，SLR 值亦偏大，約達 10.7 mm/yr，在基準偏移改正後，SLR 同樣地擴增至約 24.5 mm/yr，明顯高於毗鄰廈門驗潮站之 4.71 mm/yr，以及環繞臺灣海岸最南側黎牙實比驗潮站之 8.6 mm/yr。主要造成原因，由圖 4-7 及表 4-2 綜合觀察可見，除了自 1990 起至 2000 年期間原始紀錄多缺漏外，尚應包括未能準確判別發生潮位偏移之步階期間，以及主要步階期間 SLR 值偏大之影響。

澎湖驗潮站，位處臺灣西南部近海，在基準偏移改正前，SLR 值雖高達約 11.8 mm/yr，但在基準偏移改正後，SLR 即縮減至約 4.63 mm/yr，儘管該值仍略大於衛星測高資料之分析結果(2.45 mm/yr)，但卻與北側毗鄰廈門驗潮站之 4.71 mm/yr 甚相近似。這意謂經基準偏移改正後，澎湖驗潮站具有較合理之 SLR 趨勢。

將軍驗潮站，位處臺灣西南部海岸，在基準偏移改正前，SLR 值約 5.0 mm/yr，於改正基準偏移後，SLR 仍保持在 5.0 mm/yr 上下。這不僅與衛星測高資料之分析結果 4.22 mm/yr 相近似，更概略與西側驗潮站澎湖之 4.63 mm/yr 以及毗鄰驗潮站廈門之 4.71 mm/yr 相符合。鑑此，配合圖 4-7 及表 4-2 觀察可進一步確認，經基準偏移改正後，將軍驗潮站亦具有甚合理之 SLR 趨勢。

高雄驗潮站，位處臺灣西南部海岸，受基準偏移之嚴重影響，在基準偏移改正前，SLR 原陳示極大之負值(-29.6 mm/yr)，亦即海平面陳現大幅下降趨勢，採用式(4-2)進行基準偏移改正後，雖然可改正原始大幅下降之趨勢，但 SLR 依舊保持為負值(-2.2 mm/yr)，這結果不僅與衛星測高資料之分析結果(4.5 mm/yr)大相逕庭，更難與北側毗鄰之將軍與環繞臺灣海岸最南側之黎牙實比驗潮站之 SLR 相匹配。主要造成原

因，配合圖 4-7 及表 4-2 觀察可見，其應係在 2004 年初及 2009 年中，原始低頻化紀錄中具有連續漂移之特殊基準偏移型態所導致。而此課題，未來預期應可透過將該期間紀錄以人為設定為假性缺漏(莊 等，2006)加以改善。

蟬廣嘴驗潮站，位處臺灣西部之南端海岸，在基準偏移改正前，SLR 值約 8.1 mm/yr，與環繞臺灣海岸最南側黎牙實比驗潮站之 8.6 mm/yr 甚相近似，但在基準偏移改正後，SLR 擴增至約 12.2 mm/yr，明顯有高估趨勢。主要造成原因，由圖 4-7 及表 4-2 觀察可見，除了原始紀錄多缺漏外，尚包括潮位偏移發生之步階期間未能準確掌握。

蘇澳驗潮站，位處臺灣東北部海岸，在基準偏移改正前，SLR 值約 5.3 mm/yr，於基準偏移改正後，SLR 略微增高至約 7.5 mm/yr，約達衛星測高資料分析結果(3.2 mm/yr)之兩倍，而與北側毗鄰那霸驗潮站之 2.0 mm/yr，以及居處臺灣最北端海岸基隆驗潮站之 4.1 mm/yr 相對照比較，亦稍具高估趨勢。主要造成原因，由圖 4-7 及表 4-2 觀察可見，應係受原始紀錄多缺漏之共通性影響。儘管如此，值得特別一提的是，依據本站近 20 年之長期潮位紀錄，因基準偏移改正前、後之 SLR，皆顯示海平面具有上升趨勢，故本站所位處之區域海岸，並未能充分陳示，長久以來從地質觀點所推定，臺灣東部海岸所應具有活躍之造山運動或海平面理應具有的下降趨勢。

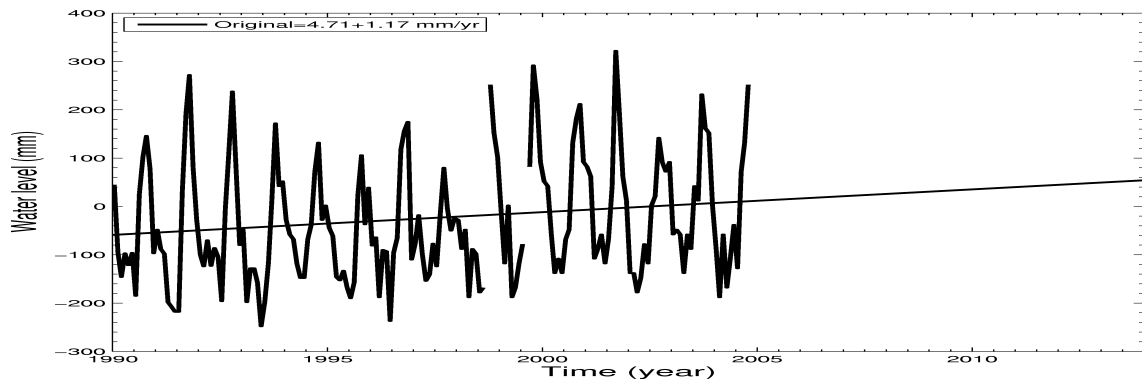
花蓮驗潮站，位處臺灣東部海岸，在基準偏移改正前，SLR 值約 2.1 mm/yr，於基準偏移改正後，SLR 些微調降至約 1.79 mm/yr。與衛星測高資料之分析結果(3.2 mm/yr)相互比較，可見基準偏移改正前後之 SLR 值皆偏低，但與北側毗鄰那霸驗潮站之 2.0 mm/yr 作檢核，其值卻甚相近。鑑此，配合圖 4-7 及表 4-2 觀察可再進一步確認，儘管本站原始紀錄多缺漏，但因能準確判別潮位偏移發生之步階期間，故基準偏移自動校正，仍可準確、有效地達成。此外，因本站基準偏移改正前、後之 SLR，皆顯示海平面具有上升趨勢，故本站所位處之區域海岸，與蘇澳驗潮站相同，均未能充分陳示長久以來從地質觀點所推定臺灣東部海岸所應具有活躍之造山運動或海平面理應具有的下降趨勢。

富岡驗潮站，位處臺灣東南部海岸，在基準偏移改正前，SLR 值約 7.1 mm/yr，於基準偏移改正後，SLR 調降至約 4.7 mm/yr，與衛星測高資料之分析結果(3.3 mm/yr)相互對照比較，可見基準偏移改正前、後，其 SLR 值均偏高，但若以遙相對望、居處臺灣西南部海岸將軍驗潮站之 5.0 mm/yr 作檢核，其值卻甚相近似。鑑此，配合圖 4-7 及表 4-2 觀察最終可認定，由於本站原始紀錄缺漏少，又能準確判別潮位偏移發生之步階期間，故基準偏移自動校正，亦可準確、有效地達成。

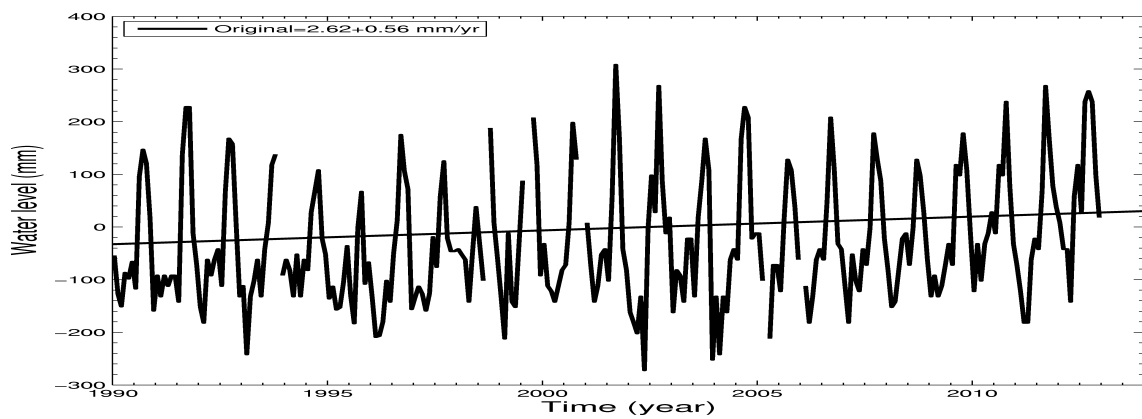
綜合而論，臺灣環島沿岸經檢選共 11 處驗潮站之低頻化逐月平均潮位紀錄，雖然各站普遍皆有數目多寡不一、程度大小各異之潮位基準偏移(參見表 4-1 及表 4-2)問題，但經應用含 N 個步階函數(基準偏移校正量)之二參數擬合算式，式(4-2)，應即可確實且有效地自動完成各驗潮站之基準偏移校正。至於在進行基準偏移校正過程所同時求算之 SLR 趨勢，經與環繞臺灣海岸之毗鄰驗潮站及與衛星測高資料分析結果相互比較及驗證後，配合圖 4-7 及表 4-2 觀察可確認，只要各驗潮站之原始潮位紀錄少缺漏，發生潮位偏移之步階期間能準確掌握，而且主要步階期間之 SLR 值大小，介於臺灣東北側那霸驗潮站之 2.0 mm/yr 與臺灣南側黎牙實比驗潮站之 8.6 mm/yr 間，則該驗潮站平均海平面升降年變率(SLR 趨勢)，將具有準確性，並可供相關應用參考。

表 4-4 臺灣鄰近海岸及環島沿岸應用檢選驗潮站近 20 年期潮位基準校正前、後之逐月平均潮位時序估算平均海平面升降年變率或 SLR 趨勢並與應用 AVISO 衛星測高資料計算結果之對照比較

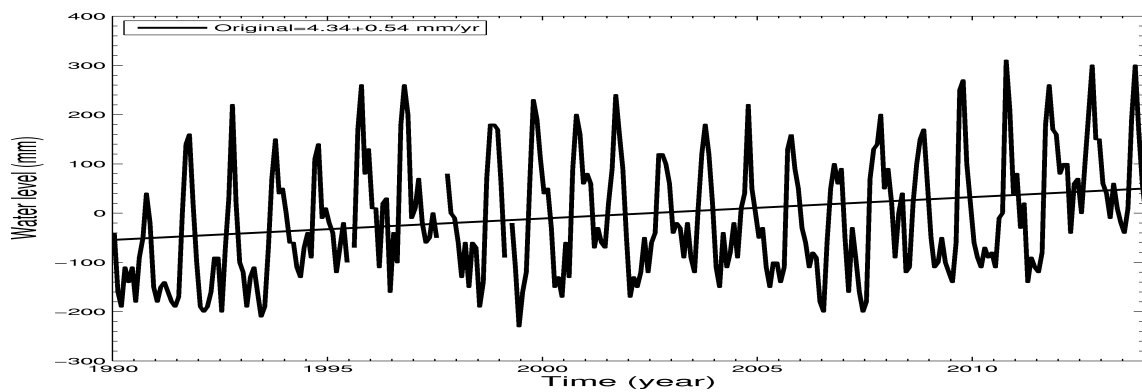
驗潮站名	等權平均		移動平均		臺灣鄰海及環島沿岸 AVISO 地理半徑 2° 或 5° 衛星測高之 SLR (mm/yr)
	基準偏移校正前之 SLR (mm/yr)	基準偏移校正後之 SLR (mm/yr)	基準偏移校正前之 SLR (mm/yr)	基準偏移校正後之 SLR (mm/yr)	
坎門	2.62±0.56	x	x	x	2.94±0.43
廈門	4.71±1.17	x	x	x	3.62±1.57
大浦滯	4.34±0.54	x	x	x	2.34±0.53
那霸	2.02±0.46	x	x	x	2.44±0.68
黎牙實比	8.65±0.52	x	x	x	7.71±0.70
基隆	2.10±0.46	4.19±0.35	2.14±0.43	4.12±0.32	3.16±0.36
蘇澳	5.46±0.95	7.71±0.45	5.35±0.92	7.54±0.42	3.20±0.37
花蓮	2.22±0.63	1.75±0.63	2.15±0.60	1.79±0.60	3.20±0.39
高雄	-29.63±1.50	-1.89±0.41	-29.67±1.49	-2.20±0.39	4.49±0.36
臺中	9.99±0.74	22.14±0.59	10.75±0.72	24.53±0.55	3.45±0.43
淡水	-1.01±1.61	12.97±0.82	-3.50±1.92	9.10±0.77	3.20±0.36
竹圍	14.57±1.36	31.98±0.73	15.10±1.36	32.07±0.69	3.23±0.36
澎湖	11.81±0.63	4.94±0.47	11.83±0.61	4.63±0.44	2.45±0.52
將軍	5.10±0.44	5.37±0.44	5.00±0.42	5.08±0.42	4.22±0.37
罈廣嘴	7.93±0.57	12.25±0.45	8.06±0.55	12.21±0.43	4.59±0.35
富岡	7.11±0.41	4.58±0.32	7.10±0.40	4.68±0.29	3.27±0.44



廈門驗潮站之平均海平面升降年變率

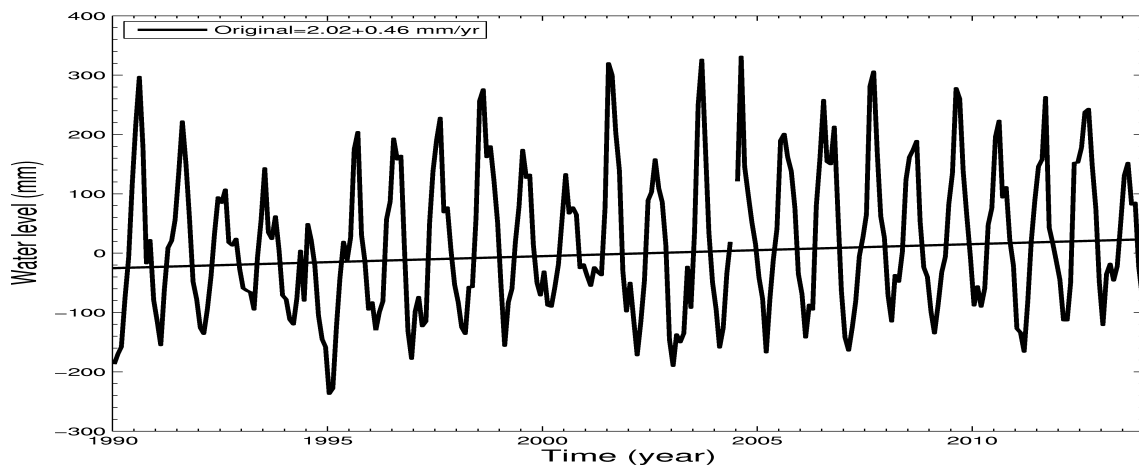


坎門驗潮站之平均海平面升降年變率

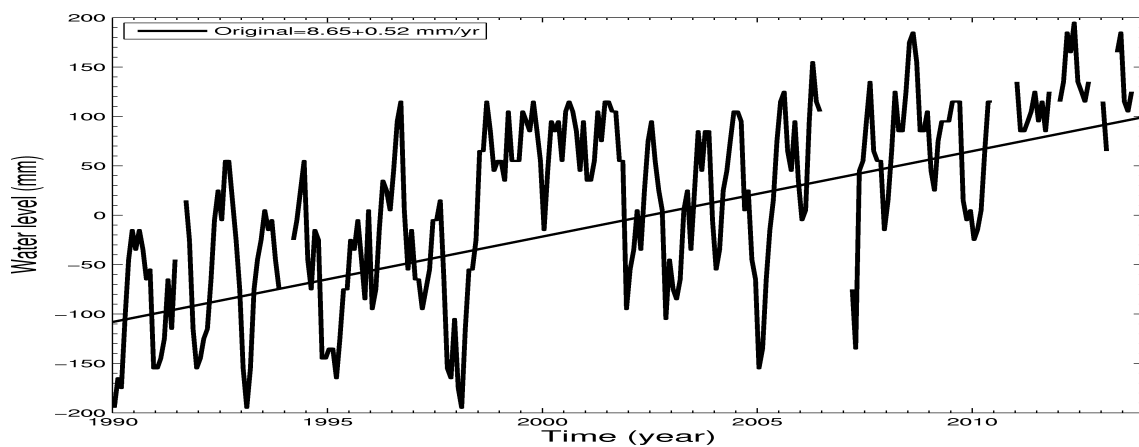


大浦滯驗潮站之平均海平面升降年變率

圖 4-6 鄰近臺灣海岸廈門、坎門、大浦滯驗潮站應用近 20 年期潮位基準校正前、後之逐月平均潮位時序所估算之平均海平面升降年變率或 SLR 趨勢

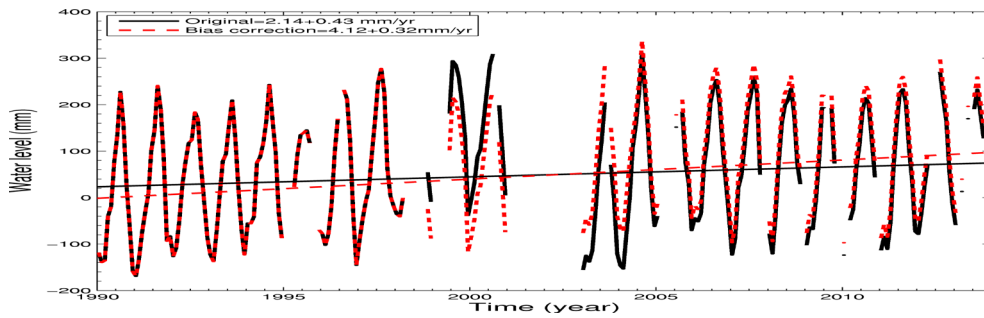


那霸驗潮站之平均海平面升降年變率

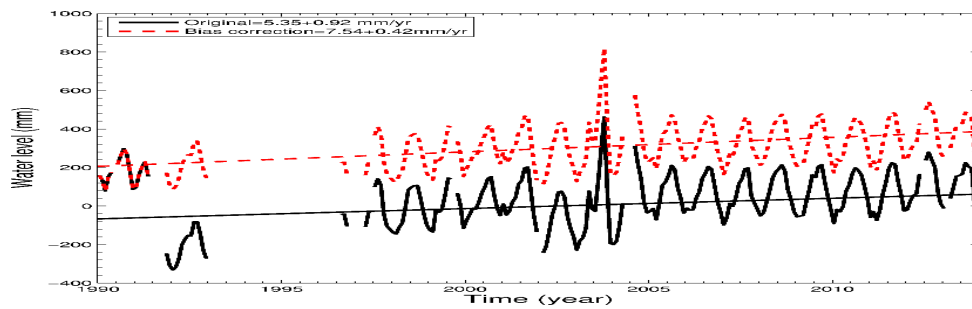


黎牙實比驗潮站之平均海平面升降年變率

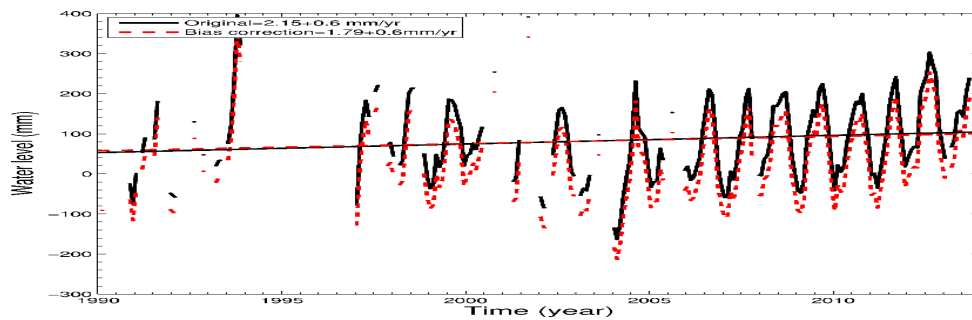
圖 4-6(續) 鄰近臺灣海岸那霸、黎牙實比驗潮站應用近 20 年期潮位基準校正前、後之逐月平均潮位時序所估算之平均海平面升降年變率或 SLR 趨勢



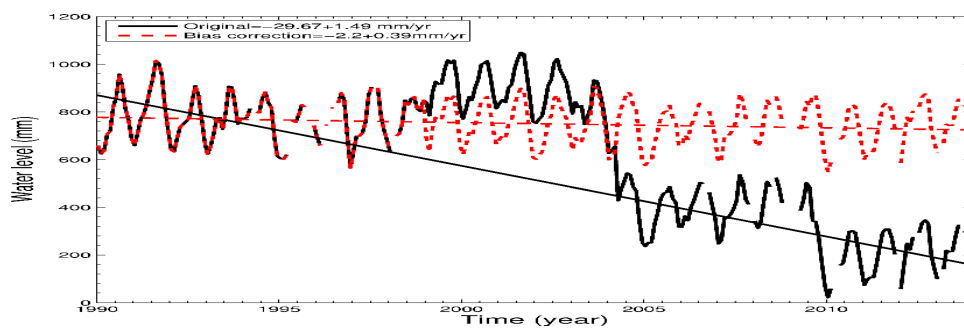
基隆驗潮站之偏移量改正



蘇澳驗潮站之偏移量改正

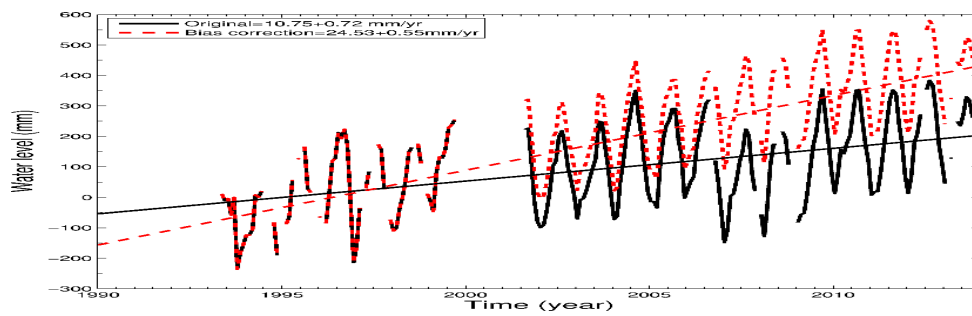


花蓮驗潮站之偏移量改正

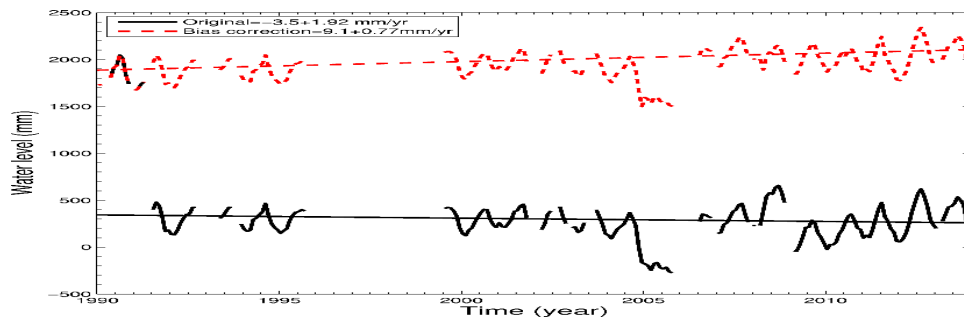


高雄驗潮站之偏移量改正

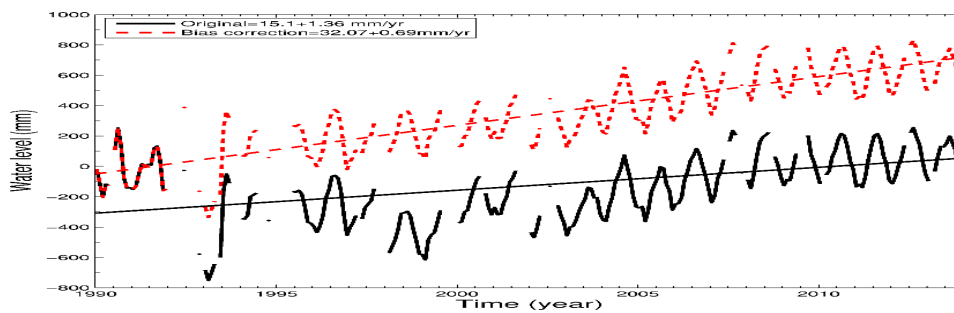
圖 4-7 臺灣環島沿岸基隆、蘇澳、花蓮、高雄驗潮站應用近 20 年期潮位基準校正前、後之逐月平均潮位時序所估算之平均海平面升降年變率或 SLR 趨勢



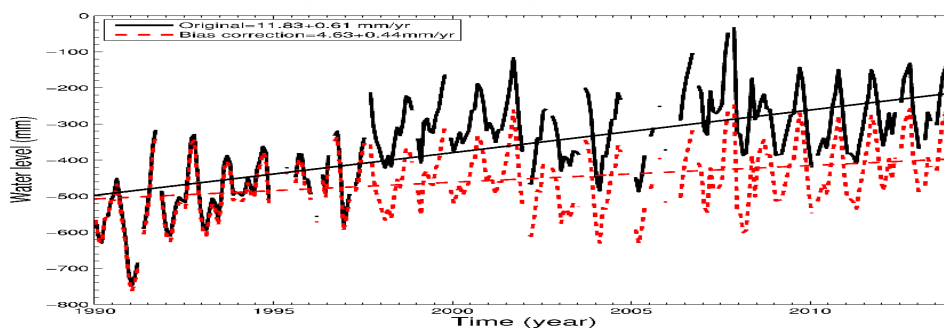
臺中驗潮站之偏移量改正



淡水驗潮站之偏移量改正

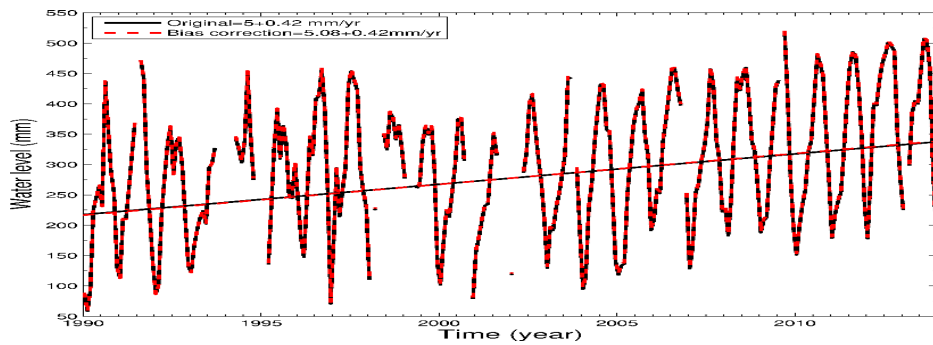


竹圍驗潮站之偏移量改正

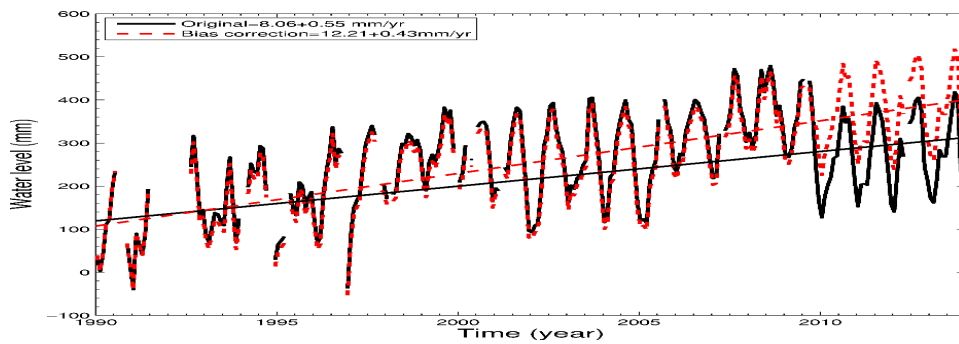


澎湖驗潮站之偏移量改正

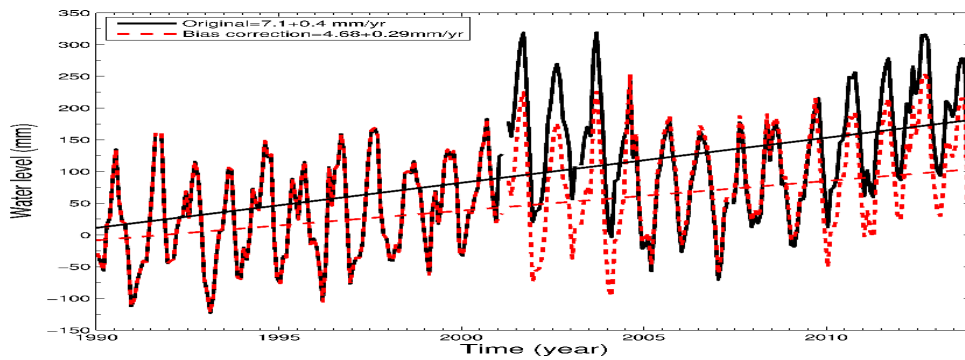
圖 4-7(續) 臺灣環島沿岸臺中、淡水、竹圍、澎湖驗潮站應用近 20 年期潮位基準校正前、後之逐月平均潮位時序所估算之平均海平面升降年變率或 SLR 趨勢



將軍驗潮站之偏移量改正



蟬廣嘴驗潮站之偏移量改正



富岡驗潮站之偏移量改正

圖 4-7(續) 臺灣環島沿岸將軍、蟬廣嘴、富岡驗潮站應用近 20 年期潮位基準校正前、後之逐月平均潮位時序所估算之平均海平面升降年變率或 SLR 趨勢

第五章 結論與建議

近數十年來，因全球暖化、氣候變遷所導致之全球海水面上升 (SLR)，遠比過去更為快速，其所導致之災害及其對人類生命和財產所造成的損失，普遍引起全球產官學研各界之關注。惟因海洋地理位置與地殼升降變動之差異，臺灣四周海域之海水面變化速率，實際應與全球平均海面上升速率具有差異，因此，將臺灣附近海水面變化速率視為與全球平均海水面變化速率一樣並不合理。所以針對地理、地質與資料紀錄特性，掌握臺灣周圍海域海水面變化速率並瞭解造成海水面上升的主要原因，實為一順應全球暖化效應之重要課題。

本研究主要研究目的，在針對臺灣環島海域，掌握全球暖化、氣候變遷所衍生海水面上升之變動速率與趨勢，敦促政府預為規劃因應臨海鄉鎮市之汛期排水障礙及洪水溢淹、海岸或海灘受漸強之暴風浪沖蝕侵襲、海水入侵陸地造成地下水鹽化、既有濕地及沼澤區覆淹、海岸景觀及生態棲地環境破壞等海岸災害，提昇國土安全，促成社會穩定，減少災害之經濟損失，保育自然環境，增進國民福祉。研究課題之規劃與執行，與海岸環境、景觀、生態之保護、海岸災害防治、及海岸之永續經理利用息息相關，其不僅具有本土化特色，更與國家長期性、全面性、總體性的海岸保育策略關聯密切。另外，配合政府規劃海洋領域之科研重點，本研究尚有效運用國內外之科技資源；加強科技人才之培育；因應知識經濟時代，推動海岸新生策略；積極掌握本土區域性的防災課題；強化防災科技研發；落實防救災科研成果之應用；達成水海環境資源之保育；建立完善的水海資源基本資訊或資源資料庫；整合跨領域之科研能量；豐富數位台灣之海洋 e 化內涵；因應全球變遷之趨勢與衝擊；促成海洋國家之永續發展。

一般而言，研究海水面變化之兩種主要觀測量為驗潮站與衛星測高資料。其中，驗潮站之資料，因紀錄期間較長久，蒐集整理相對較容易，且可直接反應平均海平面上升之年變動率之變動，故常應用於 SLR 之分析。惟驗潮站之潮位觀測基準係相對參考陸岸固定之水準點

高程，故若陸岸之水準點高程因劇烈的地殼升降作用(如地震)而移位或因觀測儀器必要的定期維護或更新而變動，皆會促使長期性之實測潮位紀錄，存在數目不定且偏移程度大小不一之基準偏移現象。另外，驗潮站之潮位觀測，持續一段期間後，也常會因儀器檢校、設備維修、儀器更新、或設置地點變更等情形，造成觀測紀錄中斷。因此，應用驗潮站之長期潮位紀錄進行 SLR 分析前，均需對紀錄斷續缺漏及觀測基準偏移作必要之處理或校正。

為進行臺灣環島驗潮站潮位基準偏移之自動化偵測與校正研究，本研究結合國、內外之驗潮站潮位資料庫，並以 1990~2013 年之近 20 年作為研究期間，分別自英國 PSMSL 資料庫中，檢選環繞臺灣海岸之坎門、廈門、大浦滘、那霸、黎牙實比等共 5 處驗潮站，又自國內 CWB 資料庫中，檢選臺灣環島沿岸之基隆、蘇澳、花蓮、高雄、臺中、淡水、竹圍、澎湖、將軍、蟬廣嘴、富岡等共 11 處驗潮站之逐月與逐時平均潮位紀錄，首先，應用驗潮站號變更與斷續缺漏期間長短等判別準則，進行潮位基準偏移樣態之初步檢測；其次，應用六參數擬合法，並以間接平差計算方式，移除含年與半年週期之季節性潮位訊息；接著，應用小波理論進行逐月潮位紀錄之分頻分解與低頻化；而後，研定基準偏移辨識準則，據以自動判別及確認發生潮位基準偏移之紀錄期間與個數；最後，再應用含步階函數之二參數擬合法，結合間接平差計算，完成潮位基準偏移之自動校正與平均海平面升降年變率或 SLR 趨勢之估算，同時，藉與毗鄰驗潮站或衛星測高資料 SLR 分析結果之對照比較，以評估潮位基準偏移自動校正之效能與準確性。

5.1 結論

依據環繞臺灣海岸之坎門、廈門、大浦滘、那霸、黎牙實比等共 5 處驗潮站，以及臺灣環島沿岸之基隆、蘇澳、花蓮、高雄、臺中、淡水、竹圍、澎湖、將軍、蟬廣嘴、富岡等共 11 處驗潮站之逐月與逐時平均潮位紀錄，進行並完成「臺灣環島驗潮站潮位基準偏移之自動化偵測與校

正研究」後，所得主要之結論，綜述如后：

- (1) 臺灣環島沿岸經檢選共 11 處驗潮站近二十年(1990-2013)之逐時平均潮位紀錄，因不定期觀測儀器之更新與維護，大多存在數個長短不等之缺漏期間，也存在有數目多寡不一、程度大小各異之潮位基準偏移。
- (2) 針對具有缺漏及基準偏移之長期逐時潮位紀錄，取 720 小時窗寬，直接進行中央移動平均之資料處理，其效果可等同進行海潮改正與逆氣壓改正後所得之逐月平均潮位紀錄。
- (3) 對於臺灣環島沿岸驗潮站之長期逐月潮位紀錄，經移除季節性潮位訊息後，應用哈爾小波(Haar wavelet)可再作高、低頻訊號之分頻分解，而對其約第三層次分頻之低頻或類趨勢訊號，逐時序計算相鄰訊號之差值，即可藉訊號突衝(spike)而進行基準偏移檢測。
- (4) 參酌先期相關之研究成果(郭 等，2015)，本研究選用 50 mm 之訊號突衝值，做為自動篩檢可能發生基準偏移時序之門檻值。然後，在可能發生基準偏移之時序前後，各以 2 年期距，再計算其平均值，若該差值大小超過 130 mm，即判定該時序上，確定有基準偏移產生。
- (5) 在 PSMSL 資料庫中，環繞臺灣海岸之坎門、廈門、大浦滯、那霸、黎牙實比等共 5 處驗潮站，僅管各站皆存在多個可能發生基準偏移時序，但卻均可通過潮位偏移之確認基準，故皆不需再作後續之偏移校正。
- (6) 在 CWB 資料庫中，臺灣環島沿岸之基隆、蘇澳、花蓮、高雄、臺中、淡水、竹圍、澎湖、將軍、蟳廣嘴、富岡等共 11 處驗潮站，各站近二十年(1990-2013)之逐月平均潮位紀錄，皆存在多個可能發生基準偏移時序，且至少均有一無法通過潮位偏移確認基準之時序，故皆需再作後續之偏移校正。

- (7) 對於環繞臺灣海岸及臺灣環島沿岸經檢選共 16 處驗潮站近二十年之逐月平均潮位紀錄，於確定基準偏移總數後，本研究應用含步階函數之二參數擬合法，結合間接平差計算，即可完成潮位基準偏移之自動校正，同時，估算各站位之平均海平面升降年變率(mm/yr)或 SLR 趨勢。
- (8) 環繞臺灣海岸經檢選共 5 處之驗潮站，各站之平均海平面升降年變率(mm/yr)，分別為坎門 2.62 ± 0.56 ；廈門 4.71 ± 1.17 ；大浦滘 4.34 ± 0.54 ；那霸 2.02 ± 0.46 ；黎牙實比 8.65 ± 0.52 。亦即就相對臺灣之地理位置而論，總體上，SLR 具有北小_南大；東小_西大之主要趨勢。又因各站皆不需作基準偏移校正，故其平均海平面升降年變率或 SLR 趨勢，可進一步應用以評估臺灣環島沿岸各驗潮站在進行潮位基準偏移自動校正前後之效能與準確性。
- (9) 臺灣環島沿岸經檢選共 11 處之驗潮站，經潮位基準偏移校正後，各站之平均海平面升降年變率(mm/yr)，分別為基隆 4.12 ± 0.32 ；淡水 9.10 ± 0.77 ；竹圍 32.07 ± 0.69 ；臺中 24.53 ± 0.55 ；澎湖 4.63 ± 0.44 ；將軍 5.08 ± 0.42 ；高雄 -2.20 ± 0.39 ；蟬廣嘴 12.21 ± 0.43 ；蘇澳 7.54 ± 0.42 ；花蓮 1.79 ± 0.60 ；富岡 4.68 ± 0.29 。
- (10) 臺灣環島沿岸共 11 處驗潮站，經潮位基準偏移校正後，各站之平均海平面升降年變率，與位處臺灣東北側那霸驗潮站最小之 2.0 mm/yr 及臺灣南側黎牙實比驗潮站最大之 8.6 mm/yr 相對照比較可見，僅有基隆、澎湖、將軍、花蓮、富岡等共 5 處驗潮站之 SLR 趨勢，具有合理性，並且保持有北小_南大；東小_西大之主要趨勢特性。其他淡水、竹圍、臺中、高雄、蟬廣嘴、蘇澳等 6 處驗潮站之基準偏移校正效能，由於 SLR 不介在 2.02 mm/yr 與 8.65 mm/yr 間，故準確性欠佳，總體校正效能尚待推展後續研究進行改善。主要原因，經檢討，除了各驗潮站之原始潮位紀錄多缺漏影響外，亦應與發生潮位偏移之步階期間未能準確辨識及掌握有關。

5.2 建議

- (1) 驗潮站之潮位基準偏移，對於潮位資料之統合與進行 SLR 或一般之分析應用，均有極顯著影響。因此，對於數目不定且偏移程度大小不一之基準偏移，相關自動偵測與準確判別之技術，均應強化研究。
- (2) 基於含步階區間之二參數擬合算式之特性，依全時序所估算之平均海平面升降年變率，將與第一步階區間前或起始期間之 SLR 趨勢，密切關聯。但實際上，全時序之 SLR 趨勢，應與步階期間最長之主要步階區間，協調一致較合理。另外，當發生基準偏移區間之步階值與直接平均計算之平均值相近似或其相對差值大小均低於 50 mm 時，會衍生基準偏移之過度校正現象，進而導致 SLR 年變率偏低之分析結果。因此，如何提昇校正之合理性與準確度？如何進行基準偏移校正之自動化？均值得推展後續研究以深入探討。

5.3 研究成果之效益

- (1) 學術成就(科技基礎研究)方面：發表國內研討會論文 4 篇、出版研究報告 2 冊。
- (2) 技術創新(科技整合創新)方面：引進及應用國際培訓資源，建置專業整合環境，強化國際互動機制，從海洋到海岸，整合衛星測高、地科及大氣之科研成果，提昇海洋科技－藍色科技之科研能力，落實跨領域之合作研究，堅實科技人力資源，統合 PSMSL 與 CWB 之臺灣環島近岸驗潮站資料庫及 ECMWF、NCEP 及中央氣象局之大氣壓力等海洋物理資料庫，針對長期之潮位紀錄，探討潮位基準偏移課題，研提自動校正之有效方法，準確可靠地將臺灣環島海域長期性的潮位紀錄，應用於平均海平面升降變動率之分析。

- (3) 在經濟效益(經濟產業促進)方面：提供政府及業界掌握臺灣近岸海域近二十年期詳實的平均海平面升降變動率特性，可促進都市防洪、排水之規劃、設計及維護工程提昇效能，有效因應全球暖化所造成的氣候變遷課題，強化防災、減災與救災資訊，敦節實施全面監測之人力及物力之投注成本。
- (4) 在社會影響(社會福祉提升、環保安全)方面：透過詳實的平均海平面升降變動率特性，反饋及確認全球暖化、氣候變遷對達成海岸保育與永續利用目標之影響。
- (5) 在其它效益(政策管理及其它)方面：具體配合政府推展「海洋國家」之策略目標，落實海洋經理政策，補充既有海象監測及防災資料庫之完整，強化因應全球暖化、氣候變遷課題之決策資訊，厚植近岸防災預警與風險管理機制之關鍵技術，提升近岸海域災害應變與預警能力，精進災害風險評估系統，強化救災及預警科技之評估效能及應用。

5.4 可供本所或其他政府機關後續應用情形

本研究結合國際海洋科學資源，擴展海岸科技學能，強化跨領域之研究，堅實科技人力資源，就臺灣環島共 11 處驗潮站之潮位基準偏移課題，建立系統化之自動校正架構，進而詳實評估臺灣環島各驗潮站區位之平均海平面年變動率資訊。相關成果可提供交通部、環資部、內政部、本所、各港務分公司、經濟部水利署、各工程顧問公司等相關產、官、學、研單位從事海岸開發、港灣規劃、設計、擴建及維護的應用參考。推動並落實總體性之海岸保育與防災策略。

誌謝

承蒙國立成功大學測量及空間資訊學系郭重言教授協助推展本研究並提供內文編撰整理之諮詢、研究生藍文浩博士候選人協助本文資料之處理與圖表之繪製，促使本研究得以完成；期末報告審查委員：梁乃匡教授、郭一羽教授、李兆芳教授、楊瑞源副所長對內文論述之補充提示與修訂指教，促使本研究能更臻完善，謹此致謝。

參考文獻

1. Chang, T.Y., B.F. Chao, C.C. Chiang, and C. Hwang (2012) "Vertical crustal motion of active plate convergence in Taiwan derived from tide gauge, altimetry, and GPS data," *Tectonophysics*, 578, pp.98-106.
2. Chelton, D.B., and D.B. Enfield (1986), "Ocean signals in tide gauge records," *Journal of Geophysical Research*, 91, pp.9081-9086.
3. Chen, K.H., M. Yang, Y.T. Huang, K.E. Ching, and R.J. Rau (2011) "Vertical displacement rate field of Taiwan from geodetic levelling data 2000–2008," *Survey Review* 43, pp.296-302, doi: 10.1179/003962611X13055561708380.
4. Ching, K.E., M.L. Hsieh, K.M. Johnson, K.H. Chen, R.J. Rau, and M. Ying (2011) "Modern vertical deformation rates and mountain building in Taiwan from precise leveling and continuous GPS observations, 2000–2008," *Journal of Geophysical Research*, 116, B08406, doi: 10.1029/2011JB008242.
5. Church, J.A., N.J. White, R. Coleman, K. Lambeck, and J.X. Mitrovica (2004) "Estimates of regional distribution of sea level rise over the 1950-2000 period," *Journal of Climate*, 17, pp.2609-2625.
6. Church, J., and N.J. White (2011) "Sea-level rise from the late 19th to the Early 21st Century," *Surv. Geophys.*, doi: 10.1007/s10712-011-9119-1.
7. Cicerone, R.J., and P. Nurse (2014) "Climate Change _ Evidence & Causes" *An overview from The Royal Society and the US National Academy of Sciences*, 36pp.
8. Douglas, B.C. (2001) "Sea level change in the era of the recording tide gauge," In "Sea Level Rise _ History and Consequences," Chapter 3 (eds. B. C. Douglas, M. S. Kearney, and S. P. Leatherman), Academic Press.
9. Ericson, J.P., C.J. Vorosmarty, S.L. Dingman, L.G. Ward, and M. Meybeck (2006) "Effective sea level rise and deltas: causes of change and human dimension implications," *Global and Planetary Change*, 50, pp.63-82.
10. Horton, R., C. Herweijer, C. Rosenzweig, J. Liu, V. Gormitz, and A. C. Ruane (2008) "Sea level rise projections for current generation CGCMs based on the semi-empirical method," *Geophysical Research Letters*, 35, L02725, doi:10.1029/2007GL032468.
11. IPCC (2013) "Final draft of WGI AR5" and "Summary for Policymakers of WGI AR5" *Intergovernmental Panel on Climate Change*, <http://tccip.ncdr.nat.gov.tw/AR5/>.
12. Kuo, C.Y., C.K. Shum, A. Braun, and J.X. Mitrovica (2004) "Vertical crustal motion determined by satellite altimetry and tide gauge data in Fennoscandia," *Geophys. Res. Lett.*, 31, 1, pp.4-7, doi:10.1029/2003GL0191064.
13. Kuo, C.Y., C.K. Shum, A. Braun, K.C. Cheng, and Y. Yi (2008) "Vertical Motion determined using Satellite Altimetry and tide Gauges," *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 19, 1-2, pp.21-35, doi:10.3319/TAO.2008.19.1-2.21(SA)1.21.
14. Leatherman, P.S., K. Zhanng, and B.C. Douglas (2000) "Sea level rise drives coastal erosion," *EOS Transactions*, 81, pp.55-57.

15. Llovel, W., S. Guinehut, and A. Cazenave (2010) "Regional and interannual variability in sea level over 2002-2009 based on satellite altimetry, Argo float data and GRACE ocean mass," *Ocean Dynamics*, 60, pp.1193-1204, doi: 10.1007/s10236-010-0324-0.
16. Merrifield, M. A. (2011) "A Shift in Western Tropical Pacific Sea Level Trends during the 1990s," *Journal of Climate*, 24(15), 4126-4138, doi: 10.1175/2011jcli3932.1.
17. Mitrovica, J.X., M.E. Tsimplis, J.L. Davis, and G.A. Milne (2001) "Recent mass balance of polar ice sheets inferred from patterns of global sea-level change," *Nature*, 409, pp.1026-1029.
18. Rahmstorf, S. (2007) "A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise," *Science*, 315(5810), pp.368-370.
19. Schwartz, M.L. (2005) "Encyclopedia of Coastal Science," Dordrecht, The Netherlands: Springer, pp.1-1086.
20. Shum, C.K., and C.Y. Kuo (2011) "Observation and geophysical causes of present-day sea level rise, In "Climate Change and Food Security in South Asia," Part 2, Chapter 7 (eds R. Lal, M. Sivakumar, S. Faiz, A. Rahman, and K. Islam), pp.85-104, doi: 10.1007/978-90-481-9516-9_7.
21. Tseng, Y.H., C.L. Breaker, and T.Y. Chang (2010) "Sea level variations in the regional seas around Taiwan," *Journal of Oceanography*, 66, pp.27-39.
22. Webster, P.J., G.J. Holland, and J.A. Curry (2005) "Changes in tropical cyclone number, duration, and intensity in a warming environment," *Science*, 16, 309, pp.844-846.
23. Wilson, A.B., D.H. Bromwich, and K.M. Hines (2011) "Evaluation of Polar WRF forecasts on the Arctic System Reanalysis domain: Surface and upper air analysis," *Journal of Geophysical Research*, 116, D11112, doi: 10.1029/2010JD015013.
24. Wu, L.C., C.C. Kao, T.W. Hsu, Y.F. Wang, and J.H. Wang (2012) "Spatial and Temporal Features of Regional Variations in Mean Sea Level around Taiwan," *Open Journal of Marine Science*, 2, pp.58-65. doi: 10.4236/ojms.2012.22008.
25. Wunsch, C. (1972) "Bermuda sea level in relation to tides, weather and baroclinic fluctuations," *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 10, pp.1-49.
26. Wunsch, C., and D. Stammer (1997) "Atmospheric loading and the oceanic "inverted barometer" effect," *Reviews of Geophysics*, 35, pp.79-107.
27. Yanagi, T., and T. Akaki (1994) "Sea Level Variation in the Eastern Asia," *Journal of Oceanography*, 50, pp.643-651.
28. Zhan, J.G., Y. Wang, and Y.S. Cheng (2009) "The analysis of China sea level change," *Chinese Journal of Geophysics*, 52(7), pp.1725-1733. (in Chinese).
29. Zhang, X., and J.A. Church (2012) "Sea level trends, interannual and decadal variability in the Pacific Ocean," *Geophysical Research Letters*, 39, doi: 10.1029/2012gl053240.
30. 劉啟清 (1987), 「平均海水面與地殼垂直變動」, 第六屆測量學術及應用研討會論文集, 第 135-142 頁。
31. 郭金棟、蔡丁貴、簡仲和、陳文俊 (1997), 「氣候變遷對台灣海平面上升及海岸地形之影響」, 環保署計畫報告, EPA-86-FA41-09-79。

32. 郭金棟、陳文俊 (1999), 「台灣西部海平面變動分析」, 第 21 屆海洋工程研討會論文集, 第 403-410 頁。
33. 陳昭銘、汪鳳如 (2000), 「台灣地區長期暖化現象與太平洋海溫變化之關係」, 大氣科學, 28(3), 第 221-241 頁。
34. 董曉軍、馬繼瑞、黃城、范振華、韓桂軍、許崇金 (2002), 「利用 TOPEX/Poseidon 衛星高度計資料提取黃海東海潮汐資訊的研究」, 海洋與湖沼, 第 33 卷, 第 4 期。
35. 吳中鼎、李占橋、趙明才 (2003), 「中國近海近 50 年海平面變化速度及預測」, 海洋測繪, 第 23 卷, 第 2 期, 第 17-19 頁。
36. 武漢大學 (2005), 「誤差理論與測量平差基礎」, 武漢大學測繪學院測量平差學科組, 武漢大學出版社, 中國大陸。
37. 范光龍 (2005), 「台灣沿海水位波動現象之研究」, 國科會研究計畫報告。
38. 葉妍伶 (2005), 「衛星遙測海面高度異常值探討-台灣東側海域個案研究」, 國立台灣大學碩士論文。
39. 莊文傑、曾相茂、江中權 (2006), 「潮汐資料之補遺及其在暴潮位萃取之應用」, 第 28 屆海洋工程研討會論文集, 國立中山大學, 台灣海洋工程學會, 第 277-282 頁。
40. 莊文傑、林立青、張永欣 (2007), 「氣象潮位的萃取及其在暴潮預報的應用」, 第 29 屆海洋工程研討會論文集, 國立成功大學, 台灣海洋工程學會, 第 207-212 頁。
41. 馬金、周永宏、廖德春、廖新浩 (2007), 「1992-2007 全球海平面變化」, 中國科學院上海天文台年刊, 第 28 期, 第 37-41 頁。
42. 曾于恆 (2008), 「台灣周圍海域海平面變化」, 台灣大學大氣科學系研究報告。
43. 陳雲蘭 (2008), 「百年來臺灣氣候的變化」, 科學發展, 第 424 期, 第 6-11 頁。
44. 董東璟、楊益昇、曾國禎 (2008), 「基隆和高雄長期海水位變動分析」, 第 30 屆海洋工程研討會論文集, 新竹, 第 625-630 頁。
45. 白巨川 (2009), 「測量平差概論」, 國立成功大學測量及空間資訊學系, http://www.geomatics.ncku.edu.tw/download/sv_001.doc。
46. 姜介中 (2009), 「利用驗潮記錄估計臺灣沿岸地表垂直運動」, 國立臺灣大學海洋研究所碩士論文, 台北。
47. 黃清哲、許泰文、吳立中 (2009), 「運用潮位與衛星資料推估海平面變遷量技術之研發(1/2)」, MOEAWRA0980270, 經濟部水利署, 共 233 頁。
48. 中國國家海洋局 (2010), 「2009 年中國海平面公報」。

49. 內政部 (2010), 「98 年度高程基準檢測工作報告書」, 內政部國土測繪中心, 共 107 頁。
50. 吳宜昭、陳永明、朱容練 (2010), 「台灣氣候變遷趨勢」, 國研科技, 國家實驗研究院, 第 25 期, 第 40~46 頁。
51. 黃清哲、許泰文、吳立中 (2010), 「運用潮位與衛星資料推估海平面變遷量技術之研發(2/2)」, MOEAWRA0990248, 經濟部水利署, 共 302 頁。
52. 林立青、張憲國、梁茂昌、黃鶚 (2011), 「海水位之非線性趨勢與年際震盪」, 第 33 屆海洋工程研討會論文集, 國立高雄海洋科技大學, 第 571-576 頁。
53. 行政院環境保護署 (2011), 「中華民國第二版國家通訊」, http://ivy5.epa.gov.tw/enews/fact_Newsdetail.asp?InputTime=0990605113122, 共 114 頁。
54. 許晃雄、吳宜昭、周佳、陳正達、陳永明、盧孟明 (2011), 「台灣氣候變遷科學報告」, 台灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫報告, 國家災害防救科技中心。
55. 陳宥珊 (2011), 「臺灣西岸長期水位變化之研究」, 國立中山大學海洋環境及工程學系碩士論文, 共 140 頁。
56. 張憲國、莊文傑、曾相茂 (2013), 「臺灣商港的主要天文潮汐與潮流的特性比較」, 海洋工程學刊, 第十三卷, 第四期, 第 393-410 頁。
57. 郭重言、林立青、藍文浩、莊文傑、李俊穎 (2014), 「臺灣四周海域近十年之海水面變化速率研究」, MOTC-IOT-102-H3DB004a 合作研究報告, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 共 283 頁。
58. 莊文傑、李俊穎、藍文浩 (2014), 「全球暖化引致臺灣海域海面水位昇降變動率之評估研究(1/4)—臺灣近岸潮位紀錄應用於平均海水位變動率之分析」, MOTC-IOT-102-H3DA004b 合作研究報告, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 共 105 頁。
59. 陳進益、高嘉婉、曾于恆、楊智傑、余文彥 (2014), 「海平面均一化校正工作」, 臺灣氣候變遷推估與資訊平台計畫之期末報告。
60. 藍文浩、郭重言、林立青、莊文傑、李俊穎 (2014), 「台灣周遭海域潮位資料校正與分析」, 第 36 屆海洋工程研討會論文集, 新竹, 第 483-488 頁。
61. 郭重言、林立青、藍文浩、莊文傑、李俊穎 (2015), 「臺灣四周海域長期性之海水面變化趨勢評估」, MOTC-IOT-103-H3DB003a 合作研究報告, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 共 165 頁。
62. 莊文傑、李俊穎 (2015), 「全球暖化引致臺灣海域海面水位昇降變動率之評估研究(2/4)—臺灣近岸驗潮站潮位基準偏移量校正方法之研究」, MOTC-IOT-103-H3DA004b 合作研究報告, 交通部運輸研究所港灣技術研究中心, 共 104 頁。

63. 郭重言、林立青、藍文浩、莊文傑、李俊穎 (2016)，「臺灣海域未來平均海平面升降變動率之推估」，*MOTC-IOT-104-H3DB003a* 合作研究報告，交通部運輸研究所港灣技術研究中心，共 185 頁。
64. 藍文浩、郭重言、林立青、莊文傑、李俊穎 (2016)，「探討不同時間尺度之年代際震盪對臺灣四周海水面變化速率之影響」，第 37 屆海洋工程研討會論文集，臺中，第 451-456 頁。
65. 台灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫，<http://tccip.ncdr.nat.gov.tw/NCDR/main/index.aspx>，國家災害防救科技中心，中華民國。

附錄 1 間接平差理論

附錄 1 間接平差理論

附 1-1 理論介紹

以被觀測量與未知數間之函數關係來確定未知參數的觀測方式稱之為間接觀測；而每個觀測值，可表達成未知參數的函數，組成觀測方程式，此種以觀測方程式為函數模型的平差方法，稱之為間接平差(武漢大學，2005)。間接平差的函數模型為

$$L + V = AX, \quad V \sim N(0, \sigma_0^2 P^{-1}) \dots\dots\dots (附 1-1)$$

其中， L 為 $n \times 1$ 的觀測量矩陣； V 為 $n \times 1$ 的改正數矩陣； A 為 $n \times u$ 的設計矩陣； X 為未知參數； N 表示標準常態分佈函數； σ_0 為先驗單位權重誤差； P 為觀測值之權矩陣，若將觀測值設定為等權重，則 P 為單位矩陣； n 與 u 分別為觀測數與未知參數之個數。

平差計算時，對於非線性的函數模型需進行線性化，然而，在本研究使用的間接平差函數模型皆為線性，因此，不需作非線性函數模型線性化之處理。

在式(附 1-1)中，當 $n = u$ 時，可求得唯一解，而改正數為零。但在測量作業中，對於觀測值需要具有檢核的能力，故若改正數為零，將無法進行後續之檢核評估，因而需要 $n > u$ ，俾藉多餘之觀測數 $r (= n - u)$ 進行檢核。

本節依據高斯最小二乘(least-square)原理，當目標函數 $V^T P V$ 為最小時，未知參數 X 的最或是值解，即可依據下式求解：

$$\hat{X} = N^{-1} A^T P L \dots\dots\dots (附 1-2)$$

式中， $\hat{X}$ 即為未知參數 X 的估計值；而 $N = A^T P A$ 。

將 $\hat{X}$ 之解代入式(附 1-1)中，進而可求解平差後之改正數 $\hat{V}$ 及未

知參數估計值之中誤差 $\sum_{\hat{X}\hat{Y}}$ ，分別為

$$\hat{V} = A\hat{X} - L \dots\dots\dots (附 1-3)$$

$$\sum_{\hat{X}\hat{Y}} = \hat{\sigma}_0^2 N^{-1} \dots\dots\dots (附 1-4)$$

式中， $\hat{\sigma}_0$ 係為 σ_0 之估計值，且

$$\hat{\sigma}_0^2 = \frac{\hat{V}^T P \hat{V}}{r} \dots\dots\dots (附 1-5)$$

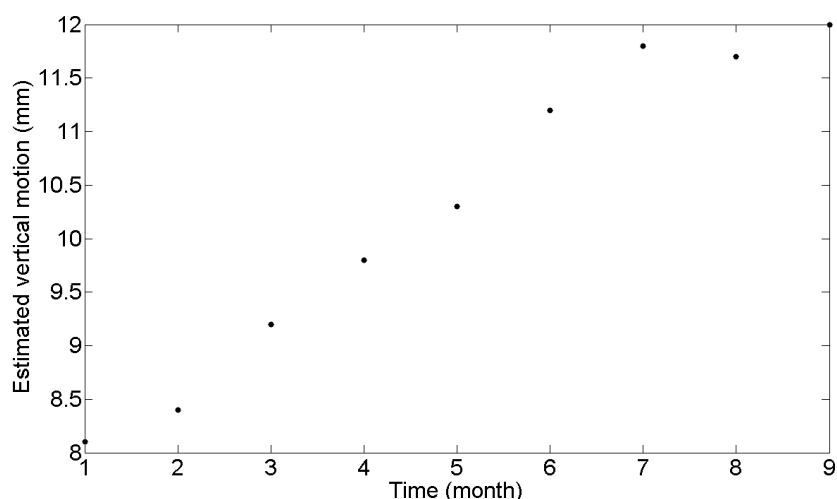
至於參數估計值之標準偏差，其可直接將中誤差 $\sum_{\hat{X}\hat{Y}}$ 開根號後即得。

附 1-2 計算範例

以地表垂直變動量之簡單估算為例。即在某特定地點，其地表垂直變動量，每月有一筆觀測數據，觀測量為等權且不相關，則在共 9 個月期間之觀測結果，可得如附表 1-1 或如附圖 1-1 所示。

附表 1-1 某特定地點每月一筆之地表垂直變動量觀測數據

月序	1	2	3	4	5	6	7	8	9
地表垂直變動量(mm)	8.1	8.4	9.2	9.8	10.3	11.2	11.8	11.7	12.0



附圖 1-1 某特定地點每月一筆之地表垂直變動量觀測數據

使用線性間接平差函數模型，假定地表垂直變動量可應用下列簡單的二參數擬合線性迴歸公式估算：

$$u(t) = a + bt \dots\dots\dots (附 1-6)$$

式中， u 為地表垂直變動量之觀測時序紀錄， a 與 b 分別為觀測量之估算偏差與時變動率。將其以間接平差函數模型表示，則從式(附 1-1)可得

$$u(t) + v = a + bt \dots\dots\dots (附 1-7)$$

亦即是觀測量 L 以 $u(t)$ 表示，改正數 V 以 v 表示，設計矩陣 $A = [1 \quad t]$ ，未知參數 $X = [a \quad b]$ ， $n=9$ ， $u=2$ ， $r=n-u=7$ ，且

$$L = \begin{bmatrix} 8.1 \\ 8.4 \\ 9.2 \\ 9.8 \\ 10.3 \\ 11.2 \\ 11.8 \\ 11.7 \\ 12.0 \end{bmatrix} ; A = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \\ 1 & 3 \\ 1 & 4 \\ 1 & 5 \\ 1 & 6 \\ 1 & 7 \\ 1 & 8 \\ 1 & 9 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (附 1-8)$$

依據最小二乘法原理，令目標函數 $V^T P V$ 為最小，且在觀測值等權下，取 P 為單位矩陣，則依據式(附 1-2)，即可求解未知參數 X 的估計值 $\hat{X}$ ，其中

$$N^{-1} = (A^T P A)^{-1} = \begin{bmatrix} 0.53 & -0.08 \\ -0.08 & 0.02 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (附 1-9)$$

$$A^T P L = \begin{bmatrix} 92.5 \\ 494.6 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (附 1-10)$$

而

$$\hat{X} = N^{-1} A^T P L = \begin{bmatrix} \hat{a} \\ \hat{b} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 7.60 \\ 0.54 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (附 1-11)$$

將 $\hat{X}$ 帶入式(附 1-6)中作估算，而後再與實測之地表垂直變動量相比較，結果可得如附圖 1-2 所示。至於平差後之改正數 $\hat{V}$ 、未知參數估計值之中誤差 $\sum_{\hat{X}}^{\wedge}$ 及單位權重誤差 $\hat{\sigma}_0$ ，應用式(附 1-3)、式(附 1-4)及式(附 1-5)計算，分別可得

$$\hat{V} = \begin{bmatrix} -0.04 \\ -0.27 \\ -0.01 \\ 0.06 \\ 0.02 \\ 0.39 \\ 0.45 \\ -0.18 \\ -0.42 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (附 1-12)$$

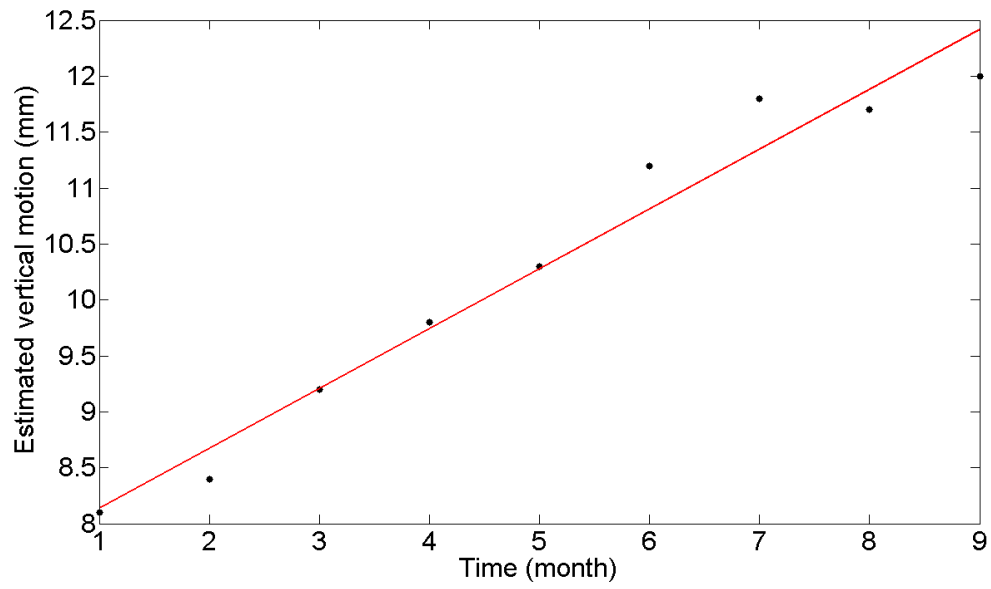
$$\hat{\Sigma}_{\hat{X}\hat{X}} = \begin{bmatrix} 0.0484 & -0.0076 \\ -0.0076 & 0.0015 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (附 1-13)$$

$$\hat{\sigma}_0 = 0.3029 \dots\dots\dots (附 1-14)$$

再直接將中誤差 $\hat{\Sigma}_{\hat{X}\hat{X}}$ 開根號，並取矩陣之對角線值，最後，可得參數估計值之標準偏差 $Std(\hat{X})$ 為

$$\begin{aligned} Std(\hat{X}) &= diag(\hat{\Sigma}_{\hat{X}\hat{X}})^{1/2} \\ &= \begin{bmatrix} 0.2200 \\ 0.0391 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (附 1-15) \end{aligned}$$

因此，觀測量之估算時變動率，即可表示為： $\hat{b} = 0.54 \pm 0.039$ mm。



附圖 1-2 地表垂直變動量之實測(黑)與估計(紅)值比較

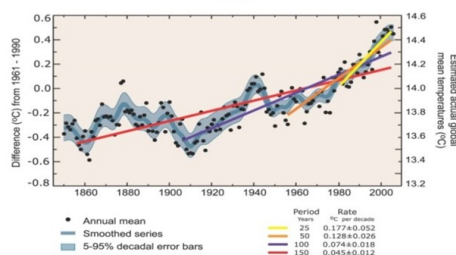
附錄 2 期末報告審查簡報資料

全球暖化引致臺灣海域海面水位昇降變動率之評估研究(3/4)
— 臺灣環島驗潮站潮位基準偏移之自動化偵測與校正研究 —■ 研究人員：莊文傑¹、李俊穎²、藍文浩³

1. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員
2. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員
3. 國立成功大學測量及空間資訊學系博士生

簡報內容

- 研究緣起與目的
- 研究方法
- 研究成果與討論
- 結論與建議



全球平均溫度變化的趨勢圖。相較於1961~1990年間平均地面溫度的變化(IPCC WG1 AR4, Fig.TS.6)

1

研究緣起與目的

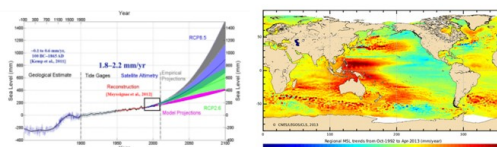
■ 面對全球暖化、氣候變遷課題：

- IPCC(2013)推估，在近20年間，全球平均增溫為 $0.177^{\circ}\text{C}/10\text{yrs}$ ；SLR約為 3 mm/yr 。
- SLR具有時、空變化趨勢差異。

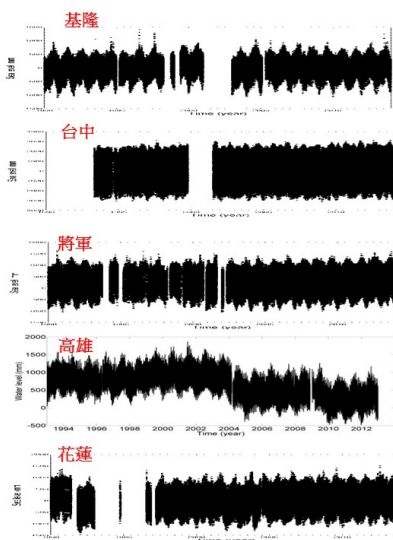
- 驗潮站之潮位紀錄，因紀錄期間較長久，蒐集整理相對較容易，且可直接及真實反應平均海平面上升之年變動率之變動，故常應用於SLR分析。黃金雄(1999)、施學銘(2000)、范光龍(2005)、曾子恆(2008)、董東臻(2008)、黃清智(2010)、郭聖言(2014)、...

■ 問題與挑戰：

- 國內驗潮站之潮位觀測基準係相對參考陸岸固定之水準點高程，其會因劇烈的地殼升降作用(如地震)而移位，或因觀測儀器必要的定期檢校、維護、更新、或設置地點變更等情形而變動，促使長期性之實測潮位紀錄，普遍存在長短不等的缺漏，以及數目不定且偏移程度大小不一之基準偏移現象。
- 含缺漏及基準偏移之潮位紀錄，如何偵測、調校、評估準確性，俾可提供相關應用或SLR分析？



SLR之時空變化趨勢



2

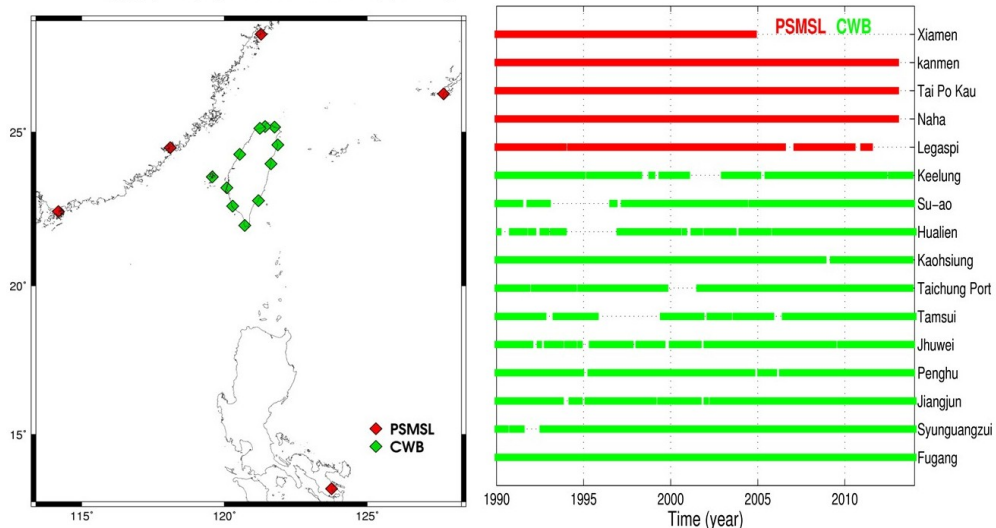
研究方法

- 潮位基準偏移，可類比於低頻訊號之突然變動(突衝)。
- 綜整及應用先期合作研究之經驗：
 - 近二十年期(1990~2013)潮位紀錄蒐集整理：
 - 英國PSMSL 毗鄰臺灣海岸驗潮站逐月等權平均潮位資料
 - 國內各政府機關(CWB)在臺灣環島沿岸驗潮站之長期逐時等權平均潮位紀錄。
 - 臺灣環島沿岸驗潮站之逐月平均資料處理：將逐時潮位紀錄，取720 hrs窗寬，直接進行中央移動平均。
 - 基準偏移之偵測：
 - 針對逐月平均資料，應用哈爾小波(Haar wavelet)，作高、低頻訊號之分類分解；再就低頻(近似趨勢)之訊號突衝(spike)，藉預先研定之 可能與判定 門檻值，篩選及確定發生基準偏移之時序與總數目。
 - 基準偏移之改正：
 - 將各偏移區間以步階函數模擬，再以含步階函數之二參數擬合(fitting)線性間接平差方法，同時進行潮位基準偏移量與SLR趨勢之推估，並自動改正基準偏移量。
 - 基準偏移改正後之準確性評估：
 - 藉基準偏移改正後之SLR趨勢，與衛星測高或毗鄰驗潮站相互對照比較，俾評估基準偏移自動改正之效能。

3

毗鄰及環繞臺灣海岸之驗潮站與近二十年(1990-2013)之潮位紀錄

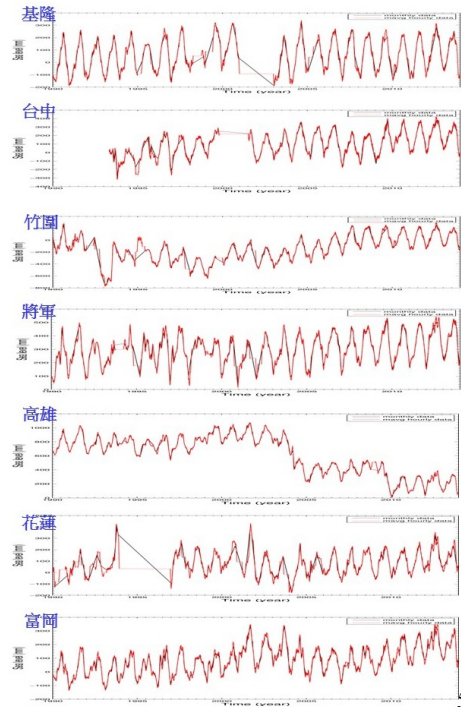
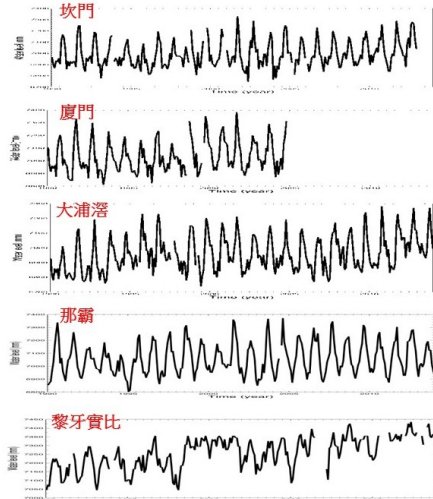
- 潮位資料庫：
 - (1)英國平均海平面永久服務中心(PSMSL)；坎門、廈門、大浦滬、那霸、黎牙實比；RLR_Metric；每月平均一筆。
 - (2)中華民國中央氣象局(CWB)；基隆、蘇澳、花蓮、高雄、臺中、淡水、竹圍、澎湖、將軍、蟳廣嘴、富岡；每6分鐘及每小時平均一筆。



4

毗鄰及環繞臺灣海岸之驗潮站與近二十年(1990-2013)之潮位紀錄

- 驗潮站長期潮位紀錄普遍含缺漏及基準偏移！
- 等權平均與移動平均之逐月資料處理與比較。



潮位基準偏移偵測

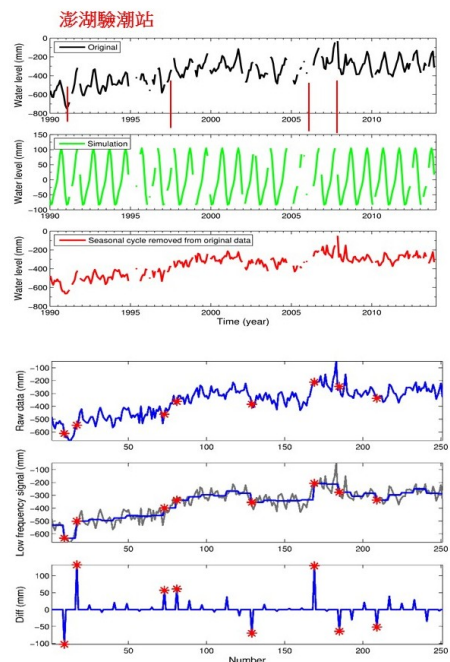
偵測：

- 針對逐月平均潮位資料，以六參數擬合之間接平差法，先移除季節性訊號，

$$TG(t) = a_0 + a_1 t + \sum_{i=1}^2 [A_i \sin(\Omega_i t) + B_i \cos(\Omega_i t)]$$

- 並應用Haar wavelet，先行作高、低頻訊號之分類分解；
- 再就低頻(近似)訊號，逐時序計算相鄰訊號之差值或突衝(spike)，
- 當特定時序之突衝大小超過50 mm之預定門檻值時，即篩選其為可能發生基準偏移之時序；
- 接著，在突衝時序之前後時段，各以2年期距計算其平均值，
- 若其差值大小再超過130 mm，即判定該突衝(spike)時序，確定有基準偏移產生。

驗潮站名	步階區段	步階區段對應之起始年月
澎湖	1	1990.5
	2	1997.7
	3	2006.37
	4	2008.46



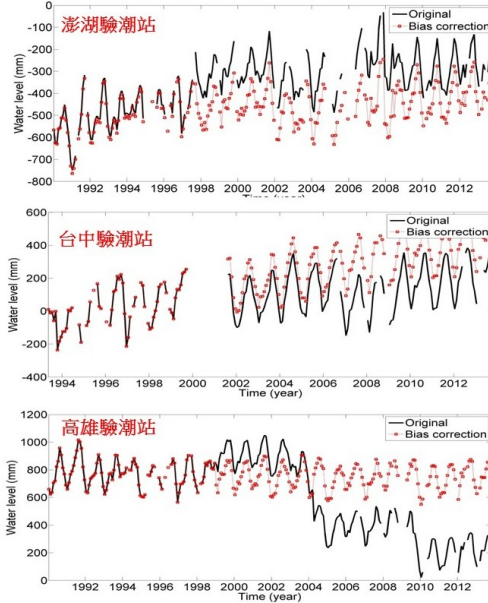
突衝大小 > 50 mm，
可能發生基準偏移

潮位基準偏移改正

- **改正**：總計基準偏移總數 N ，再以含步階(step)函數之二參數擬合(fitting)線性間接平差方法，進行潮位基準偏移量之改正；

$$TG_c(t) = c_0 + c_1 t + \sum_{j=1}^N \Delta_j$$

意義：實際係將特定驗潮站長期之原始潮位紀錄，依基準偏移總數 N ，區分為 $N+1$ 個紀錄區間，而 C_0 及 N 個步階函數，分別可類比為各紀錄區間之平均值；至於 C_1 ，則可類比各紀錄區間內，以區間長短為權重之SLR總平均值，因此，最長或最主要區間之SLR，將會主控 C_1 值之大小及其最終升降特性之陳現。



驗潮站名	步階區段	步階區段對應之起始年月	偏移量(mm) CWB_MavAvg
澎湖	1	1990.5	-15.46
	2	1997.7	-144.46
	3	2006.37	-213.73
	4	2008.46	-126.36

驗潮站名	步階區段	步階區段對應之起始年月	偏移量(mm) CWB_MavAvg
台中	1	2000	94.53
	2	2006.79	242.12
	3	2009.6	195.99

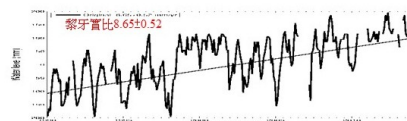
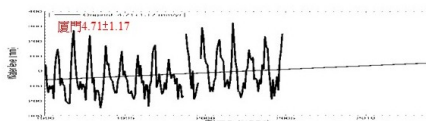
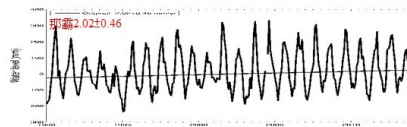
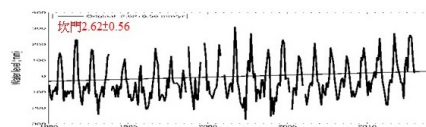
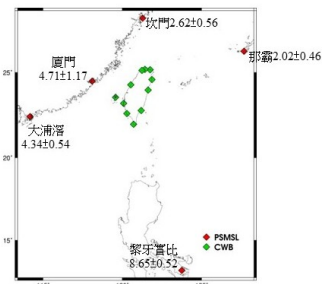
驗潮站名	步階區段	步階區段對應之起始年月	偏移量(mm) CWB_MavAvg
高雄	1	1999	-150.73
	2	2003.37	-26.87
	3	2004.2285	340.64
	4	2009.62	528.92

基準偏移改正後之準確性評估_毗鄰臺灣海岸

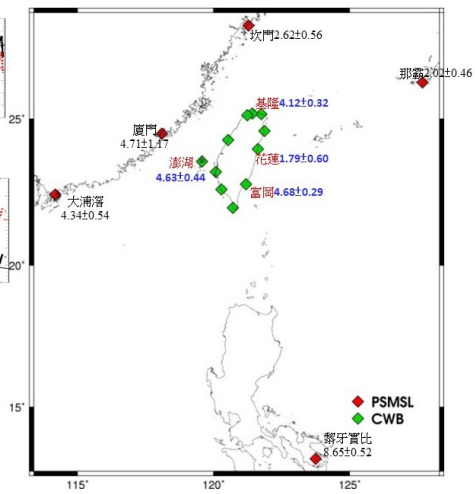
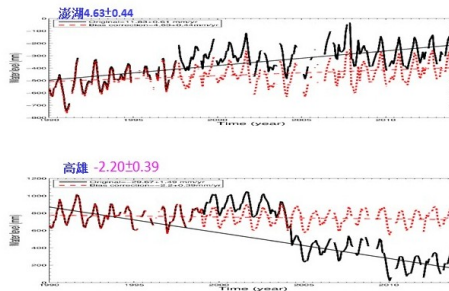
- 毗鄰臺灣海岸驗潮站 均可通過潮位偏移之確認基準，皆不需再作後續之偏移校正。
■ 近20年(1990~2013)之SLR分析

驗潮站名	等權平均		AVISO 衛星測高 SLR (mm/yr)
	偏移修正前 SLR (mm/yr)	偏移修正後 SLR (mm/yr)	
坎門	2.62±0.56	x	2.94±0.43
廟門	4.71±1.17	x	3.62±1.57
大浦潭	4.34±0.54	x	2.34±0.53
那霸	2.02±0.46	x	2.44±0.68
黎牙實比	8.65±0.52	x	7.71±0.70

- SLR 具有北小_南大；東小_西大之主要趨勢。
■ 臺灣東北側 最小 2.0 mm/yr 及南側 最大 8.6 mm/yr。



交通部運輸研究所/港灣技術研究中心
103 年度政府科技計畫期末報告審查



敬請
指教、賜正！

研究人員：

莊文傑、李俊穎、藍文浩

附錄 3 期末報告審查會議紀錄及委員意見處理表

交通部運輸研究所 104 年度計畫

「全球暖化引致臺灣海域海面水位昇降變動率之評估研究
(3/4)-

臺灣環島驗潮站潮位基準偏移之自動化偵測與校正研究」

期末報告審查會議紀錄

壹、時間：民國 105 年 3 月 3 日（星期四）中午 13 時 30 分

貳、地點：本所港研中心 5 樓會議室

參、主持人：港研中心 蘇青和科長

紀錄：單誠基

肆、出席審查委員及人員：

(一) 審查委員：

	簽名
梁乃匡委員	梁乃匡
楊瑞源委員	楊瑞源
郭一羽委員	郭一羽
李兆芳委員	李兆芳

(二) 出席人員：

	簽名
蘇青和科長	請假
李俊穎研究員	李俊穎
莊文傑研究員	莊文傑

審查委員評審意見與建議	處理情形
一、梁乃匡 委員 (評分：) 研究目標符合國家需要及研究方法合理，成果可供各單位參考。	感謝梁委員的出席指導。所賜教指正之意見處理如后： 感謝肯定與嘉勉。
二、楊瑞源 委員 (評分：) 1. 本研究將臺灣環島海域長期性的潮位紀錄，應用於平均海平面升降變動率之分析，已將臺灣環島共 11 處驗潮站區位之平均海平面基礎偏移建立系統化之校正架構，可提昇平均海平面升降變動率之分析。 2. 建議能再補充計畫全程之研究目的與各年度之研究重點，尤以第四年(4/4)之預期研究成果可再詳述。。	感謝楊委員的出席指導。所賜教指正之意見處理如后： 1. 感謝肯定與嘉勉。 2. 感謝提示指教。相關全程研究目的、研究重點及預期成果與應用，已於第一章緒論以及第 5 章結論與建議之內文作補充，並綜整列述於本報告之摘要表。
三、郭一羽 委員 (評分：) 1. 本計畫研究成果對於未來潮位資料分析至為重要，有深入探討之必要性。 2. 目前經修正後，誤差仍大，往後必須更有效的方法。 3. 本計畫用心執行，期持續為之。 4. 文中或圖表中數字不要漏失單位與地名。 5. 針對誤差發生原因，是否可能不同類型要有不同的校正方法？	感謝郭委員的出席指導。所賜教指正之意見處理如后： 1. 感謝肯定與嘉勉。 2. 感謝提示指教。相關基準偏移校正方法之效能與準確度之提昇，將列入後續研究辦理。 3. 感謝肯定與嘉勉。 4. 感謝提示指教。報告內文及圖表中之數字單位與地名，均已加強標註說明。 5. 感謝提示指教。於後續研究中，會充分將嚴重缺漏、站位移動、儀器維護更新、資料品質等不同造成基準偏移之類型納入基準偏移校正方法中，據以提昇總體之校正效能與準確度。
四、李兆芳 委員 (評分：) 1. 驗潮站高程的檢討為重要的問題，值得檢討分析使用。	感謝李委員的出席指導。所賜教指正之意見處理如后： 1. 感謝肯定與嘉勉。

2. 所使用資料基準偏移需要及時調校，或不同單位的資料結合起來也需要確認正確高程，這樣彙整起來的資料作分析比較有意義。	2. 感謝提示指教。本研究所檢選國內共 11 處驗潮站近 20 年期之潮位紀錄，部分原始資料，並非由單一機構或單位所量測建置，又即使是同一單位，長期之資料仍會因站位移動、儀器維護更新、資料品質、地震沉陷等因素影響而導致基準偏移，因此，本研究之目的，即在面對各類型因素，研提校正方法，據以期待可將資料作有效之彙整及應用。
3. 訊號 bias 的處理，先決條件應該為沒有特別異常的情形，分析結果比較合理。	3. 感謝提示指教。依據訊號之偏移特性進行基準偏移偵測，實為施行基準偏移校正最關鍵之前置處理作業。惟如何準確辨識其正常或異常性，製訂判別準測或門檻，則仍有待列入後續研究辦理。
4. 資料經過調整後，必須能夠反應資料特性，這樣才正常。如潮汐特性或分潮大小需要合理。	4. 感謝提示指教。本研究應用含步階函數之二參數擬合法施行基準偏移校正，主要僅在透過所求得之分段步階函數，據以改正驗潮站各分段偏移紀錄之基準值。故原始紀錄內本質所具有之潮汐特性或分潮大小，皆不會因施行本校正方法而有任何改變。