

104-46-7820
MOTC-IOT-103-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(2/4)

— 臺灣近岸驗潮站潮位基準偏移量校正方法之研究 —



交通部運輸研究所

中華民國 104 年 5 月

104-46-7820
MOTC-IOT-103-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(2/4)

— 臺灣近岸驗潮站潮位基準偏移量校正方法之研究 —

著 者：莊文傑、李俊穎

交通部運輸研究所

中華民國 104 年 5 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

全球暖化引致臺灣海域海面水位升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 / 莊文傑, 李俊穎著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運研所, 民 104.05

面；公分

ISBN 978-986-04-4614-2(平裝)

1.海岸工程 2.海平面

443.3

104005499

全球暖化引致臺灣海域海面水位升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 -

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 104 年 5 月

印刷者：群彩印刷科技股份有限公司

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港灣技術研究中心網站

定價：150 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：1010400445

ISBN：978-986-04-4614-2 (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。

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升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－			
國際標準書號 ISBN 978-986-04-4614-2 (平裝)	政府出版品統一編號 1010400445	運輸研究所出版品編號 104-46-7820	計畫編號 103-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 103 年 01 月 至 103 年 12 月
關鍵詞：氣候變遷、全球暖化、海平面上升、水位升降率、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升降變動率之評估」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(1993~2012)實測潮位時序紀錄，採用線性迴歸分析方法，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)之年變動率與趨勢。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，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。而其中甚重要之工作，即是在偵測基準偏移之發生時序區段與數目。 為將基隆、蘇澳、花蓮、高雄、臺中等國內五大商港驗潮站近二十年(1993-2012)之逐時平均潮位紀錄，應用於 SLR 分析，對於基準偏移發生時序之偵測，本研究透過先期合作研究之蒐集與探討，首先，將各港驗潮站之長期性逐時潮位紀錄，進行逐月平均之資料低頻化處理，再應用哈爾小波(Haar wavelet)作高、低頻訊號之分頻分解，其次，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，最後，總計基準偏移總數，再以含步階函數之二參數擬合線性間接平差方法，進行潮位基準偏移量之校正，進而藉與衛星測高資料之 SLR 分析結果(郭 等，2015)之對應比較，評估基準偏移校正方法之效能。 國內五大商港驗潮站近二十年(1993-2012)之逐時平均潮位紀錄，經完成潮位基準偏移偵測與校正，並進行 SLR 分析後，可得各港近 20 年平均之海平面升降年變率(mm/yr)或 SLR 趨勢，分別為基隆 4.87 ± 0.40；蘇澳 7.94 ± 0.52；花蓮 5.93 ± 0.86；高雄 1.75 ± 0.47；臺中 15.71 ± 0.51。與近 20 年全球海面平均約 3 mm/yr 的 SLR 年變率(IPCC, 2013)或與郭 等(2015)應用具有絕對高程基準之衛星測高資料進行 SLR 分析之結果(基隆 3.16 ± 0.36；蘇澳 3.20 ± 0.37；花蓮 3.20 ± 0.39；高雄 4.49 ± 0.36；臺中 3.45 ± 0.43)相互參照比較，可明顯看出，除了高雄驗潮站 SLR 年變率偏低外，其他各港均大幅超越，較大之年變率，甚至可達 2			

倍以上。這意謂僅管基準偏移可採用二參數擬合線性間接平差方法做較合理地校正，但受區域長期性地層下陷作用或地殼升降變動之影響，依據潮位紀錄進行 SLR 分析，仍將促使 SLR 趨勢普遍偏大。

此外，配合原始潮位紀錄，檢視各分段基準偏移量改正之步階函數值，並與直接平均計算之平均值相互比較，當其相對差值大小均低於 50 mm 時，即表示有基準偏移之過度校正現象發生。而這應即是高雄驗潮站 SLR 年變率偏低之主要原因。

研究成果之效益：

- (1) 學術成就(科技基礎研究)方面：發表國內期刊論文 2 篇、研討會論文 2 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、UHSLC 與中央氣象局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，在綜合海潮效應、逆氣壓效應、及地殼之造山陸昇與地層下陷等效應下，提出潮位基準偏移校正之有效方法，並將臺灣環島海域長期性的潮位紀錄，較準確可靠地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。
- (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，就基隆、蘇澳、花蓮、高雄、臺中等國內五大商港驗潮站之分區特性，提供近二十年期間含海潮效應、逆氣壓效應、及地殼之造山陸昇與地層或基準下陷等效應之詳實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
104 年 5 月	104	150	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 (2/4) — Study of correcting the datum biases on tides measured around Taiwan.			
ISBN 978-986-04-4614-2 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010400445	IOT SERIAL NUMBER 104-46-7820	PROJECT NUMBER 103-H3DA003b
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang PROJECT ADVISOR: Juang Wen-jye PRINCIPAL INVESTIGATOR: Lee Chun-ying PROJECT STAFF: Ma Wei-lun, Chien Er-jier, Chen Cheng-yi, Chang Lee-chung PHONE: 04-26587185 FAX: 04-26564415			PROJECT PERIOD FROM January 2014 TO December 2014
KEY WORDS: Sea Level Rise (SLR), Tides, Datum Biases Correction, Trend, The Coasts around Taiwan.			
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 this second year study, the works of correcting the datum bias for the tidal records during the last 20 years (1993~2012) are focused. There are many reasons such as earthquakes, instrument maintains and upgrades will possibly cause datum biases on the long term tidal records. So the key processes on correcting the datum biases are detecting when and how many biases occurred. With the concepts of the datum biases should evidently appear as spikes on the trend. Therefore, the procedures list following are designed for correcting the datum biases. First, the original hourly tide records are de-tided with harmonic analysis to remove the tidal periods less than 28 days, and then the records are transformed into monthly to purify the seasonal vibrations with adjusting the inverse barometric effects. Second, the Haar wavelet is applied to decomposing the monthly tidal 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, summing the biases and modeling the biases as step function, then the biases associated with the SLR that expressed in a linear regression formula coupled with the step functions can be estimated by applying the least-square method. Finally, the feasibility of correcting the datum biases is evaluated by comparing the SLR with the one solved by applying the satellite altimetry data. Basing on the datum bias corrected tidal records during the last 20 years from 1993 to 2012, the SLR that analyzed on the coasts of Keelung is 4.87 ± 0.40 mm/yr, Suao 7.94 ± 0.52 mm/yr, Hualien 5.93 ± 0.86 mm/yr, Kaohsiung 1.75 ± 0.47 mm/yr, and Taichung 15.71 ± 0.51 mm/yr. It is evidently that the SLRs on most of the coasts are greater than the global average			

of 3.0 mm/yr and also the results of altimetry data (Kuo et al. 2015) which show 3.16 ± 0.36 , 3.20 ± 0.37 , 3.20 ± 0.39 , 4.49 ± 0.36 , 3.45 ± 0.43 mm/yr at KL, SA, HL, KH, TC, respectively. However, the scheme what we proposed to correct the datum biases is confirmed to be feasible for the corrected tidal records essentially include the effects of the earth's crust rises due to orogeny, the land subsidence due to groundwater excess pumping, and the datum shifts due to earthquakes and tide gauges updated and maintained. Furthermore, the cause that the SLR appeared to be the lowest at KH is mainly confirmed due to datum bias over correction for all of the values of step function approximating to the average, or equally the relative difference less than 50 mm behind section of spikes.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION	
			☐ RESTRICTED	☐ CONFIDENTIAL
May 2015	104	150	☐ 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(2/4)

—臺灣近岸驗潮站潮位基準偏移量校正方法之研究—

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	III
目 錄	V
圖目錄	VII
表目錄	X
第一章 緒論	1-1
1.1 研究緣起	1-1
1.2 文獻回顧	1-4
1.3 工作項目	1-11
1.4 研究成果之預期應用	1-12
第二章 驗潮站潮位紀錄與海面氣壓資料.....	2-1
2.1 臺灣環島沿岸的驗潮站與潮位紀錄	2-1
2.2 臺灣鄰近海域的海面氣壓紀錄	2-8
第三章 基準偏移校正前之基本潮位紀錄處理.....	3-1
3.1 長期潮位紀錄之低頻化	3-1
3.2 海潮改正	3-1
3.3 逆氣壓改正	3-9
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	4-1
4.3 基準偏移之改正	4-8
4.4 偏移改正準確度評估與 SLR 分析	4-13
第五章 結論與建議.....	5-1
5.1 結論.....	5-2
5.2 建議.....	5-4
5.3 研究成果之效益	5-4
5.4 可供本所或其他政府機關後續應用情形	5-5
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 英國 PSMSL 潮位資料庫中基隆(上)與高雄(下)驗潮站近二十年 期間之 RLR(紅點)與 METRIC(黑)型態之逐月平均紀錄.....	2-2
圖 2-2 在 UHSLC(紅點)與 PSMSL_METRIC(黑線)潮位資料庫中基隆(上) 與高雄(下)驗潮站逐月平均紀錄之對照比較.....	2-3
圖 2-3 基隆(A)、蘇澳(B)、花蓮(C)、高雄(D)、臺中(E)等國內五大商港 驗潮站之逐時平均紀錄.....	2-5
圖 2-4 基隆(A)、蘇澳(B)、花蓮(C)、高雄(D)、臺中(E)等國內五大商港 驗潮站之逐日平均紀錄.....	2-6
圖 2-5 基隆(A)、蘇澳(B)、花蓮(C)、高雄(D)、臺中(E)等國內五大商港 驗潮站之逐月平均紀錄.....	2-7
圖 2-6 ECMWF 全球海面日(上)、月(下)之平均氣壓	2-9
圖 2-7 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.....	2-10
圖 2-8 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.....	2-11
圖 3-1 潮位基準偏移校正之流程.....	3-3

- 圖 3-2 基隆(KL)、蘇澳(SA)、花蓮(HL)驗潮站之原始逐時潮位紀錄(A)及經以擬合之高頻海潮(B)進行海潮改正後之逐時潮位(C).....3-5
- 圖 3-2(續) 高雄(KH)、臺中(TC)驗潮站之原始逐時潮位紀錄(A)及經以擬合之高頻海潮(B)進行海潮改正後之逐時潮位(C).....3-6
- 圖 3-3 基隆(KL)、蘇澳(SA)、花蓮(HL)、高雄(KH)、臺中(TC)驗潮站原始(黑)及經海潮改正後(紅)之逐日平均潮位比較3-7
- 圖 3-4 基隆(KL)、蘇澳(SA)、花蓮(HL)、高雄(KH)、臺中(TC)驗潮站原始(黑)及經海潮改正後(紅)之逐月平均潮位比較3-8
- 圖 3-5 基隆(KL)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).....3-10
- 圖 3-5(續) 蘇澳(SA)及花蓮(HL)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 3-5(續) 高雄(KH)及臺中(TC)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).....3-11
- 圖 3-6 基隆(KL)、蘇澳(SA)、花蓮(HL)、高雄(KH)、臺中(TC)驗潮站經逆氣壓改正後之逐月潮位時序(C).....3-13
- 圖 4-1 基隆驗潮站在移除海潮與逆氣壓效應後之逐月平均紀錄(A)與應用六參數擬合方法所得季節週期性之潮位訊號(B)及用以進行基準偏移偵測之逐月平均潮位紀錄(C).....4-3
- 圖 4-1(續) 蘇澳(上)及花蓮(下)驗潮站在移除海潮與逆氣壓效應後之逐月平均紀錄(A)與應用六參數擬合方法所得季節週期性之潮位訊號(B)及用以進行基準偏移偵測之逐月平均潮位紀錄(C).....4-4
- 圖 4-1(續) 高雄(上)及臺中(下)驗潮站在移除海潮與逆氣壓效應後之逐月平均紀錄(A)與應用六參數擬合方法所得季節週期性之潮位訊號(B)及用以進行基準偏移偵測之逐月平均潮位紀錄(C).....4-5
- 圖 4-2 基隆(上)及蘇澳(下)驗潮站進行基準偏移偵測前之逐月平均潮位紀錄(A)及作分頻分解後之低頻時序(B)與其逐時序相鄰訊號突衝差值(C)。紅色星點表示可能之偏移點位；綠色界框為偏移期間。4-6

- 圖 4-2(續) 花蓮(上)及高雄(下)驗潮站進行基準偏移偵測前之逐月平均潮位紀錄(A)及作分頻分解後之低頻時序(B)與其逐時序相鄰訊號突衝差值(C)。紅色星點表示可能之偏移點位。.....4-7
- 圖 4-2(續) 臺中驗潮站進行基準偏移偵測前之逐月平均潮位紀錄(A)及作分頻分解後之低頻時序(B)與其逐時序相鄰訊號突衝差值(C)。紅色星點表示可能之偏移點位。.....4-8
- 圖 4-3 基隆(KL)、蘇澳(SA)、花蓮(HL)、高雄(KH)、臺中(TC)等國內五大商港驗潮站進行基準偏移校正後之逐月平均潮位時序 .4-11
- 圖 4-4 基隆(上)、蘇澳(中)及花蓮(下)驗潮站進行基準偏移校正前(黑)、後(紅)之逐月平均潮位時序比較4-12
- 圖 4-4(續) 高雄(上)、臺中(下)驗潮站進行基準偏移校正前(黑)、後(紅)之逐月平均潮位時序比較.....4-13
- 圖 4-5 基隆(KL)、蘇澳(SA)、花蓮(HL)、高雄(KH)、臺中(TC)等國內五大商港驗潮站之逐月平均潮位時序(黑)與其 SLR 趨勢(紅)4-16
- 圖 4-6 基隆(KL)、蘇澳(SA)、花蓮(HL)、高雄(KH)、臺中(TC)驗潮站應用法國 AVISO 衛星測高資料分別計算近 20 年期之平均海面逐月變化(黑)與其 SLR 年變率(紅)(郭 等，2015).....4-17
- 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 英國平均海平面永久服務中心(PSMSL)資料庫中之基隆與高雄驗潮站資訊。	2-1
表 2-2 美國夏威夷大學海水位中心(UHSLC)資料庫中之基隆與高雄驗潮站資訊。	2-3
表 2-3 臺灣五大國際商港之驗潮站資訊.....	2-4
表 2-4 臺灣五大國際商港長期性之海面氣壓資訊.....	2-9
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
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 4-1 應用含步階函數之二參數擬合法進行基準偏移量改正前、後之標準偏差(STD)比較.....	4-9
表 4-2 應用含步階函數之二參數擬合法進行基準偏移量改正所得之分段步階函數值及以直接平均計算所得之平均值比較.....	4-10
表 4-3 國內五大商港驗潮站位應用基準校正前、後之逐月潮位時序與應用 AVISO 衛星測高資料計算近 20 年期之平均海平面升降年變率或 SLR 趨勢	4-15
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。

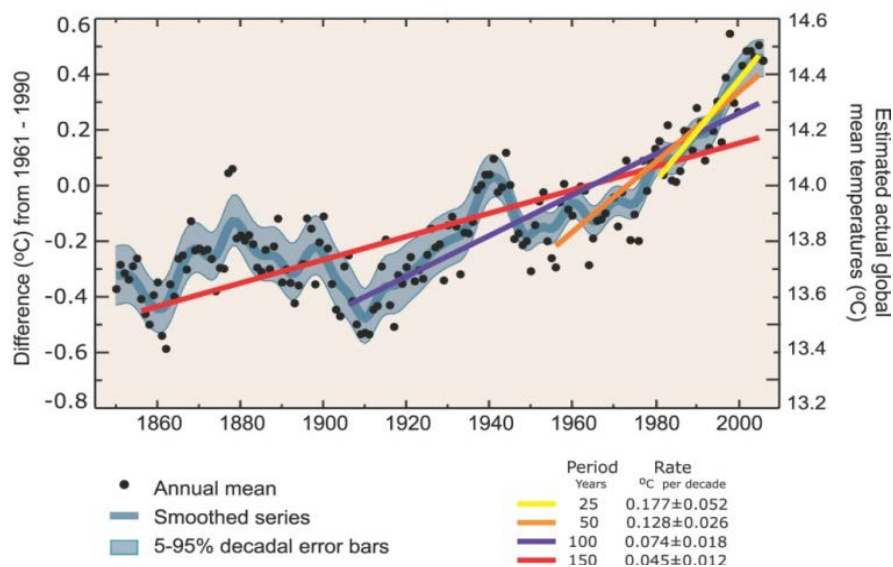


圖 1-1 相較於 1961~1990 年間平均地面溫度的全球平均溫度變化趨勢 (資料來源：IPCC WG1 AR4, Fig.TS.6)

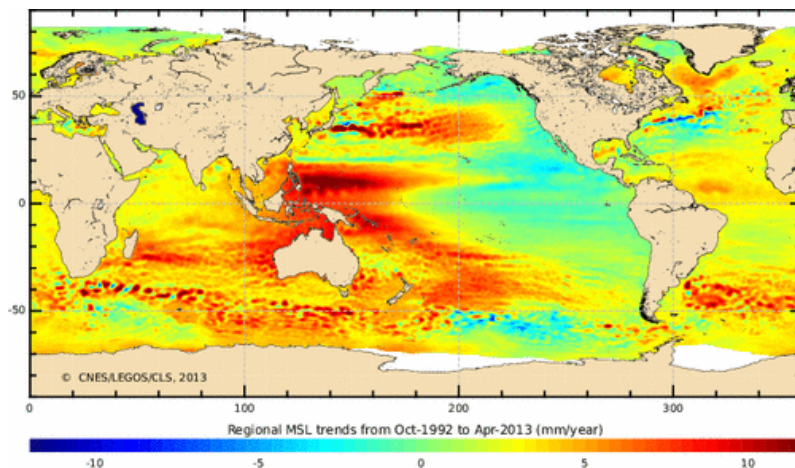


圖 1-2 全球各海域 1992 年至 2013 年之平均海平面升降變化 (資料來源：AVISO, <http://www.aviso.oceanobs.com/>)

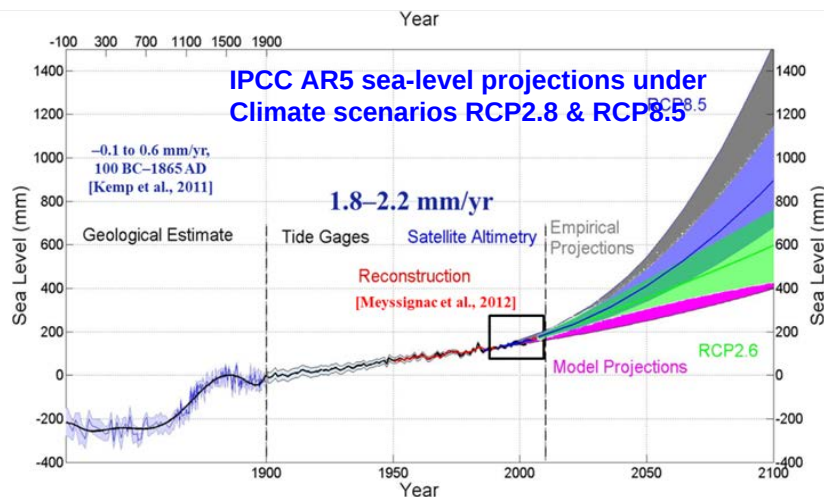


圖 1-3 全球平均之海平面上升趨勢 (資料來源：Shum and Kuo, 2011)

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，本研究將針對臺灣環島海域，以基隆、臺中、高雄、蘇澳、花蓮等國內五大國際商港近二十年期之近岸潮位與氣壓紀錄為分析對象，應用郭 等(2014；2015)所提之潮位觀測基準偏移改正方法，透過六參數擬合之間接觀測平差分析(武漢大學，2005；白，2009；郭 等，2015)，重新評估採行基準偏移改正前後，其對各港域 SLR 分析之影響。

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。中研院地球科學所研究員汪中和近期在媒體上亦曾表示：「台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，台灣海域平均之 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 SLR，其年變率差異，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。

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，並以局部加權迴歸散點平滑法(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。

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
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

吳 等(2010)在“台灣氣候變遷趨勢”報告中曾指出：「歷史觀測資料顯示，臺灣百年來各個季節的氣溫都有上升的趨勢，其中又以春季的

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。」

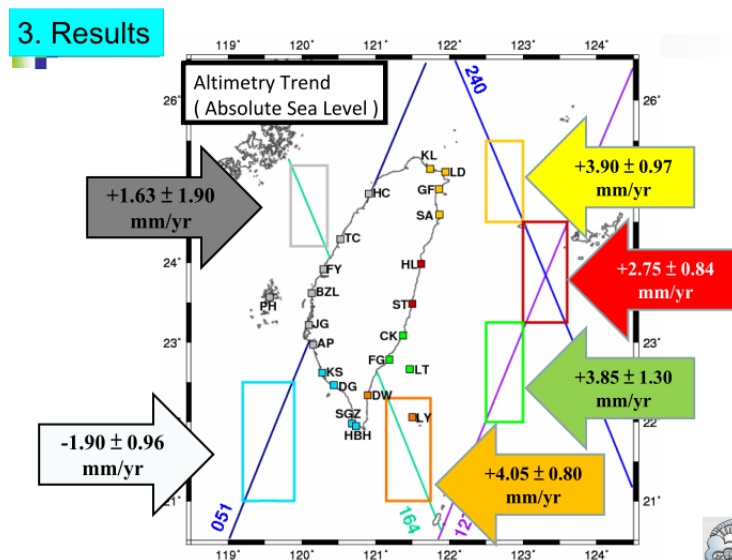


圖 1-4 臺灣海域應用 T/P 衛星測高資料進行 1961-2003 年分區之海平面升降速率分析結果(資料來源：曾于恆，2008)

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。」

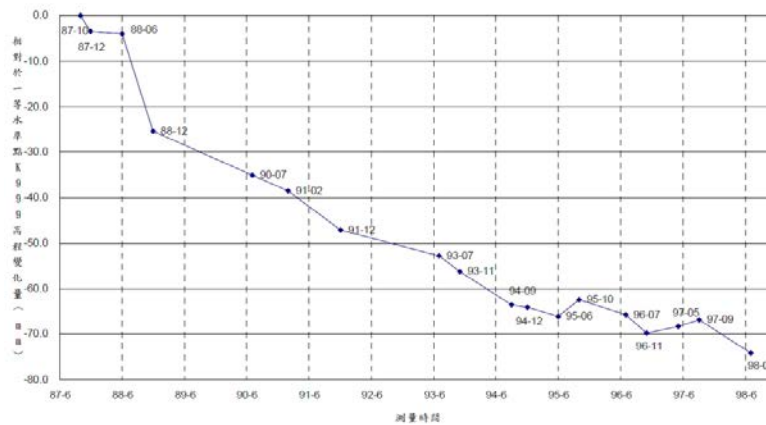


圖 1-5 基隆港西碎波堤之基隆驗潮站旁 K021 點位相對於 K999 水準原點之檢測高程差變化，自 1998~2009 年間檢測沉陷約 74mm，平均約 6.7mm/yr (資料來源：內政部，2010)

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)結合衛星測高資料與驗潮站紀錄之詳細分析結果。

1.3 工作項目

本研究_「臺灣近岸驗潮站潮位基準偏移量校正方法之研究」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」之第二分年研究課題。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)與美國夏威夷大學海水位中心(University of Hawaii Sea Level Center, UHSLC)所收錄近二十年期之基隆與高雄驗潮站資料、以及我國中央氣象局(CWB)等各政府機關在基隆、臺中、高雄、蘇澳、花蓮等國內五大國際商港海域近二十年期所觀測之潮位與氣壓紀錄，應用郭 等(2014；2015)所提之潮位觀測基準偏移改正方法，重新評估採行基準偏移改正前後，其對各港域 SLR 分析之影響。主要之年度研究重點工作項目如下：

- (1). 臺灣五大國際商港驗潮站實測潮位紀錄之檢索、蒐集與整理。
- (2). 臺灣五大國際商港海域實測氣壓紀錄之檢索、蒐集與整理。
- (3). 海潮改正影響評估。
- (4). 逆氣壓改正影響評估。
- (5). 基準偏移量改正方法及其影響評估。
- (6). 年平均海平面上升率(SLR trend)之分析。
- (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). 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，推動並落實總體性之海岸保育與防災策略。在國內自力完成詳實的分區平均海平面升降變動率分析。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 驗潮站潮位紀錄與海面氣壓資料

2.1 臺灣環島沿岸的驗潮站與潮位紀錄

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，依據郭 等(2015)之研究蒐集，其主要可由三處資料中心取得：(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，但均為每月平均一筆之觀測數據，亦即其潮汐之逐時變動影響已經初步之平滑處理而濾除。

在PSMSL之潮位資料庫中，針對臺灣鄰近海域，選取資料涵蓋可達20年期間之驗潮站共有基隆及高雄兩處，其相關站位與編號及紀錄期間，分別如表2-1及圖2-1所示。

表 2-1 英國平均海平面永久服務中心(PSMSL)資料庫中之基隆與高雄驗潮站資訊。

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

若以1993~2012年作為近20年之研究期間，則由表2-1及圖2-1觀察可見，在PSMSL之基隆及高雄驗潮站位紀錄中，兩驗潮站實際皆缺少RLR型態之潮位記錄；而Metric型態之潮位記錄，由圖2-1觀察可見，其在1996~2000年期間，明顯均存在潮位基準之偏移(bias)情形。

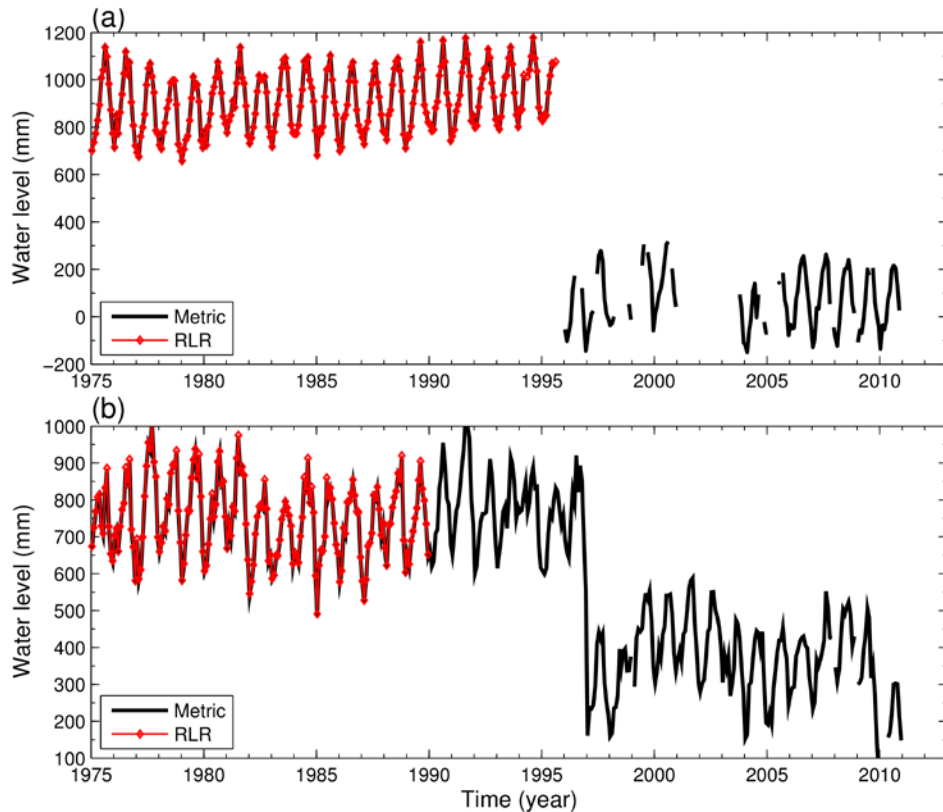


圖 2-1 英國 PSMSL 潮位資料庫中基隆(上)與高雄(下)驗潮站近二十年期間之 RLR(紅點)與 Metric(黑)型態之逐月平均紀錄

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。詮釋資料(metadata)中已說明潮汐影響與明顯基準偏移，分別均已濾除及改正。

在UHSLC之潮位資料庫中，針對基隆及高雄兩處驗潮站，可得資料涵蓋可達20年期間之相關站位與編號及紀錄期間，分別如表2-2所示；而將其逐日平均潮位資料作逐月平均處理，則可得近20年(1993 ~ 2012)期間之逐月平均紀錄，及其與PSMSL之Metric紀錄之對照比較，

如圖2-2所示。由圖觀察可見，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。

表 2-2 美國夏威夷大學海水位中心(UHSLC)資料庫中之基隆與高雄驗潮站資訊。

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

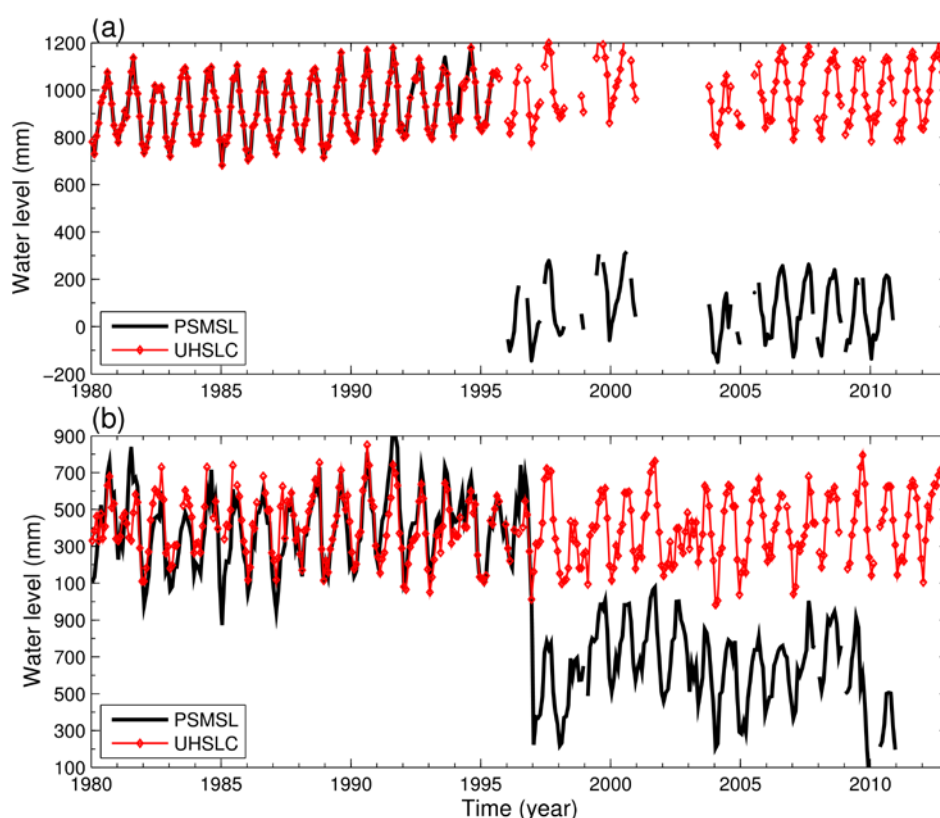


圖 2-2 在 UHSLC(紅點)與 PSMSL_Metric(黑線)潮位資料庫中基隆(上)與高雄(下)驗潮站逐月平均紀錄之對照比較

針對國內中央氣象局(CWB)目前所經管共約40處之驗潮站，檢選基隆、臺中、高雄、蘇澳、花蓮等國內五大國際商港驗潮站，分別可得相關站位、編號及紀錄期間，如表2-3所示。

綜合觀察表2-3可見，各驗潮站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，大多為逐時或每10分鐘平均一筆；而在2000年以後，普遍均為每6分鐘平均一筆。將各驗潮站之不同時距紀錄，分別作逐時、逐日及逐月平均處理，因而可得國內五大國際商港驗潮站之統一時距潮位資料，分別如圖2-3、圖2-4及圖2-5所示。

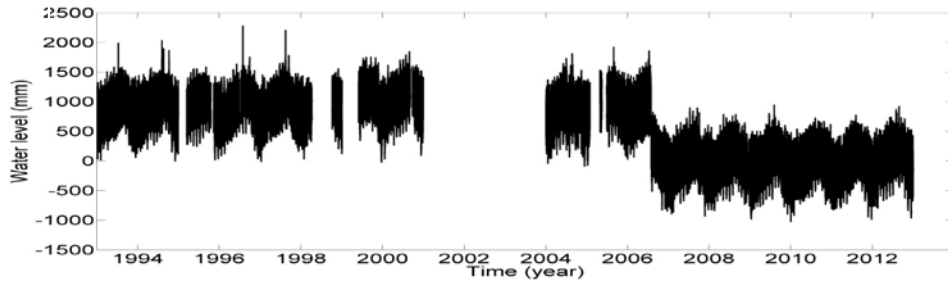
由圖觀察可見，原始每6分鐘平均一筆之潮位紀錄，經逐日及逐月平均處理後，明顯分別會將高頻分潮平滑化。此外，各驗潮站原始紀錄及經平滑化後之低頻潮位資料，基於設置地點與配置方式之差異，加以其係皆相對於岸邊的陸上高程基準而言，故潮位基準常會因區域的地殼昇降或儀器的更新、維護而變動，致使長期性的觀測資料，實際均含有長短不一之紀錄缺漏或潮位基準之偏移(bias)情形。其中，尤其以基隆港及高雄港在2004年以後之潮位基準偏移情形最明顯。

表 2-3 臺灣五大國際商港之驗潮站資訊

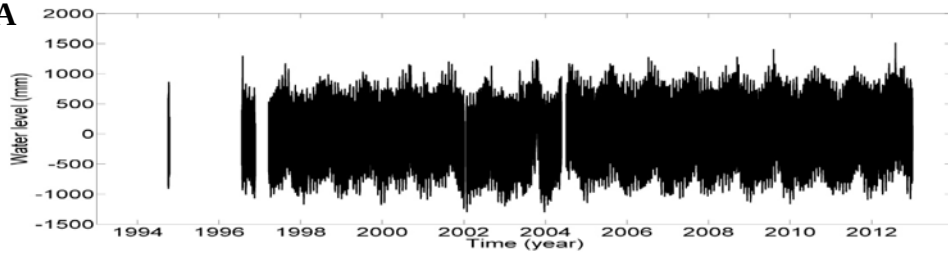
Station ID.	Station name			Lon(°)	Lat(°)	Records (minutes)	Data period	Originator
	Ch.	Eng.	Abbr.					
1511				121.7	25.2	60	1992-2000	基隆港務局
1513	基隆	Keelung	KL3	X	X	60	2004-2006	基隆港務局
1516				121.8	25.2	6	2006-2013	中央氣象局
124	蘇澳	Su-ao	SA	121.9	24.6	6	1991-2005	中央氣象局
1246				121.9	24.6	6	2005-2014	中央氣象局
125	花蓮	Hualien	HL	121.6	24	6	1991-2003	中央氣象局
1256				121.6	24	6	2003-2013	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
1433				120.5	24.3	10	1993-1997	港灣技術研究中心
143	臺中	Taichung Port	TCP	120.5	24.3	6	1997-1999	港灣技術研究中心
1434				120.5	24.3	6	2001-2004	港灣技術研究中心
1436				120.5	24.3	6	2004-2013	內政部

X: 表示原始資料中未提供該項資訊

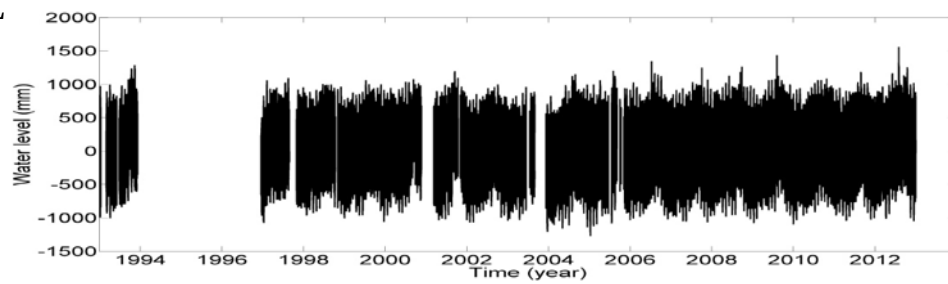
(a)KL



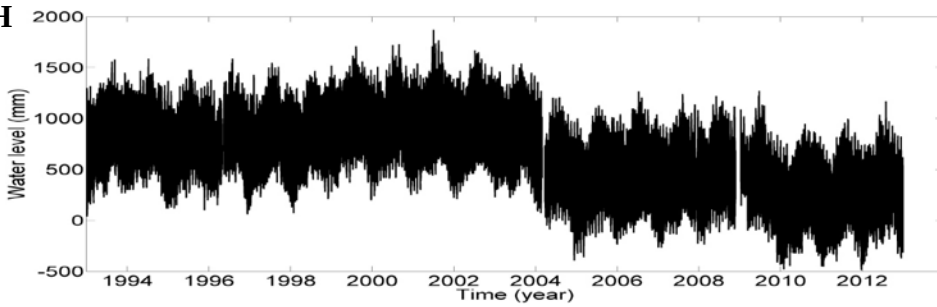
(b)SA



(c)HL



(d)KH



(e)TC

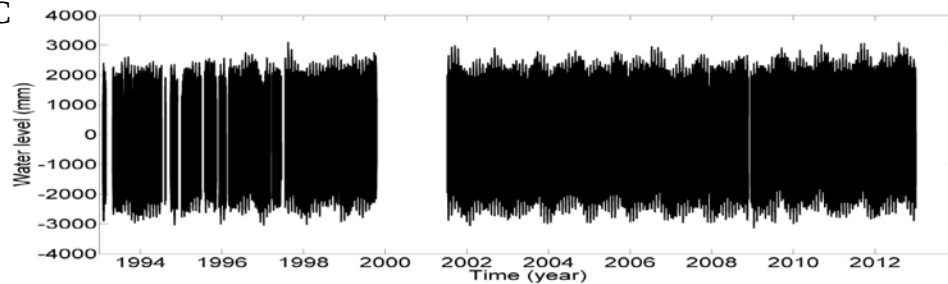


圖 2-3 基隆(a)、蘇澳(b)、花蓮(c)、高雄(d)、臺中(e)等國內五大商港
驗潮站之逐時平均紀錄

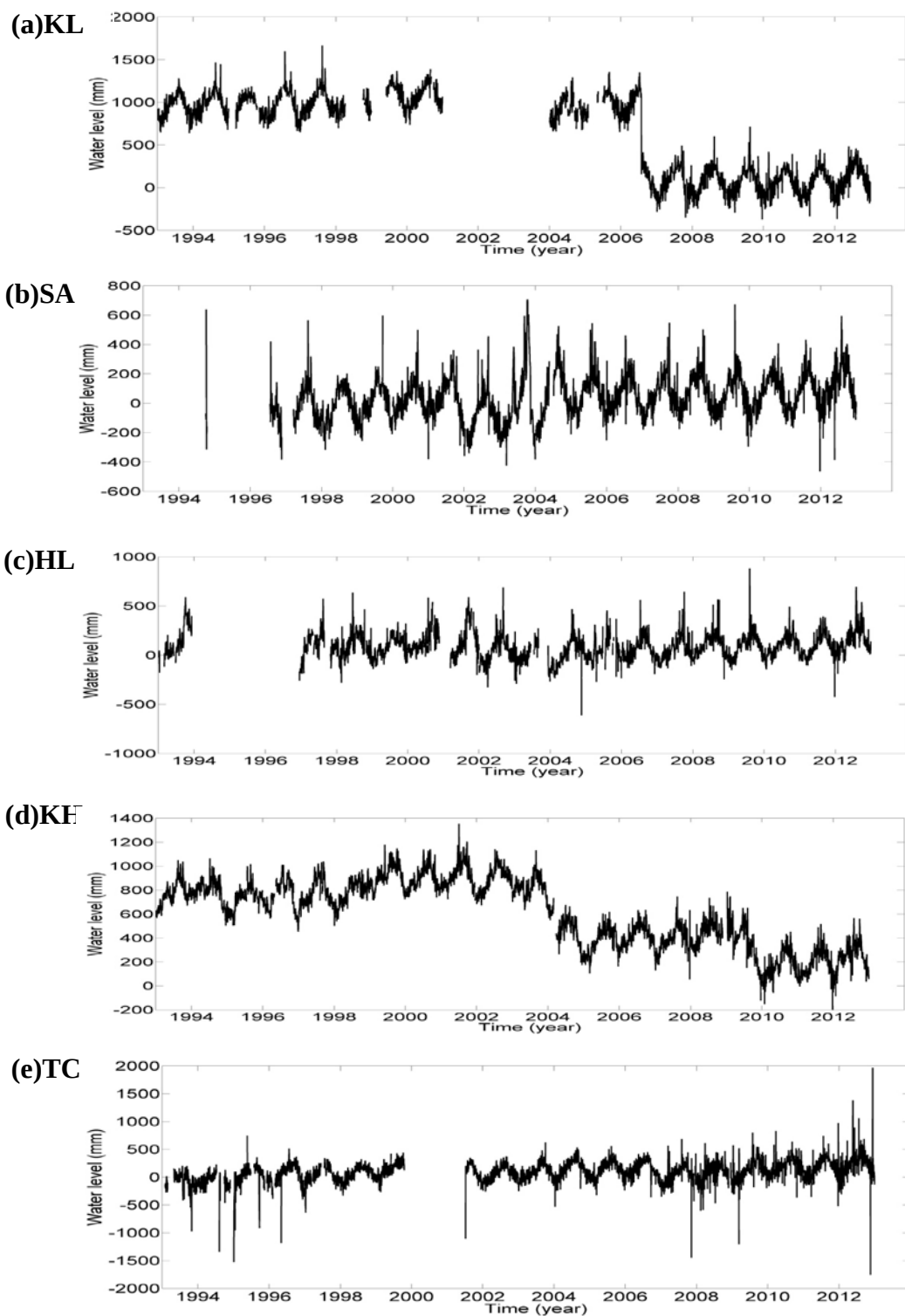


圖 2-4 基隆(a)、蘇澳(b)、花蓮(c)、高雄(d)、臺中(e)等國內五大商港
驗潮站之逐日平均紀錄

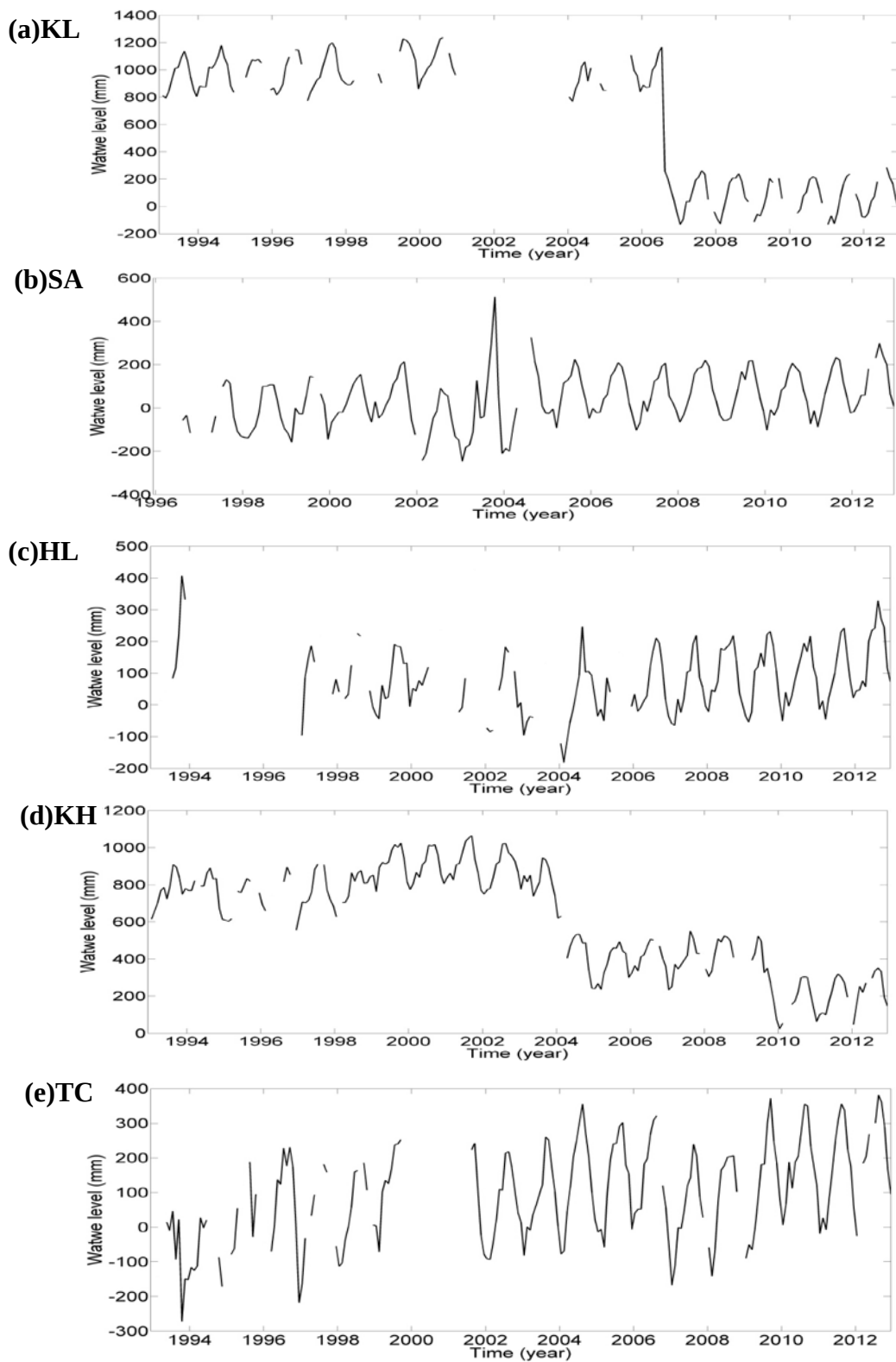


圖 2-5 基隆(a)、蘇澳(b)、花蓮(c)、高雄(d)、臺中(e)等國內五大商港
驗潮站之逐月平均紀錄

2.2 臺灣鄰近海域的海面氣壓紀錄

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 2-6 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 2-7 與圖 2-8 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

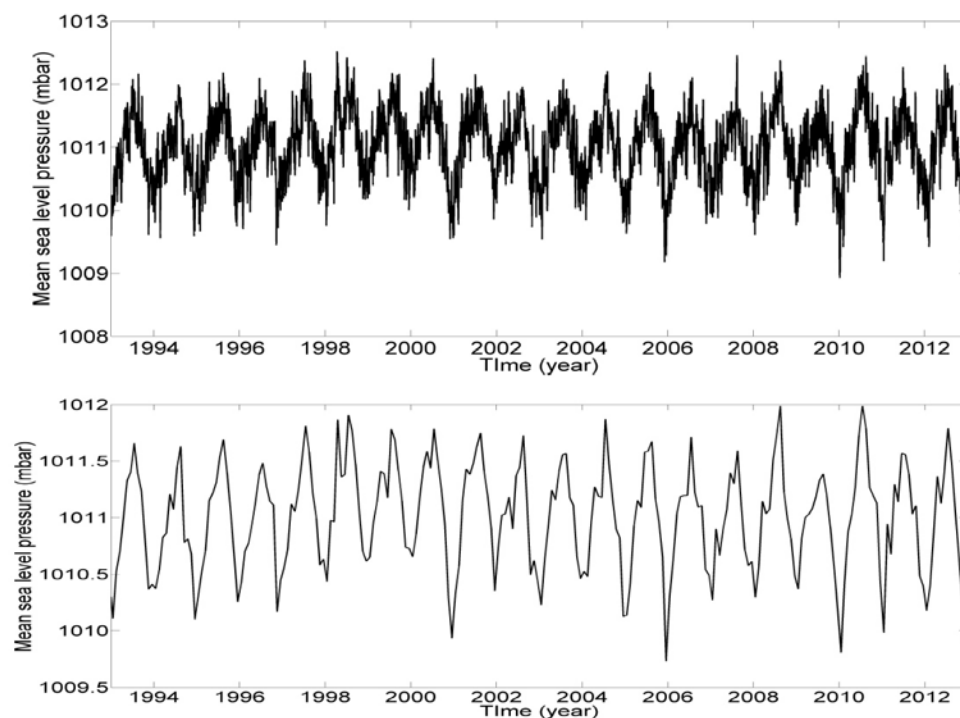


圖 2-6 ECMWF 全球海面日(上)、月(下)之平均氣壓

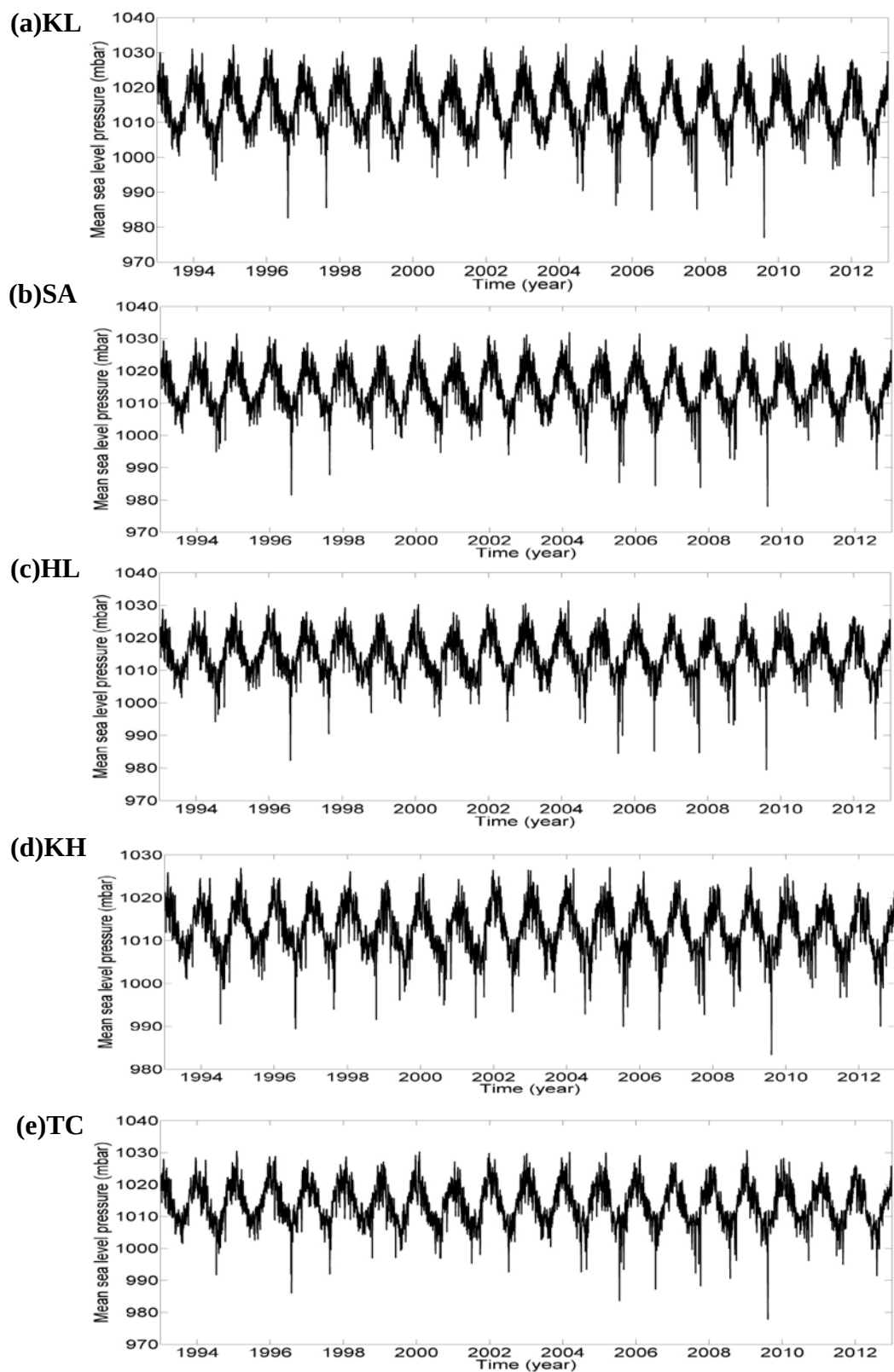


圖 2-7 CWB 基隆(a)、蘇澳(b)、花蓮(c)、高雄(d)、臺中(e)等國內五大商港海域之海面日平均氣壓

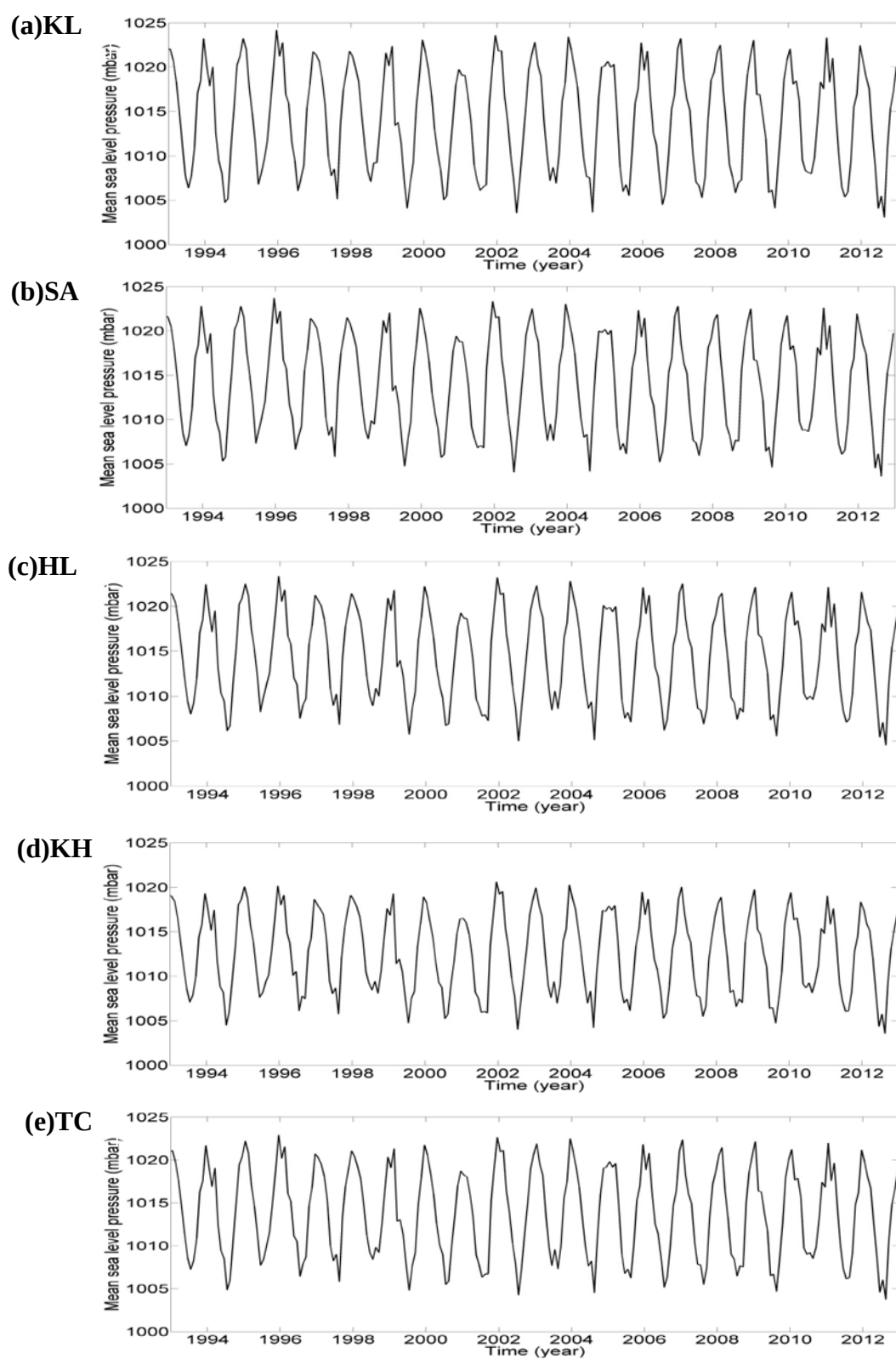


圖 2-8 CWB 基隆(a)、蘇澳(b)、花蓮(c)、高雄(d)、臺中(e)等國內五大商港海域之海面月平均氣壓

第三章 基準偏移校正前之基本潮位紀錄處理

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 2-1，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(莊 等，2006；張 等，2013)資訊。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(郭 等，2014)，亦即是進行通稱之海潮改正，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)效應而降、昇，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，將相關處理流程，逐項列如圖 3-1 所示。

3.2 海潮改正

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(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)，應用最小二乘法(least square error method)，首先，透過擬合(fitting)程序，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，即可完成海潮改正。

以圖 2-3 所示基隆、蘇澳、花蓮、高雄、臺中等國內五大商港驗潮站之逐時平均紀錄為基礎，應用式(3-1)分別進行各港之海潮改正，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，再進行逐日及逐月平均，並與自原始逐時潮位紀錄直接作逐日及逐月平均所得之近似去潮成果(莊 等，2007)相互對照比較，結果分別如圖 3-3 及圖 3-4 所示。

綜合觀察圖 3-3 及圖 3-4 可知，原始逐時潮位紀錄，經海潮改正後，其逐日及逐月平均之低頻海平面逐時變動時序，實際與自原始逐時潮位紀錄直接作逐日及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，或直接作逐日及逐月平均去潮，均可有效掌握低頻之海平面變動率。

此外，針對國內五大商港驗潮站之原始及經海潮改正後之逐時潮位紀錄(參見圖 2-3 及圖 3-2)，分析其在海潮改正前後之標準偏差值(STD)，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。

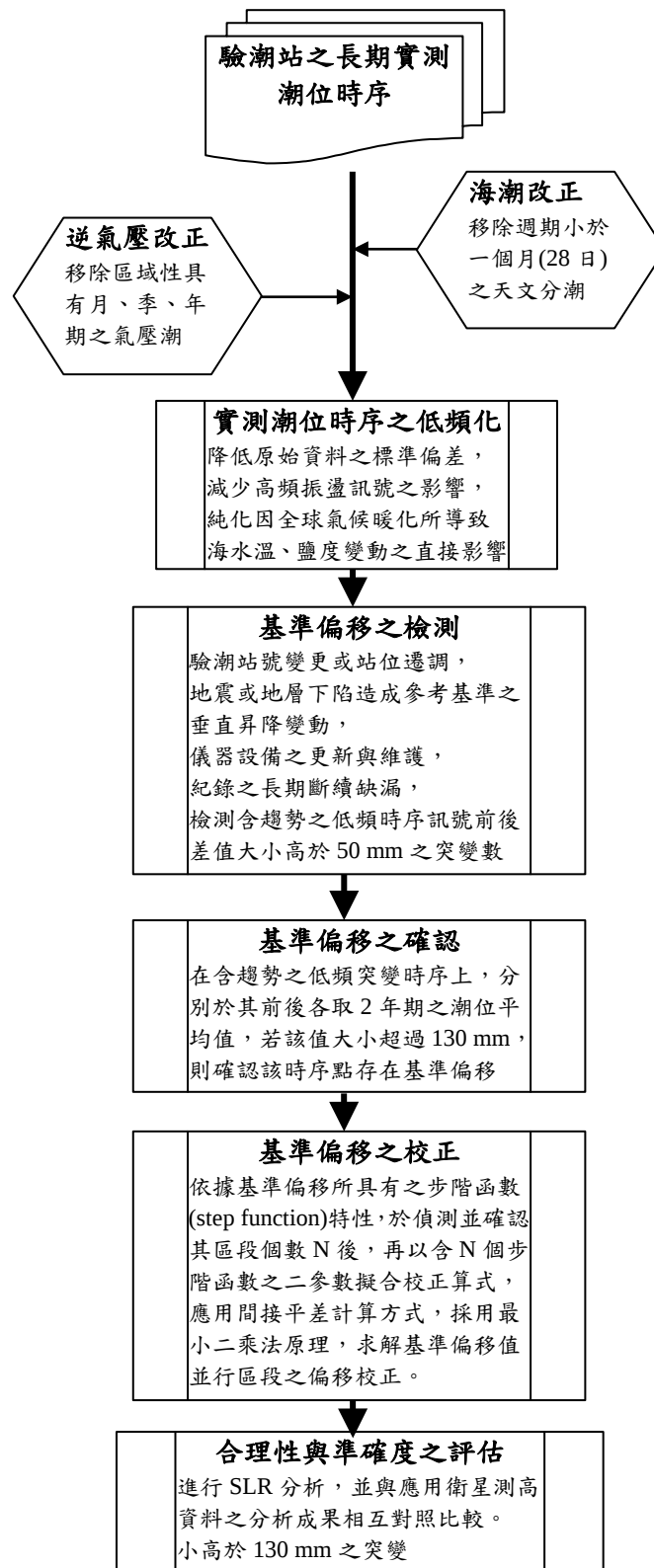


圖 3-1 潮位基準偏移校正之流程

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
蘇澳	406	137
花蓮	403	123
高雄	315	214
臺中港	1376	186

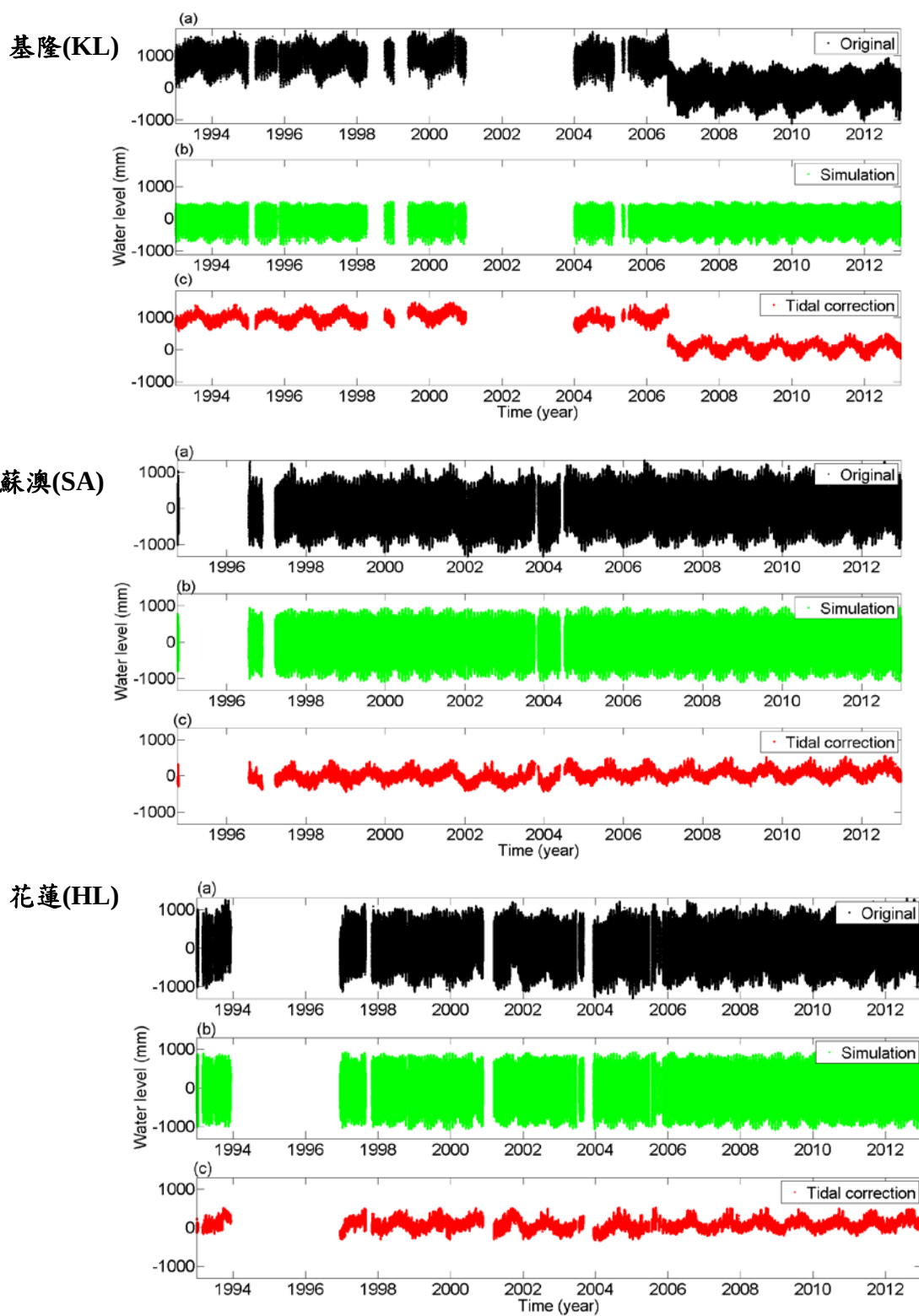


圖 3-2 基隆(KL)、蘇澳(SA)、花蓮(HL)驗潮站之原始逐時潮位紀錄(a)及經以擬合之高頻海潮(b)進行海潮改正後之逐時潮位(c)

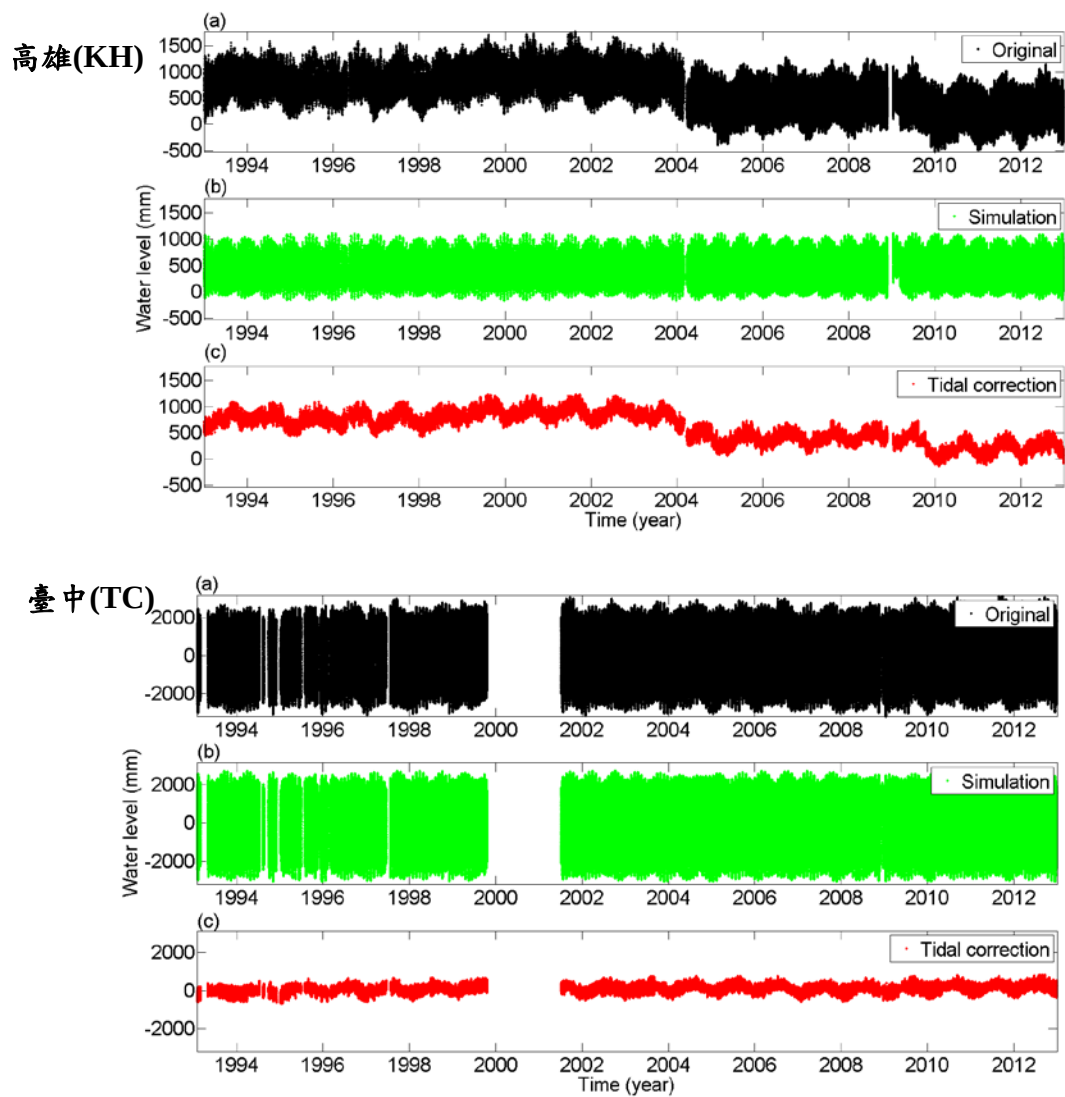


圖 3-2(續) 高雄(KH)、臺中(TC)驗潮站之原始逐時潮位紀錄(a)及經以擬合之高頻海潮(b)進行海潮改正後之逐時潮位(c)

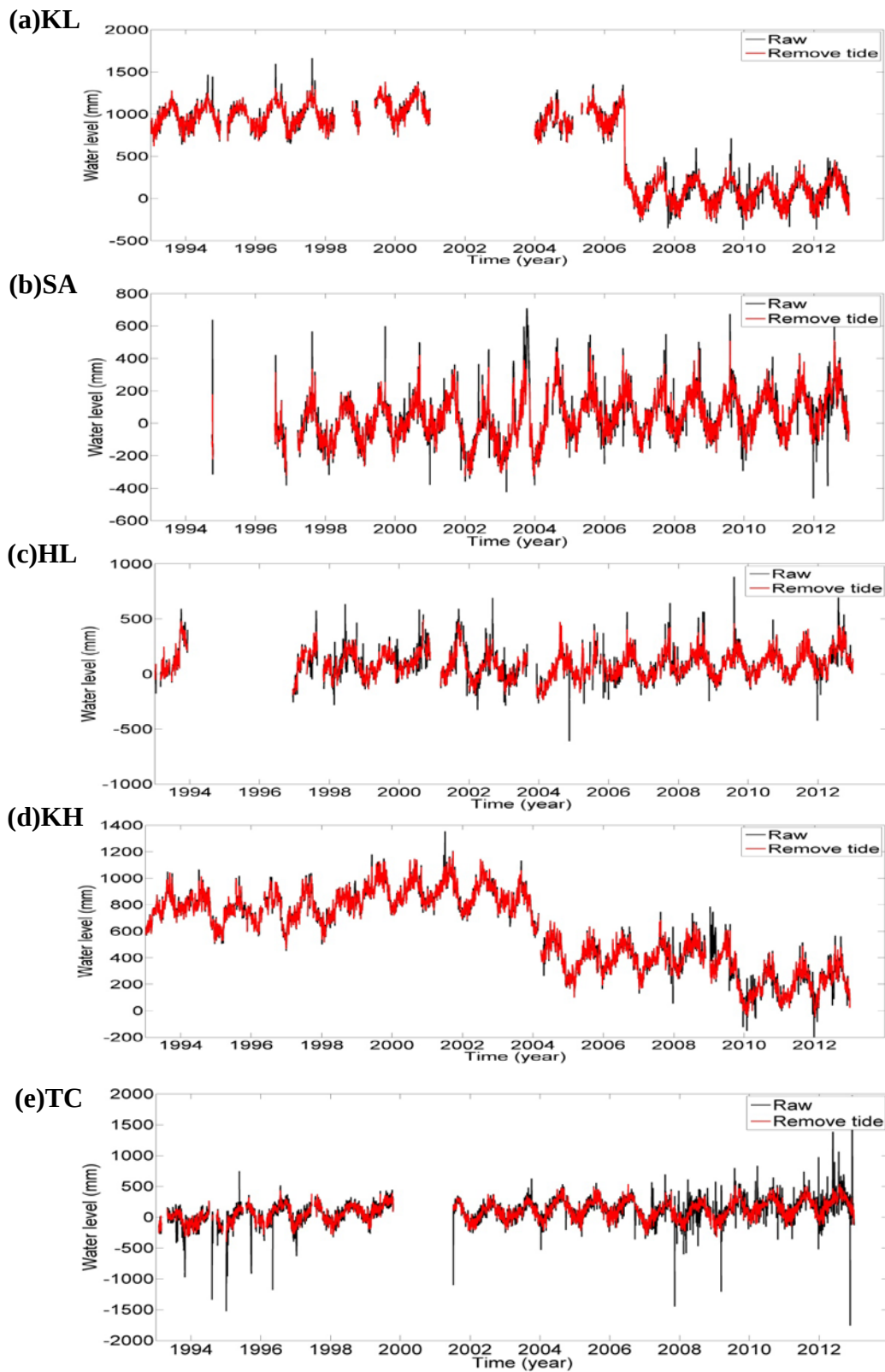


圖 3-3 基隆(KL)、蘇澳(SA)、花蓮(HL)、高雄(KH)、臺中(TC)驗潮站
原始(黑)及經海潮改正後(紅)之逐日平均潮位比較

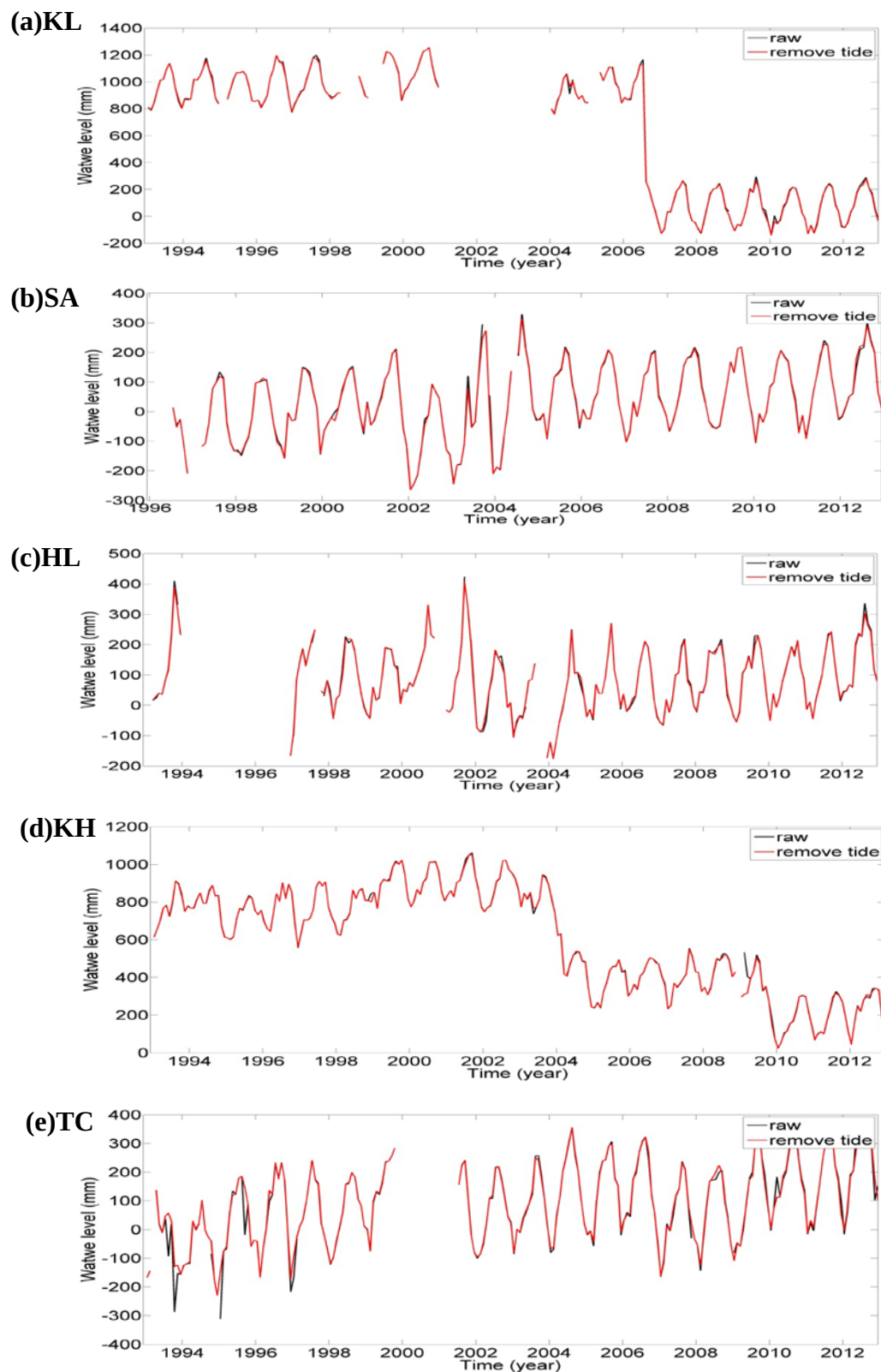


圖 3-4 基隆(KL)、蘇澳(SA)、花蓮(HL)、高雄(KH)、臺中(TC)驗潮站
原始(黑)及經海潮改正後(紅)之逐月平圖均潮位比較

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 2-6、圖 2-7 及圖 2-8、圖 2-9 所示。

再以圖 3-3 及圖 3-4 所示基隆、蘇澳、花蓮、高雄、臺中等國內五大商港海域驗潮站經海潮改正後之逐日及逐月平均潮位紀錄(實際與圖 2-4 及圖 2-5 之原始逐日及逐月平均潮位紀錄相近似)為基礎，首先依據式(3-2)計算逆氣壓效應，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及逐月平均潮位時序紀錄，分別如圖 3-5 及圖 3-6 所示。由圖綜合觀察可知，經逆氣壓改正前後所得逐日及逐月平均之低頻海平面逐時變動時序，實際相差甚小。

再針對圖 2-4 與圖 3-4 所示國內五大商港驗潮站之逐日平均潮位紀錄，各別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。配合表 3-3 及圖 3-4 與圖 3-5 觀察可見，逆氣壓改正對低頻海平面變動率之影響，實際應甚有限。

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
蘇澳	130	94
花蓮	117	94
高雄	277	272
臺中	146	106

(a)KL

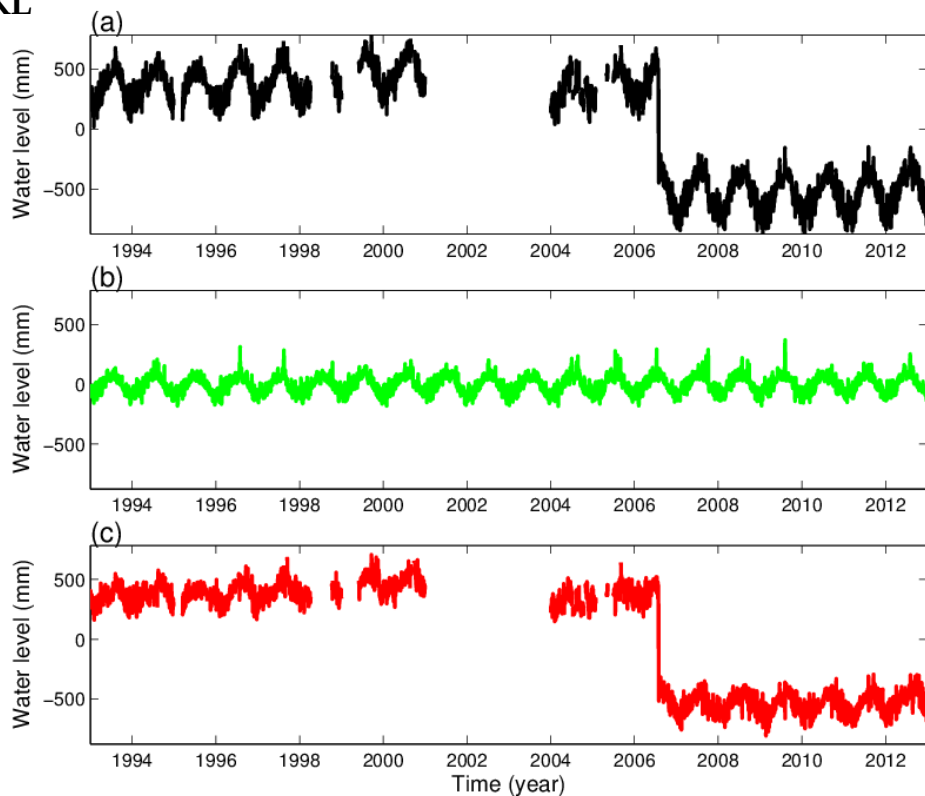
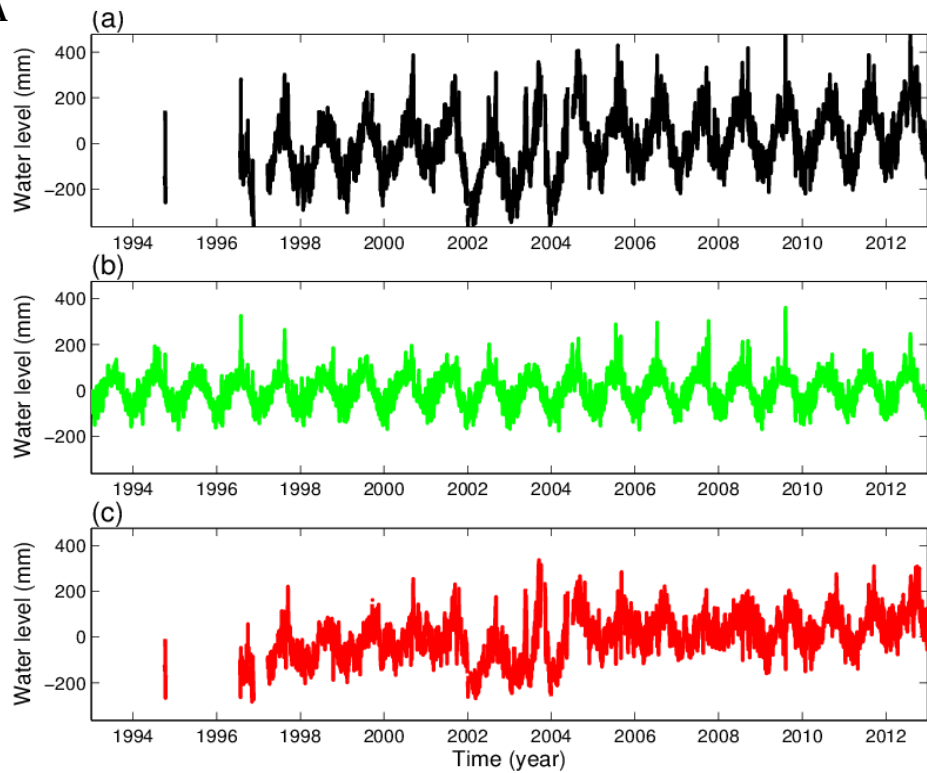


圖 3-5 基隆(KL)驗潮站之逐日平均潮位紀錄(a)及逆氣壓效應(b)與進行逆氣壓改正後之逐日潮位時序(c)

(b)SA



(c)HL

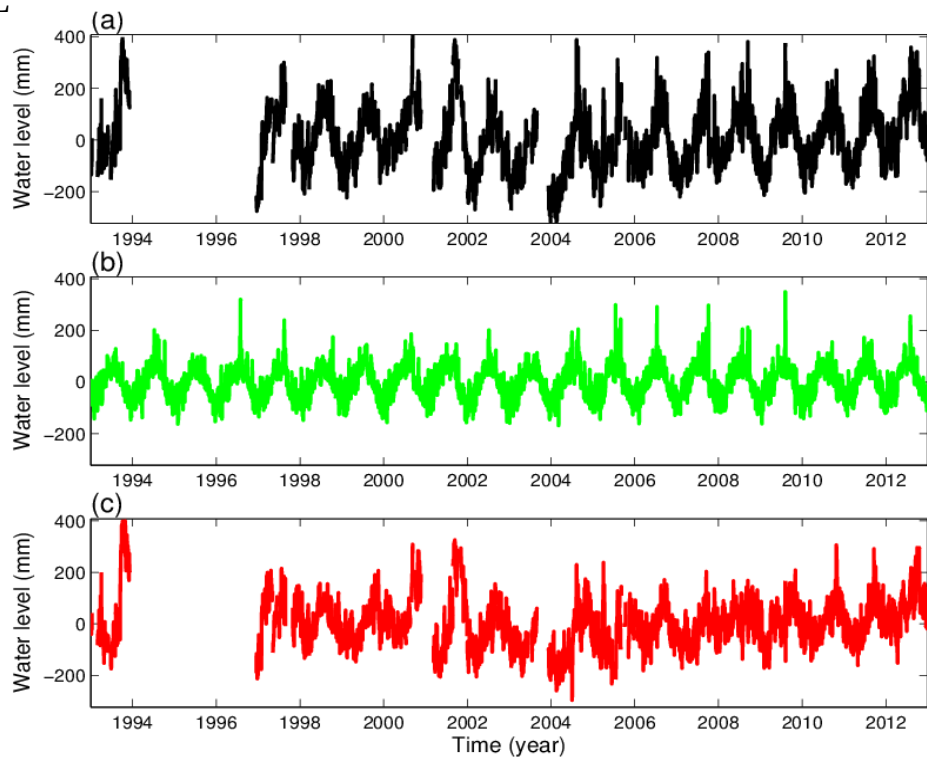
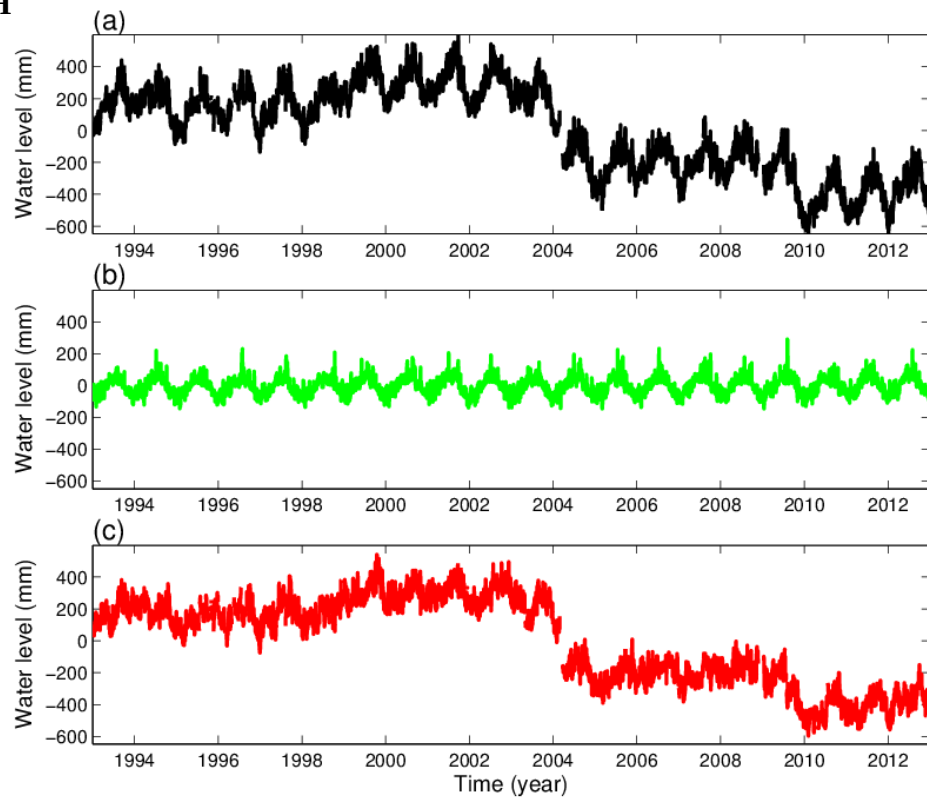


圖 3-5(續) 蘇澳(SA)及花蓮(HL)驗潮站之逐日平均潮位紀錄(a)及逆氣壓效應(b)與進行逆氣壓改正後之逐日潮位時序(c)

(d)KH



(e)TC

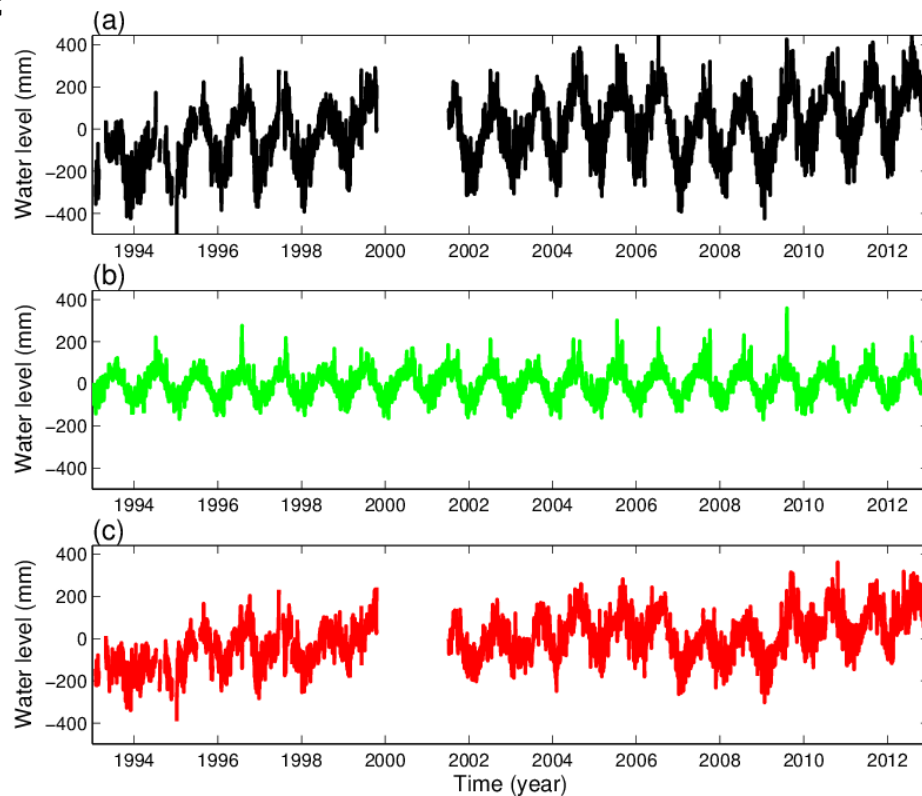


圖 3-5(續) 高雄(KH)及臺中(TC)驗潮站之逐日平均潮位紀錄(a)及逆氣壓效應(b)與進行逆氣壓改正後之逐日潮位時序(c)

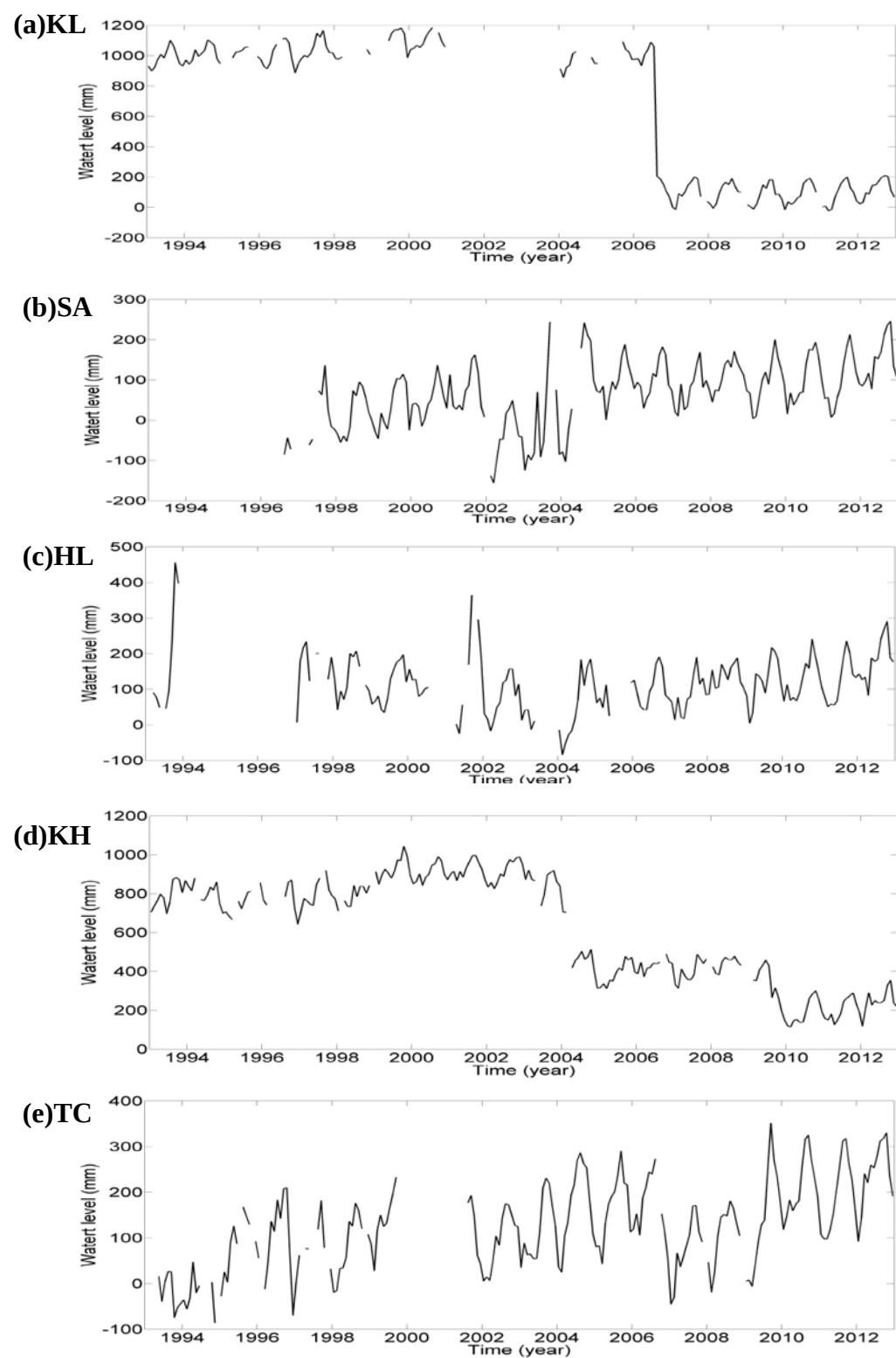


圖 3-6 基隆(KL)、蘇澳(SA)、花蓮(HL)、高雄(KH)、臺中(TC)驗潮站
經逆氣壓改正後之逐月潮位時序(c)

第四章 潮位觀測基準之偏移與改正

4.1 基準偏移概述

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，如圖 2-2 至圖 2-5 中基隆港與高雄港驗潮站近二十年期之逐時潮位紀錄。

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相關之應用分析前，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。

4.2 基準偏移之檢測

參考近二十年期(1993~2012) UHSLC 與 PSMSL_Metric 潮位資料庫在圖 2-2 中所示基隆與高雄驗潮站之逐月平均紀錄，以及基隆、蘇澳、花蓮、高雄、臺中等國內五大商港驗潮站在圖 2-5 中所示之逐月平均紀錄，對於基準偏移之初步檢測，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 2-1 至表 2-3 所示，即可能因為潮位監測儀器變動或遷調而導致基準偏移。
- (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)。惟一般之觀測記錄，通常存在長短不一之斷續缺漏期間。以中央氣象局之基隆、蘇澳、花蓮、高雄、臺中、成功、東石、塭港、澎湖、及新竹等

10 個驗潮站潮位紀錄為例，發生斷續缺漏期間超過一個月的紀錄，共約有 172 次，平均每個驗潮站即有 17 次。在配合實務作業考量下，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) 應用已移除海潮與逆氣壓效應之逐月平均潮位紀錄。
- (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計算方式，依最小二乘法原理，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) 移除缺漏，促使時序壓縮而連續，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，俾突顯低頻訊號中，可能因基準偏移所產生突衝(spike)之時序。
- (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，再透過預先設定門檻值之比較，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，取約 2 年之特定期間，計算其相對偏差值，而當其超過預先設定之鑑識門檻值時，則可確認有基準偏移發生，並需作後續之基準偏移改正。至於該鑑識門檻值，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。

以圖 2-5 所示基隆、蘇澳、花蓮、高雄、臺中等國內五大商港驗潮站之逐月平均紀錄為例，依循上列實質基準偏移之確認檢測程序，則在移除海潮與逆氣壓效應後，各港之逐月平均潮位紀錄，可得如圖 3-5 所示；接著，應用六參數擬合方法，移除年週期與半年週期等長週期季節性潮位訊號後，可得各港用以進行基準偏移偵測之逐月平均潮位紀錄，分別如圖 4-1 所示；最後，以哈爾小波進行分頻之分解，進行基準偏移偵測與確認之結果，分別如圖 4-2 所示。

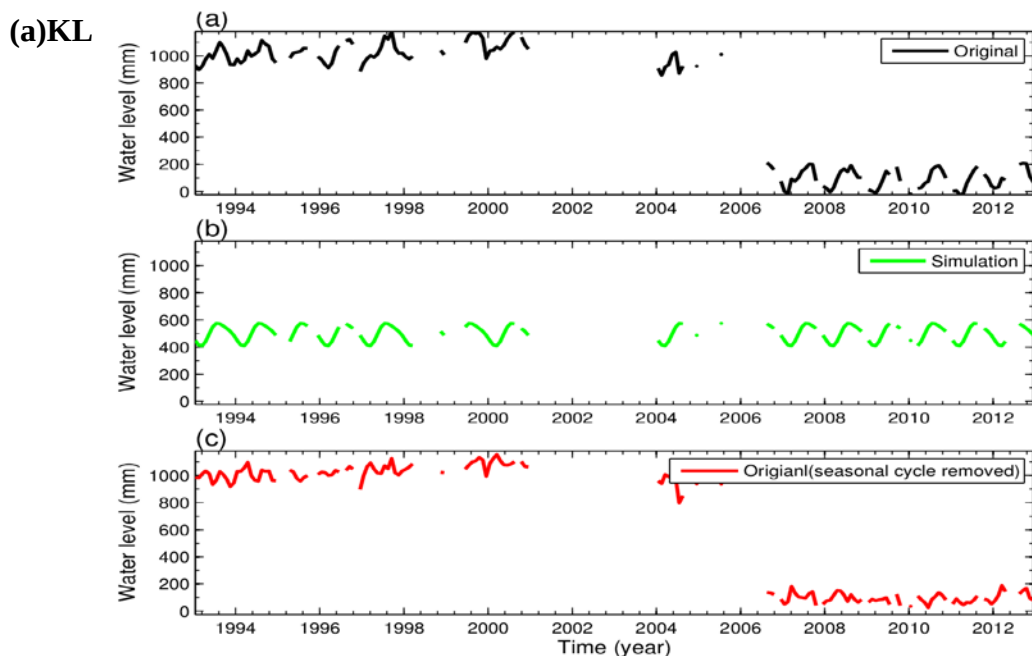
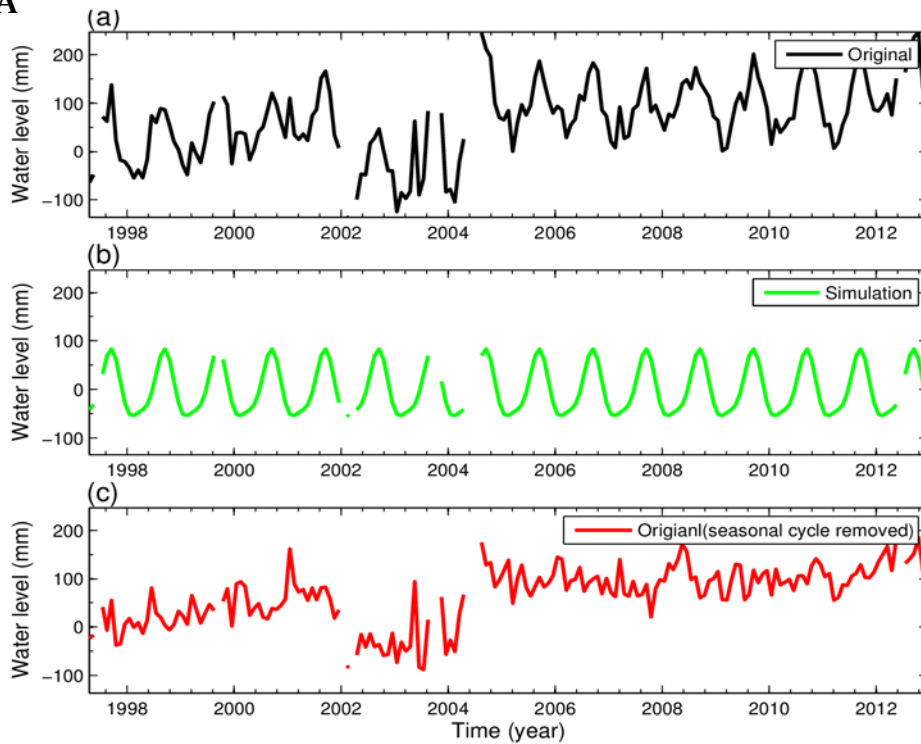


圖 4-1 基隆驗潮站在移除海潮與逆氣壓效應後之逐月平均紀錄(a)與應用六參數擬合方法所得季節週期性之潮位訊號(b)及用以進行基準偏移偵測之逐月平均潮位紀錄(c)

(b)SA



(c)HL

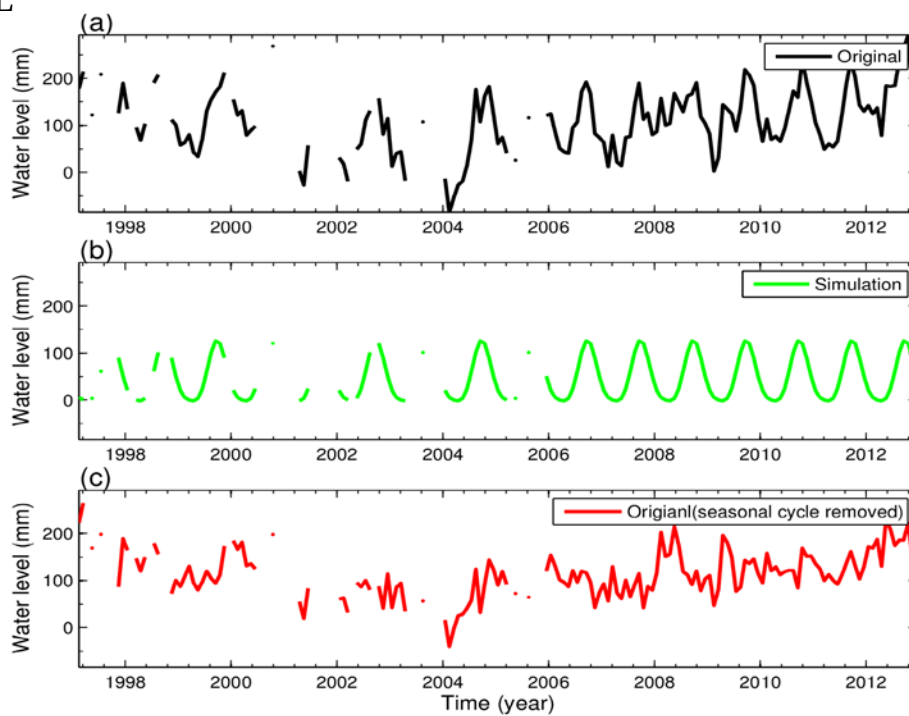
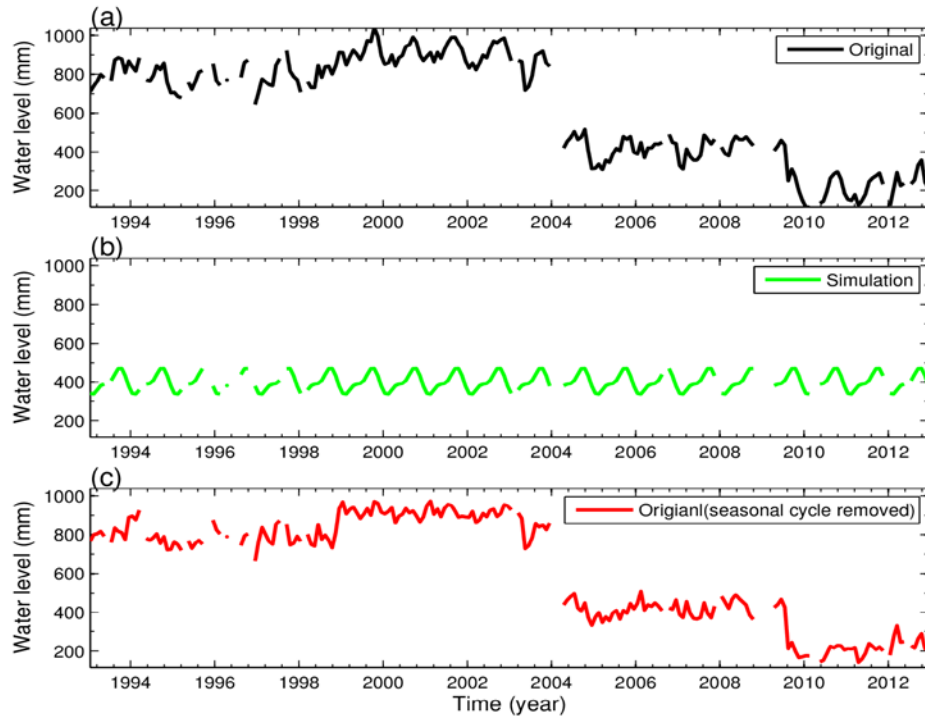


圖 4-1(續) 蘇澳(上)及花蓮(下)驗潮站在移除海潮與逆氣壓效應後之逐月平均紀錄(a)與應用六參數擬合方法所得季節週期性之潮位訊號(b)及用以進行基準偏移偵測之逐月平均潮位紀錄(c)

(d)KH



(e)TC

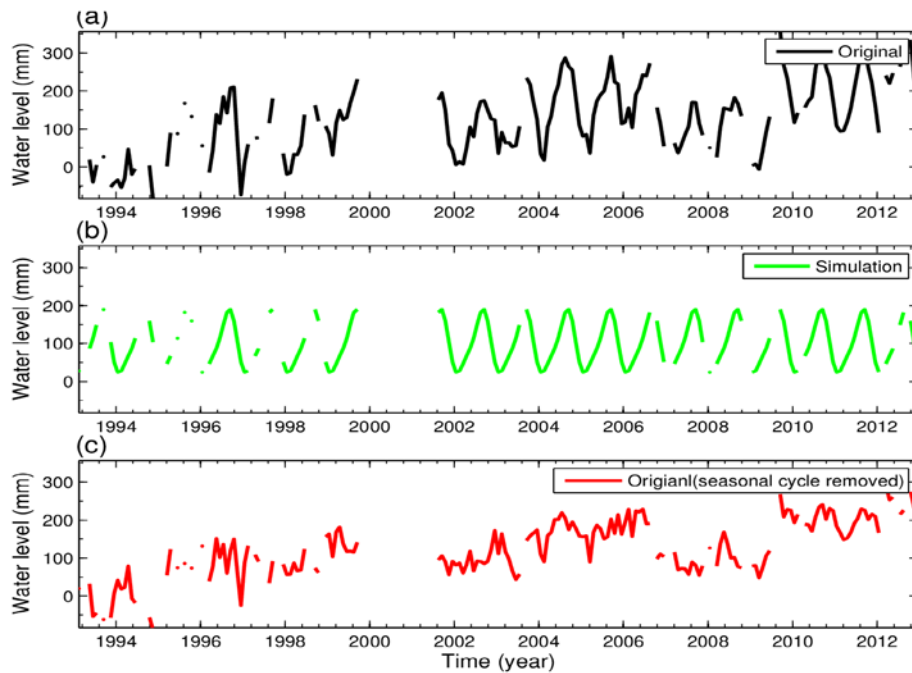
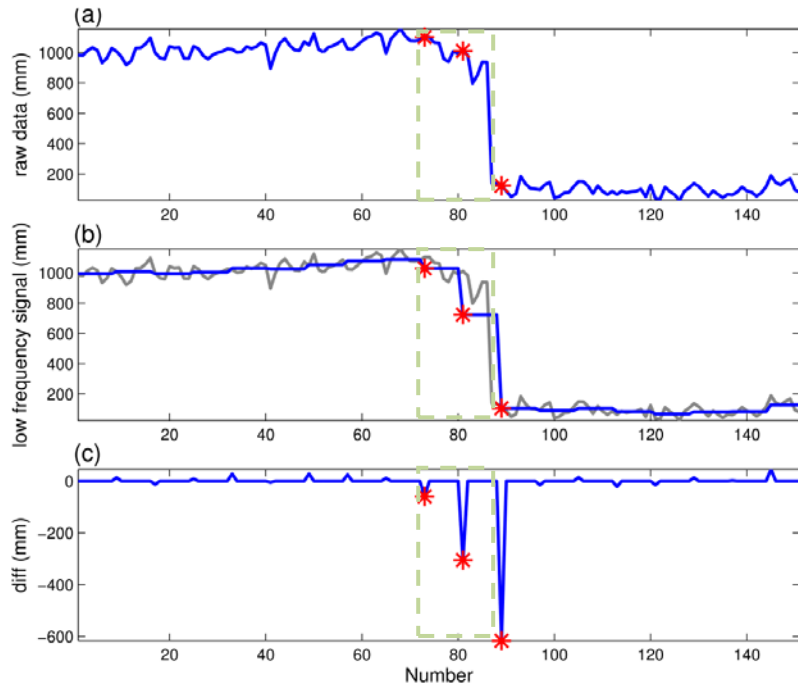


圖 4-1(續) 高雄(上)及臺中(下)驗潮站在移除海潮與逆氣壓效應後之逐月平均紀錄(a)與應用六參數擬合方法所得季節週期性之潮位訊號(b)及用以進行基準偏移偵測之逐月平均潮位紀錄(c)

(a)KL



(b)SA

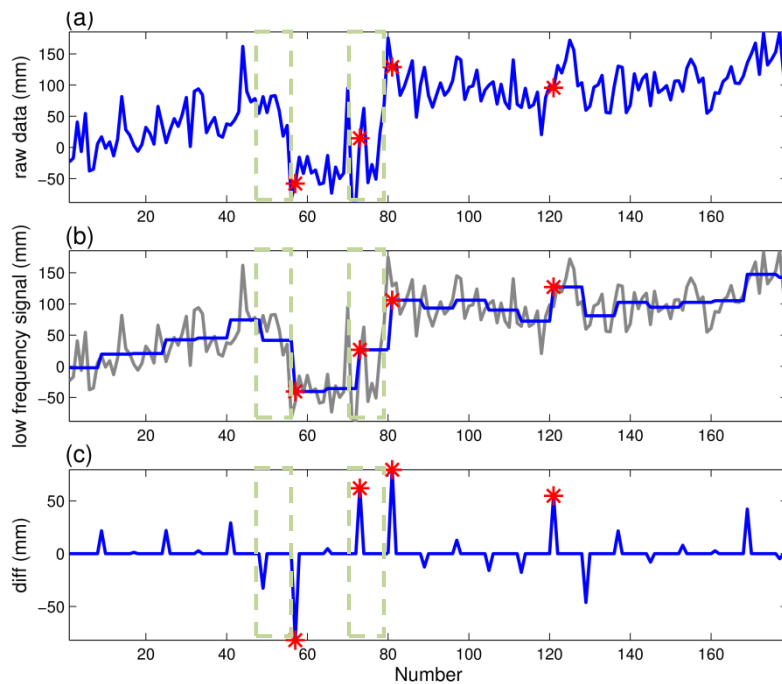
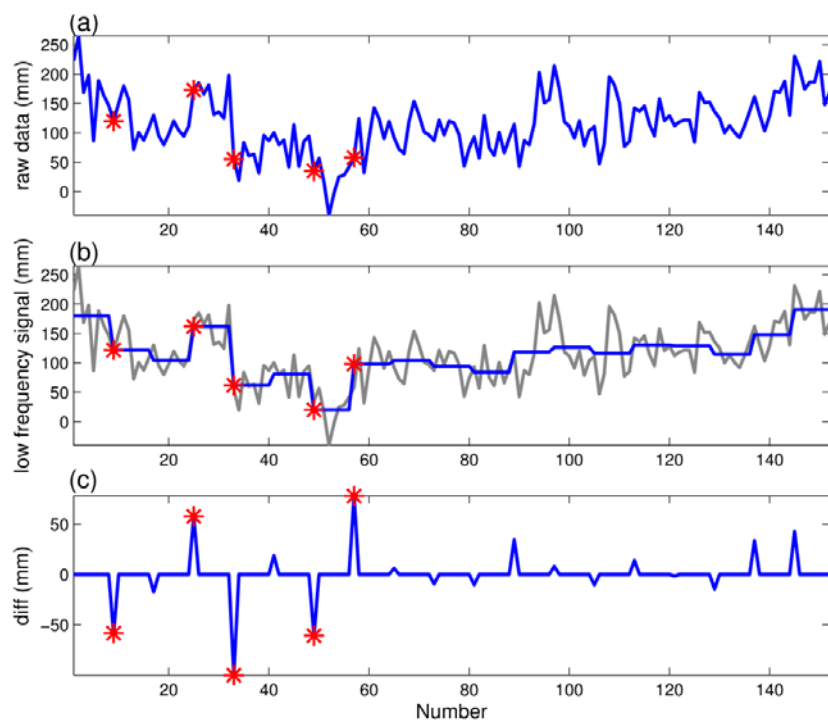


圖 4-2 基隆(上)及蘇澳(下)驗潮站進行基準偏移偵測前之逐月平均潮位紀錄(a)及作分頻分解後之低頻時序(b)與其逐時序相鄰訊號突衝差值(c)。紅色星點表示可能之偏移點位；綠色界框為偏移期間。

(c)HL



(d)KH

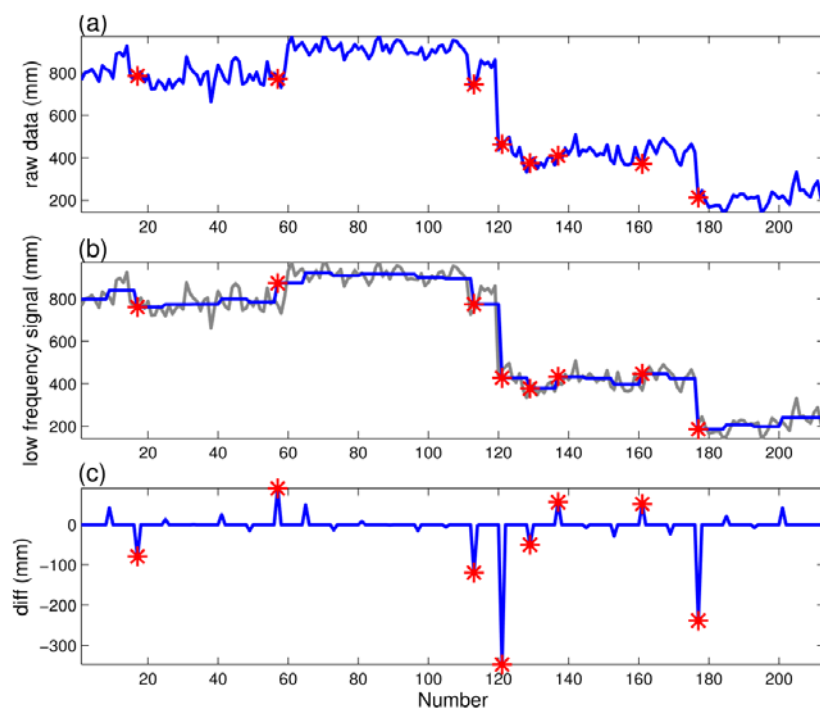


圖 4-2(續) 花蓮(上)及高雄(下)驗潮站進行基準偏移偵測前之逐月平均潮位紀錄(a)及作分頻分解後之低頻時序(b)與其逐時序相鄰訊號突衝差值(c)。紅色星點表示可能之偏移點位。

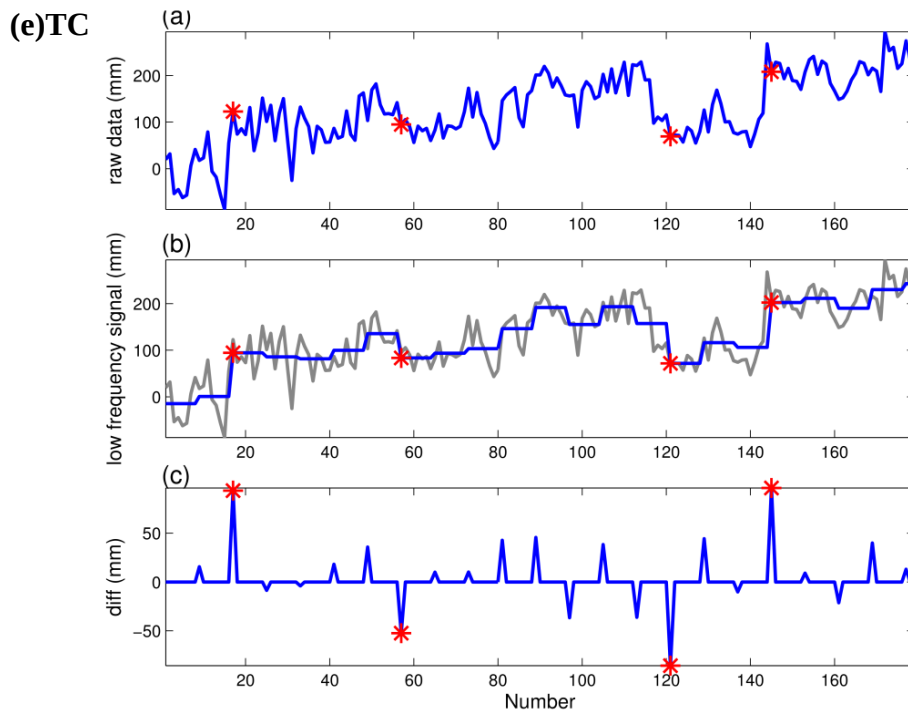


圖 4-2(續) 臺中驗潮站進行基準偏移偵測前之逐月平均潮位紀錄(a)及作分頻分解後之低頻時序(b)與其逐時序相鄰訊號突衝差值(c)。紅色星點表示可能之偏移點位。

4.3 基準偏移之改正

針對圖 4-1 所示基隆、蘇澳、花蓮、高雄、臺中等國內五大商港驗潮站經海潮與逆氣壓效應改正及移除季節週期性潮位訊號後之逐月平均紀錄，於完成圖 4-2 所示之基準偏移偵測後，再綜合驗潮站號變更與紀錄斷續缺漏兩項初步基準偏移檢測結果，因此，可總合判定基準偏移之總數(N)及其對應之發生時序(t_j)。接著，設定 N 個基準偏移數之校正量，分別可用大小為 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 N 個步階函數 Δ_j 或基準偏移校正量；而 c_0 與 c_1 分別即為依據潮位時序估算 SLR 之平均值及平均年變率(趨勢)。

採用上列二參數擬合之基準偏移校正方法，則圖 4-1 所示基隆、蘇澳、花蓮、高雄、臺中等國內五大商港驗潮站經海潮與逆氣壓效應改正及移除季節週期性潮位訊號後之逐月平均紀錄，其偏移之基準，分別可校正如圖 4-3 所示。相關校正前、後之時序與標準偏差(STD)比較，分別如圖 4-4 與表 4-1 所示。至於在進行基準改正計算中，其 N 個步階函數 Δ_j 之大小，與直接作分段平均之平均值差異，則可比較如表 4-2 所示。

表 4-1 應用含步階函數之二參數擬合法進行基準偏移量改正前、後之標準偏差(STD)比較

驗潮站名	改正前 STD (mm)	改正後 STD (mm)
基隆	465	74
蘇澳	81	68
花蓮	79	74
高雄	272	59
臺中港	96	115

應用含步階函數之二參數擬合法進行基準偏移量改正後，首先，由圖 4-4 觀察可見，基隆、蘇澳、花蓮、高雄、臺中等國內五大商港驗潮站之逐月平均紀錄，其基準偏移量，不論偏移之大小，似皆可進行調校。特別是約於 2003 年以後，基隆與高雄驗潮站基準所共同具有之明顯偏移。

其次，由表 4-1 觀察比較可知，在基準偏移校正前、後，其標準偏差(STD)明顯會減小。減小幅度，以基隆與高雄驗潮站最顯著。但在臺中港，標準偏差值反而些微增大，主要原因，應是全期間逐月平均潮位紀錄，受式(4-2)中之較大斜率(c_1)影響，或即具有最大年變率之故。

最後，由表 4-2 觀察比較可知，針對各港全期間逐月平均潮位紀錄，依據其預先判定之基準偏移總數(N)進行分段，再分段直接計算其平均值，則其與應用含步階函數之二參數擬合法進行基準偏移量改正所得之分段步階函數值，實際上並不相同，或彼此具有差異，造成差異之主要原因，依據式(4-2)亦可確認，其亦應是受斜率(c_1)或平均年變率影響之故。

表 4-2 應用含步階函數之二參數擬合法進行基準偏移量改正所得之分段步階函數值及以直接平均計算所得之平均值比較

驗潮站名	步階區段	偏移量(mm)	平均值(mm)
基隆	1	1002	1013
	2	1056	1095
	3	905	930
	4	887	1011
	5	13	96
蘇澳	1	16	38
	2	- 83	-42
	3	44	117
	4	9	105
花蓮	1	93	106
	2	46	114
高雄	1	784	792
	2	902	914
	3	794	834
	4	397	421
	5	181	220
臺中港	1	-25	-21
	2	27	96
	3	-34	141
	4	-148	95
	5	-71	217

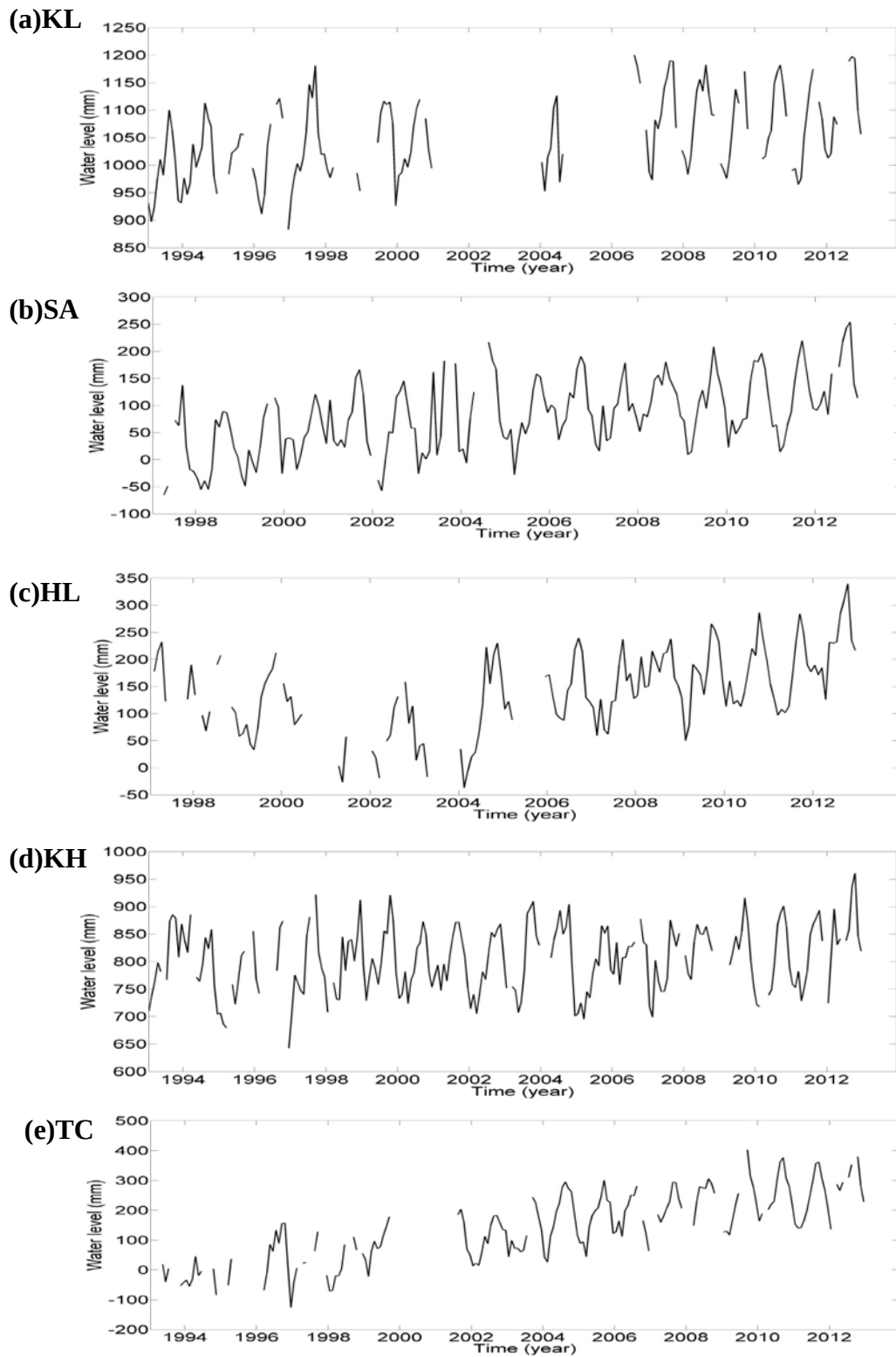


圖 4-3 基隆(KL)、蘇澳(SA)、花蓮(HL)、高雄(KH)、臺中(TC)等國內五大商港驗潮站進行基準偏移校正後之逐月平均潮位時序

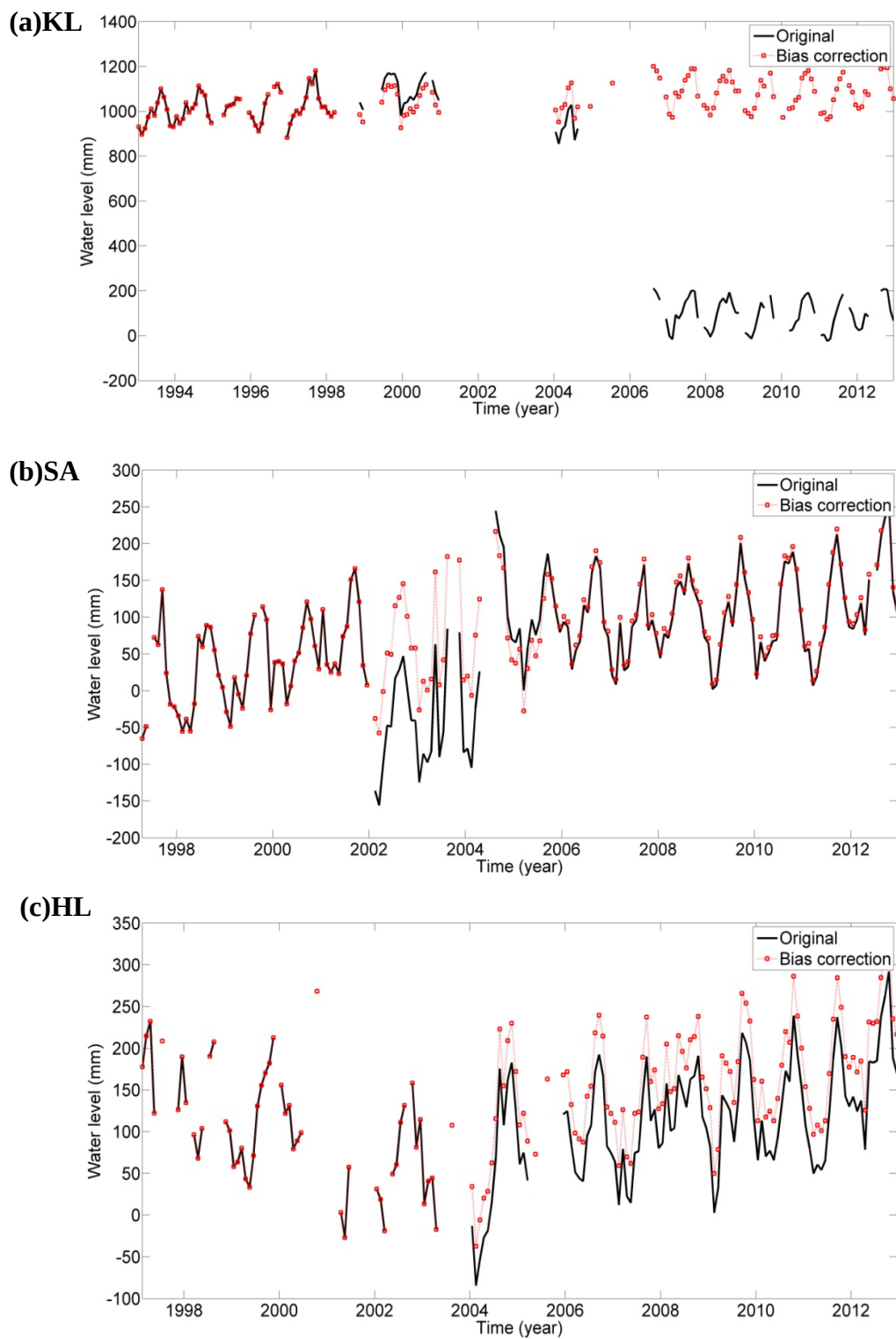
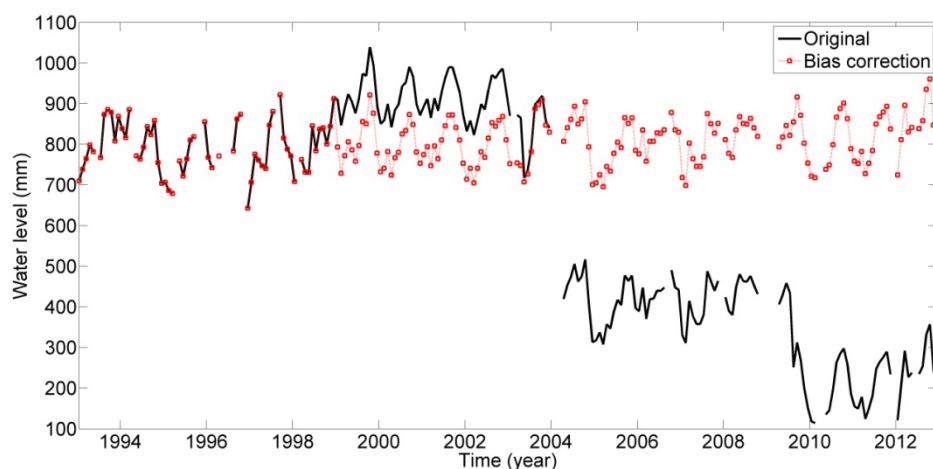


圖 4-4 基隆(上)、蘇澳(中)及花蓮(下)驗潮站進行基準偏移校正前(黑)、後(紅)之逐月平均潮位時序比較

(d)KH



(e)TC

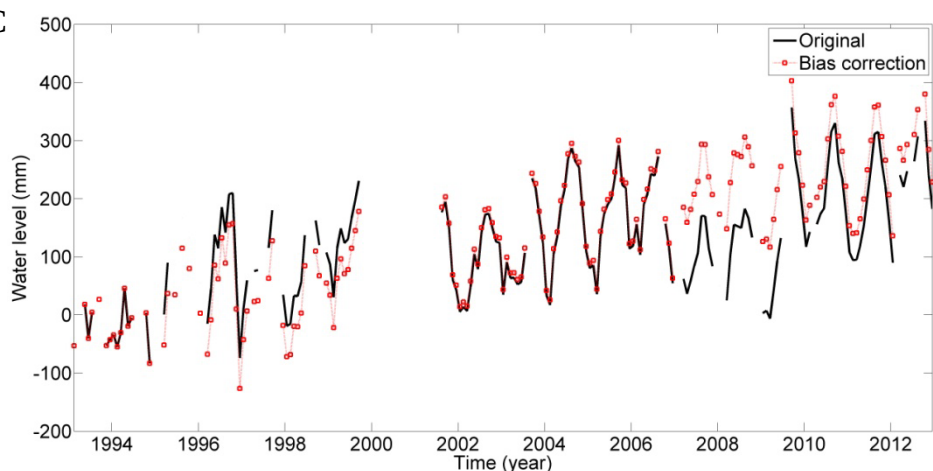


圖 4-4(續) 高雄(上)、臺中(下)驗潮站進行基準偏移校正前(黑)、後(紅)之逐月平均潮位時序比較

4.4 偏移改正準確度評估與 SLR 分析

驗潮站之潮位觀測基準，通常係相對性地參考陸岸固定之水準點高程，因此，長期性之實測潮位紀錄，其觀測基準不僅會因觀測儀器必要的定期維護或更新而變動，甚且會因劇烈的地殼升降作用(如地震)或緩和的地層下陷效應而移位。所以，就工程應用與海岸環境之衝擊而言，應用實測潮位紀錄評估近岸海域受全球暖化所導致 SLR 之影響

與衝擊，在完成必要之人為性基準偏移改正後，實際應將自然性的區域站位垂直變動因素，直接綜合納入計量。

以基隆、蘇澳、花蓮、高雄、臺中等國內五大商港驗潮站(相關站位資訊參見第二章)近二十年期間(1993~2012)經海潮改正、逆氣壓改正、及人為性基準偏移改正後所得之逐月平均潮位時序(參見圖 4-3)為依據，在將自然性的區域站位實際垂直變動因素直接納入計量下，本節將進行各港站位之平均海平面上升(SLR)趨勢分析，並藉與相關研究結果之對照比較，評估本研究所提基準偏移改正之有效性與準確度。

依據圖 4-3 所示國內五大商港驗潮站之逐月平均潮位時序，假定各港之 SLR 趨勢皆可應用簡單的二參數擬合線性迴歸公式表示，則仿照式(4-2)，並移除式中用以校正基準偏移量之 N 個步階函數 Δ_j 後，可得

$$TG_{SLR}(t) = C + St \dots\dots\dots(4-3)$$

式中， C 為迴歸常數或起始時間之截距； s 即為平均海平面升降年變率或 SLR 趨勢值。

仍然採用附錄一所示之間接平差計算方式，依最小二乘法原理，求解式(4-3)，因而可得圖 4-3 中各港之平均海平面升降年變率(mm/yr)或 SLR 趨勢，分別為基隆 4.87 ± 0.40 ；蘇澳 7.94 ± 0.52 ；花蓮 5.93 ± 0.86 ；高雄 1.75 ± 0.47 ；臺中 15.71 ± 0.51 ，而其 SLR 趨勢與逐月平均潮位時序之對應關聯性，則可綜合如圖 4-5 所示。

將上列國內五大商港驗潮站近 20 年期間(1993~2012)之 SLR 趨勢，與近 20 年全球海面平均約 3 mm/yr 的 SLR 年變率(IPCC, 2013)相比較，可明顯看出，除了高雄驗潮站 SLR 年變率偏低外，其他各港均大幅超越，年變率甚至可達 2 倍以上。主要原因，推測其係因驗潮站位之相對參考高程基準，實際上含括有區域性地層下陷作用或地殼升降變動之影響。至於，高雄驗潮站 SLR 年變率偏低之主要原因，除了前列驗潮站位之相對參考高程基準升降變動影響外，尚可能係因在應用含步階函數之二參數擬合法進行

基準偏移量改正程序中，由於各分段之步階函數值，皆與應用直接平均計算所得之平均值，彼此甚相近似，且相互最大差值均不及 50 mm，參見表 4-2，以致有過度之基準偏移校正所致。

為有效避免驗潮站位因實際區域性地層下陷或地殼升降作用所造成相對參考高程基準之變動影響，也為克服基準偏移之過度校正問題，郭 等(2015)曾結合法國 AVISO (Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic)衛星測高資料，各別以基隆(KL)、蘇澳(SA)、花蓮(HL)、高雄(KH)、臺中(TC)等國內五大商港驗潮站位為中心，5°之地理半徑，計算各港近 20 年期平均海面之逐月變化，同時，計算其 SLR 年變率，相關結果，如圖 4-6 所示。

將圖 4-5 與圖 4-6 所示國內五大商港驗潮站位之平均海平面升降年變率相互比較，結果可進一步整理如表 4-3 所示。由表觀察可見，國內五大商港驗潮站近二十年期間(1993~2012)之逐月平均潮位，經海潮改正、逆氣壓改正、及基準偏移改正後所計算之 SLR 趨勢，普遍會大於應用衛星測高資料之分析結果。這說明依據僅具有相對參考高程基準之驗潮站位實測資料，即使經過基準偏移校正，但其實際上仍含括有區域性地層下陷作用或地殼升降變動之影響。至於，高雄驗潮站偏低之 SLR 年變率，經對照比較，證實係過度之基準偏移校正所致。

表 4-3 國內五大商港驗潮站位應用基準校正前、後之逐月潮位時序與應用 AVISO 衛星測高資料計算近 20 年期之平均海平面升降年變率或 SLR 趨勢

驗潮站名	基準偏移校正 前之 SLR (mm/yr)	基準偏移校正 後之 SLR (mm/yr)	AVISO 地理半徑 5° 衛星測高之 SLR (mm/yr)
基隆	-59.17±3.15	4.87±0.40	3.16±0.36
蘇澳	9.54±0.91	7.94±0.52	3.20±0.37
花蓮	1.81±0.86	5.93±0.86	3.20±0.39
高雄	-37.31±1.95	1.75±0.47	4.49±0.36
臺中	9.52±0.79	15.71±0.51	3.45±0.43

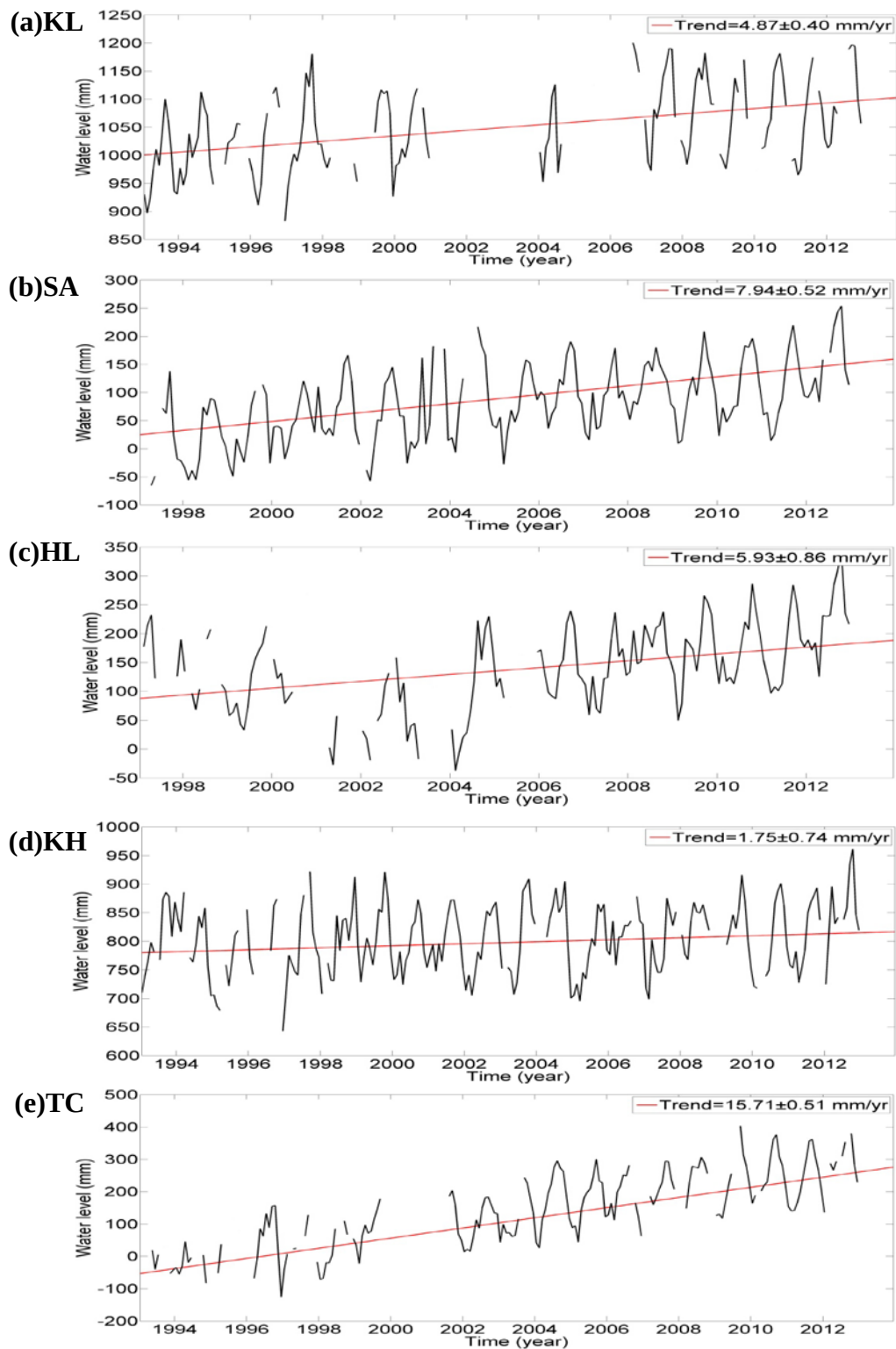


圖 4-5 基隆(KL)、蘇澳(SA)、花蓮(HL)、高雄(KH)、臺中(TC)等國內五大商港驗潮站之逐月平均潮位時序(黑)與其 SLR 趨勢(紅)

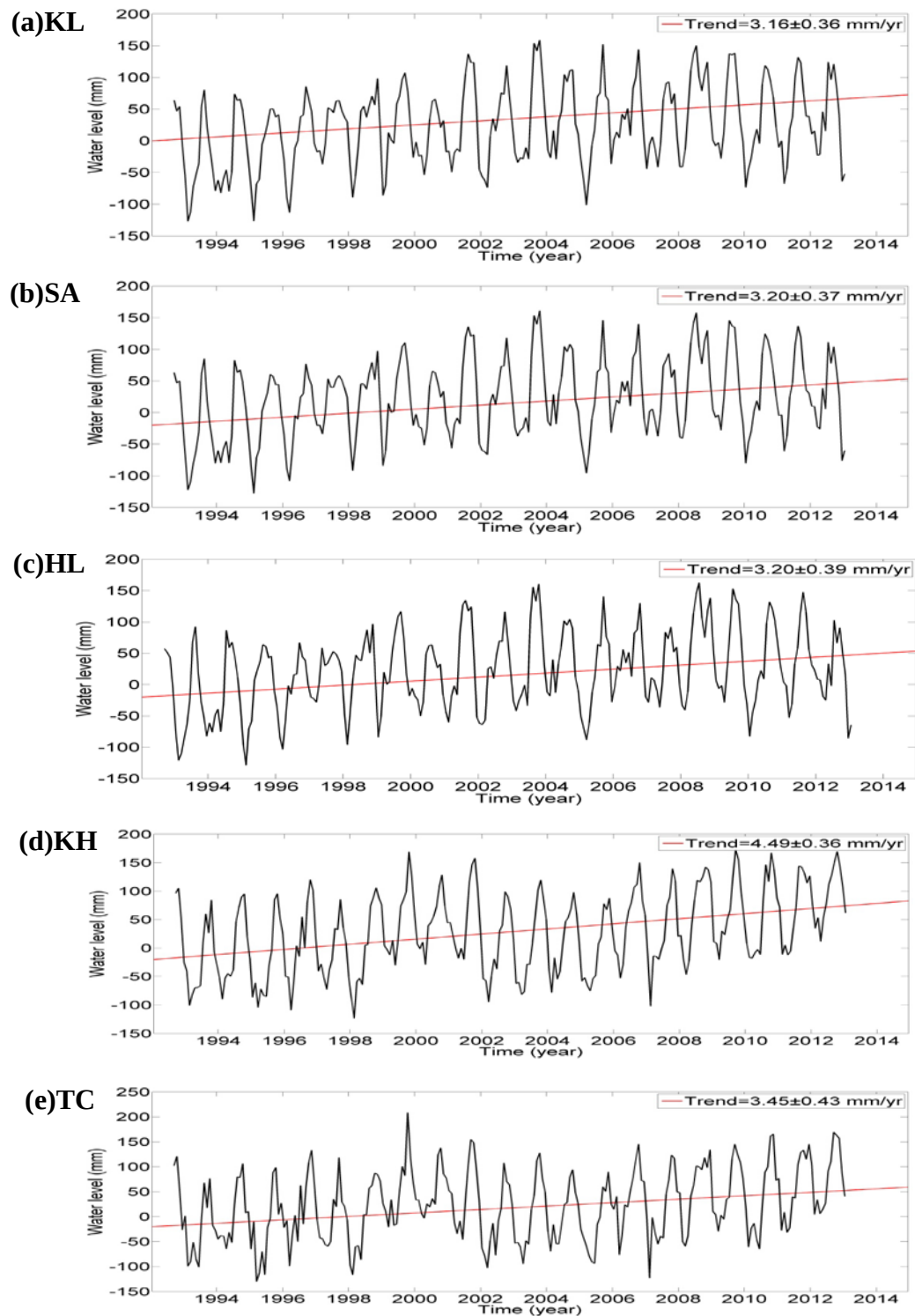


圖 4-6 基隆(KL)、蘇澳(SA)、花蓮(HL)、高雄(KH)、臺中(TC)驗潮站應用法國 AVISO 衛星測高資料分別計算近 20 年期之平均海面逐月變化(黑)與其 SLR 年變率(紅)(郭 等，2015)

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。

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。

本研究之主要研究方法為依據中央氣象局在基隆、蘇澳、花蓮、高雄、臺中等國內五大商港驗潮站所收錄近二十年(1993-2012)之逐時平均潮位實測紀錄，評估採用含步階函數之二參數擬合線性間接平差方法進行潮位基準偏移校正之效能，進而分析臺灣環島各重要港口海域，因全球暖化、氣候變遷所引致平均海平面上升(SLR)之年變動率與趨勢。

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；建立完整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。

5.1 結論

針對基隆、蘇澳、花蓮、高雄、臺中等國內五大商港驗潮站近二十年(1993-2012)之逐時平均潮位紀錄，進行並完成「臺灣近岸驗潮站潮位基準偏移量校正方法之研究」後，所得主要之結論，綜述如后：

- (1) 國內五大商港驗潮站近二十年(1993-2012)之逐時平均潮位紀錄，因不定期觀測儀器之更新與維護，大多存在數個期間長、短不等之缺漏，更存在有觀測基準之偏移現象。
- (2) 國內五大商港驗潮站之長期性逐時潮位紀錄，經海潮改正與逆氣改正後所得之逐月平均潮位紀錄，實際上與直接進行月平均之資料處理結果甚相近似，這顯示進行海潮改正與逆氣改正並非必要，而且對 SLR 分析之影響性甚為有限。
- (3) 對於國內五大商港驗潮站之長期性逐時潮位紀錄，應用哈爾小

波(Haar wavelet)可作高、低頻訊號之分頻分解，其中，約第三層次分頻之低頻(近似)訊號，充分地具有訊號突衝(spike)或基準偏移資訊。

- (4) 針對經分頻分解之就低頻(近似)訊號，逐時序計算相鄰訊號之差值或突衝，當特定時序之突衝大小超過 50 mm 之預定門檻值時，即可篩選可能發生基準偏移之時序。
- (5) 在可能發生基準偏移之突衝時序前後，各以 2 年期距計算其平均值，若其差值大小再超過 130 mm，即可判定該時序上，確定有基準偏移產生。
- (6) 對於國內五大商港驗潮站之長期性逐月潮位紀錄，於確定基準偏移總數後，可以含步階函數之二參數擬合線性間接平差方法，有效進行潮位基準偏移量之校正。
- (7) 國內五大商港驗潮站近二十年(1993-2012)之逐月平均潮位紀錄，經校正潮位基準偏移後，即可進行 SLR 分析，從因可得各港之平均海平面升降年變率(mm/yr)或 SLR 趨勢，分別為基隆 4.87 ± 0.40 ；蘇澳 7.94 ± 0.52 ；花蓮 5.93 ± 0.86 ；高雄 1.75 ± 0.47 ；臺中 15.71 ± 0.51 。
- (8) 國內五大商港驗潮站近 20 年之平均海平面升降年變率(mm/yr)或 SLR 趨勢，與全球海面平均約 3 mm/yr (IPCC, 2013)或與郭等(2015)應用具有絕對高程基準之衛星測高資料分析之結果(基隆 3.16 ± 0.36 ；蘇澳 3.20 ± 0.37 ；花蓮 3.20 ± 0.39 ；高雄 4.49 ± 0.36 ；臺中 3.45 ± 0.43)相互參照比較，可明顯看出，除了高雄驗潮站 SLR 年變率偏低外，其他各港均大幅超越，較大之年變率，甚至可達 2 倍以上。這意謂僅管基準偏移可採用二參數擬合線性間接平差方法進行校正，但受區域長期性地層下陷作用或地殼升降變動之影響，依據潮位紀錄進行 SLR 分析，將促使 SLR 趨勢普遍偏大。

- (9) 採用含步階函數之二參數擬合線性間接平差方法進行潮位基準偏移校正，儘管總體效能尚佳，但若各分段基準偏移改正之步階函數值，與直接平均計算之平均值，其相對差值大小均低於 50 mm 時，即會衍生基準偏移之過度校正現象。而這應即是高雄驗潮站 SLR 年變率偏低之主要原因。

5.2 建議

- (1) 潮位基準偏移對進行 SLR 分析具有極顯著影響。因此，對於數目不定且偏移程度大小不一之基準偏移，相關自動偵測與判別之技術，以及改正方法，均應強化研究。
- (2) 當驗潮站位之分段基準偏移改正步階函數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，如何確立判定準則？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：發表國內期刊論文 2 篇、研討會論文 2 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、UHSLC 與中央氣象局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，在綜合海潮效應、逆氣壓效應、及地殼之造山陸昇與地層

下陷等效應下，提出潮位基準偏移校正之有效方法，並將臺灣環島海域長期性的潮位紀錄，較準確可靠地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年期(十年)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，就基隆、蘇澳、花蓮、高雄、臺中等國內五大商港驗潮站之分區特性，提供近二十年期間含海潮效應、逆氣壓效應、及地殼之造山陸昇與地層或基準下陷等效應之詳實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、李忠潘教授、李兆芳教授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. 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.
17. Rahmstorf, S. (2007) "A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise," *Science*, 315(5810), pp.368-370.
18. Schwartz, M.L. (2005) "Encyclopedia of Coastal Science," Dordrecht, The Netherlands: Springer, pp.1-1086.
19. 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.
20. 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.
21. 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.
22. 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.
23. 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.
24. Wunsch, C. (1972) "Bermuda sea level in relation to tides, weather and baroclinic fluctuations," *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 10, pp.1-49.
25. Wunsch, C., and D. Stammer (1997) "Atmospheric loading and the oceanic "inverted barometer" effect," *Reviews of Geophysics*, 35, pp.79-107.
26. Yanagi, T., and T. Akaki (1994) "Sea Level Variation in the Eastern Asia," *Journal of Oceanography*, 50, pp.643-651.
27. Zhang, 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).
28. 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。
29. 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。
30. 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。
31. 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。

32. 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。
33. 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。
34. 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。
35. 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*。
36. 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*。
37. 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。
38. 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。
39. 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。
40. 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*。
41. 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。
42. 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。
43. 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。
44. 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。
45. 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。
46. 中國國家海洋局 (2010)，「2009 年中國海平面公報」。
47. 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。
48. 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。

49. 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。
50. 林立青、張憲國、梁茂昌、黃鵬 (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。
51. 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。
52. 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。
53. 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。
54. 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。
55. 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。
56. 莊文傑、李俊穎、藍文浩 (2014), 「全球暖化引致臺灣海域海面水位升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-H3DB004b 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。
57. 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。
58. 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。
59. 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。
60. 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

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

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 $\sum_{\hat{x}\hat{x}}$ ，分別為

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

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

式中， $\hat{\sigma}_0$ 係為 σ_0 之估計值，且

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

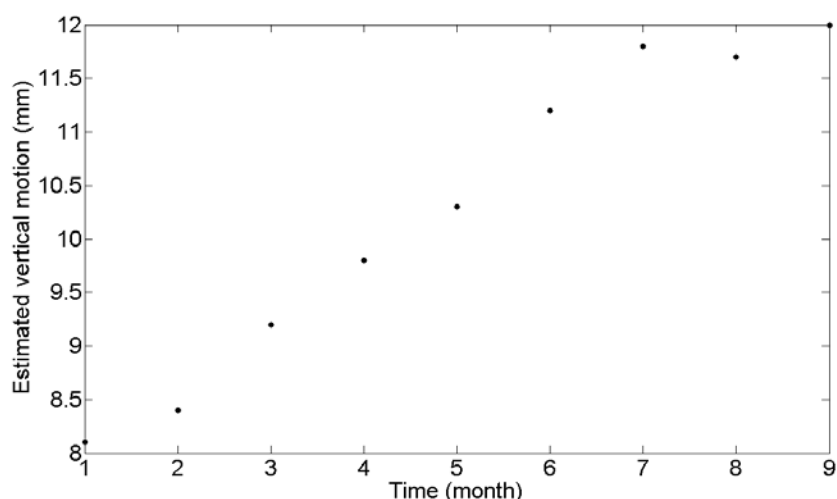
至於參數估計值之標準偏差，其可直接將中誤差 $\sum_{\hat{x}\hat{x}}$ 開根號後即得。

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 $V^T PV$ 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

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

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

而

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

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 $\sum_{\hat{X}\hat{X}}$ 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

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

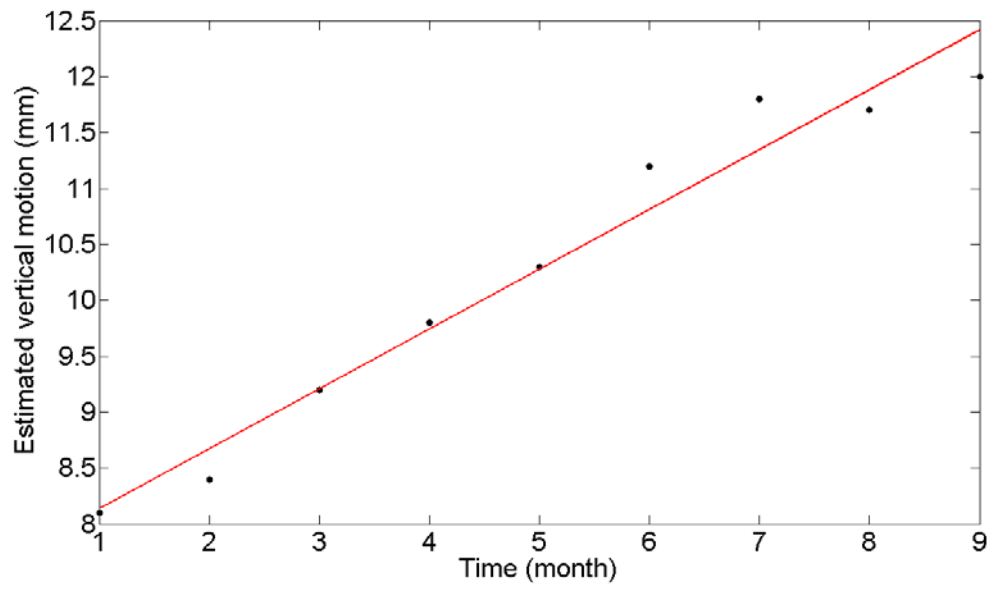
$$\hat{\Sigma}_{\hat{x}\hat{x}} = \begin{bmatrix} 0.0484 & -0.0076 \\ -0.0076 & 0.0015 \end{bmatrix} \dots\dots\dots (附 1-13)$$

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

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

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

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

PowerPoint 投影片放映 - [103_全球暖化引發臺灣海域海面水位昇降變動率之評估研究(2-4)_期末報告審查_簡報.ppt (簡報模式)] - Microsoft PowerPoint

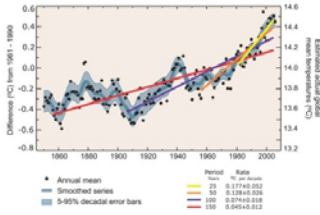
交通部運輸研究所/港灣技術研究中心
103 年度政府科技計畫期末報告審查

全球暖化引發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—

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副研究員
 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

PowerPoint 投影片放映 - [103_全球暖化引發臺灣海域海面水位昇降變動率之評估研究(2-4)_期末報告審查_簡報.ppt (簡報模式)] - Microsoft PowerPoint

全球暖化引發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—

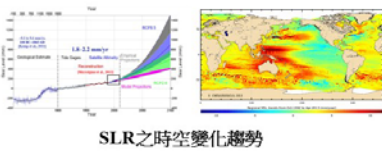
研究緣起與目的

面對全球暖化、氣候變遷課題：

- IPCC(2013)推估，21世紀全球平均海平面上升(sea level rise, SLR)很可能會超過1901~2010年間所觀測到約 1.9 mm/yr 的年變率；而在近20年間，全球平均的SLR約為3 mm/yr。2013 IPCC AR5 預測2100 SLR最高可達 0.98 m，即約9.8 mm/yr [Church et al., 2013]。
- SLR之時、空變化趨勢差異。

問題與挑戰：

- 一般而言，研究海平面上升變化之兩種主要觀測量為潮位站與衛星測高資料。其中，潮位站之資料，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率之變動，故常應用於SLR之分析。
- 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，常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，如何偵測與調校，俾可應用於SLR分析？



SLR之時空變化趨勢

2

PowerPoint 投影機放映 - [103_全球暖化引發臺灣海域海面水位昇降變動率之評估研究(2-4)_郭永祥報告_簡報b.ppt (簡報模式)] - Microsoft PowerPoint

研究方法

■ **潮位基準偏移，可類比於低頻訊號之變動。**

■ 應用先期合作研究之經驗與成果：

- 綜整基隆、蘇澳、花蓮、高雄、臺中等國內五大商港驗潮站近二十年(1993-2012)之逐時潮位紀錄。
- 將各港驗潮站之長期性逐時潮位紀錄，進行含 海潮改正 與 逆氣壓改正 之逐月平均資料處理；
- 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、低頻訊號之分頻分解；再就低頻(近似)訊號之突衝(spike)，藉預定門檻值，篩選及確定發生基準偏移之時序與數目。
- 基準偏移之改正：

總計基準偏移總數，再以含步階函數之二參數擬合(fitting)線性間接平差方法，進行潮位基準偏移量之改正；
- 基準偏移改正後之準確性評估：

藉與衛星測高資料之SLR分析結果(郭 等，2015)作對應比較，評估基準偏移改正方法之效能。

全球暖化引發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

投影片 3/11

PowerPoint 投影機放映 - [103_全球暖化引發臺灣海域海面水位昇降變動率之評估研究(2-4)_郭永祥報告_簡報b.ppt (簡報模式)] - Microsoft PowerPoint

國內五大商港驗潮站近二十年(1993-2012)之逐時潮位紀錄

潮位資料庫：

- (1) 中華民國中央氣象局(CWB)；
每6分鐘及每小時平均一筆。
- (2) 英國平均海面永久服務中心(PSMSL)；
RLR_Metric；每月平均一筆。
- (3) 美國夏威夷大學海水位中心(UHSLC)；
每日平均一筆。

驗潮站潮位紀錄特性：

- ◆ 觀測基準相對於陸岸基點之水準高程；
- ◆ 複合海潮效應、逆氣壓效應、地殼垂直變動(造山陸昇、地層下陷)效應！
- ◆ 長期潮位紀錄含 缺漏、基準偏移！

全球暖化引發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

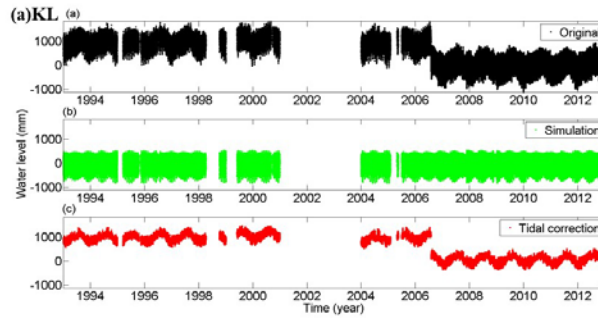
(a) KL
(b) SA
(c) HL
(d) KH
(e) T

投影片 4/11

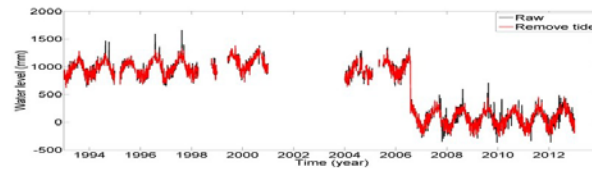
海潮效應與改正

- ◆ 移除短週期(小於28日)天文潮
- ◆ 調和分析

$$TG(t) = a_0 + a_1 t + \sum_{i=1}^{37} [A_i \sin(\omega_i t) + B_i \cos(\omega_i t)]$$
- ◆ 移動平均、或逐日、逐月平均



原始逐時潮位紀錄(a)及經以擬合之高频海潮(b)進行海潮改正後之逐時潮位(c)



驗潮站原始(黑)及經海潮改正後(紅)之逐日平均潮位比較

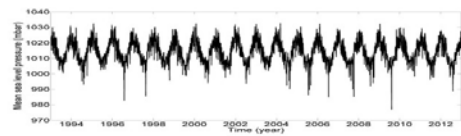
逆氣壓效應及其改正

- ◆ 移除颱風等季節性高、低氣壓所引起之海平面變動。
- ◆ 逆氣壓效應或氣壓潮(mb~cm)

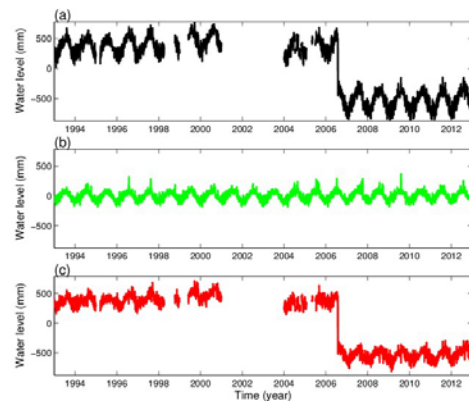
$$IBe = -9.948 \times (P_{slm} - P_{ref})$$

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



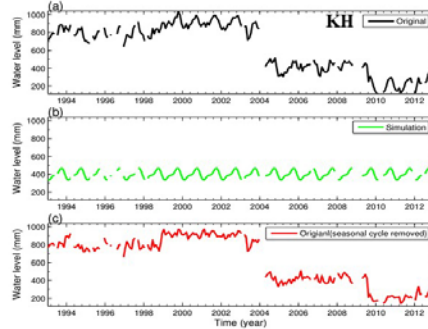
海面氣壓之日平均變化



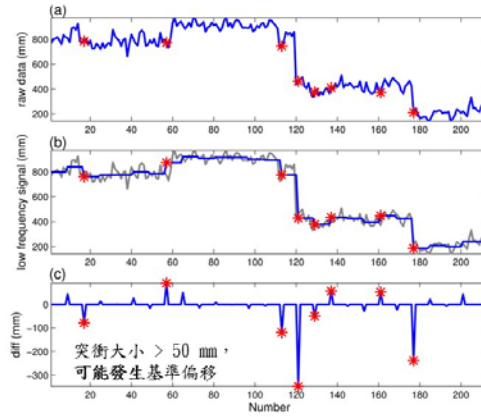
逐日平均潮位紀錄(a)及逆氣壓效應(b)與進行逆氣壓改正後之逐日潮位時序(c)

潮位基準偏移偵測

偵測：針對逐月平均資料，應用哈爾小波(Haar wavelet)，先行作高、低頻訊號之分頻分解；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，確有基準偏移產生。



高雄驗潮站在移除海潮與逆氣壓效應後之逐月平均紀錄(a)與應用六參數擬合方法所得季節週期性之潮位訊號(b)及用以進行基準偏移偵測之逐月平均潮位紀錄(c)

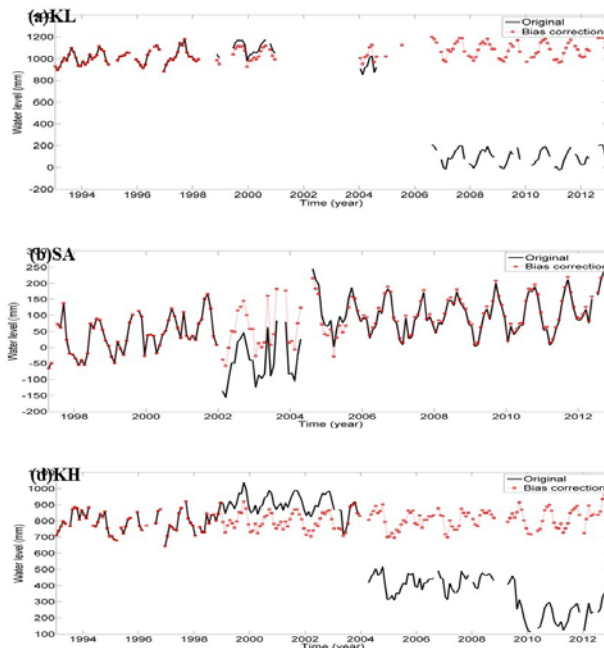


潮位基準偏移改正

改正：總計基準偏移總數，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；

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

驗潮站名	步階區段	偏移量(mm)	平均值(mm)
基隆	1	1002	1013
	2	1056	1095
	3	905	930
	4	887	1011
	5	13	96
蘇澳	1	16	38
	2	-83	-42
	3	44	117
	4	9	105
花蓮	1	93	106
	2	46	114
高雄	1	784	792
	2	902	914
	3	794	834
	4	397	421
	5	181	220
臺中港	1	-25	-21
	2	27	96
	3	-34	141
	4	-148	95
	5	-71	217



基準偏移改正後之準確性評估

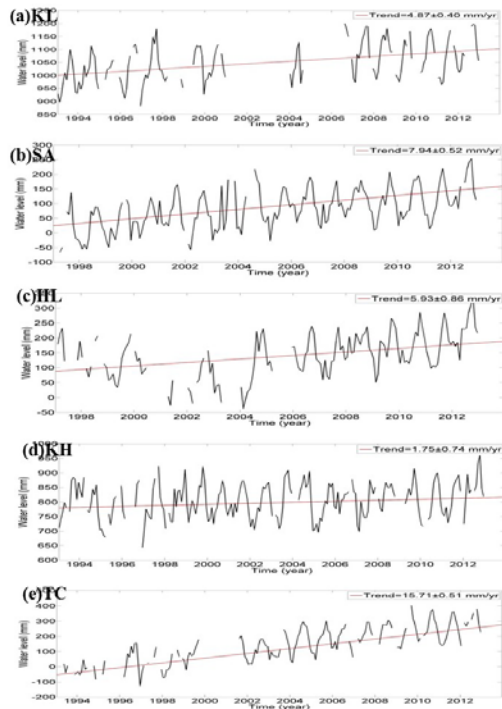
五大商港近20年(1993-2012)之SLR分析

驗潮站名	基準偏移校正後之潮位(mm/yr)	AVISO地理半徑5°之衛星測高(mm/yr)
基隆	4.87 ± 0.40	3.16 ± 0.36
蘇澳	7.94 ± 0.52	3.20 ± 0.37
花蓮	5.93 ± 0.86	3.20 ± 0.39
高雄	1.75 ± 0.47	4.49 ± 0.36
臺中	15.71 ± 0.51	3.45 ± 0.43

經海潮改正、逆氣壓改正、及基準偏移改正後之SLR趨勢，普遍會大於應用衛星測高資料之分析結果。主要原因，係其含括有區域性地層下陷作用或地殼升降變動之影響。

與近20年全球海面平均約3 mm/yr的SLR年變率(IPCC, 2013)相比較，可看出，除了高雄驗潮站SLR年變率偏低外，其他各港均大幅超越，年變率甚至可達2倍以上。

高雄驗潮站偏低之SLR年變率，由於分段步階值與直接平均值之相對差值大小均不及50mm，故判定其係過度之基準偏移校正所致。



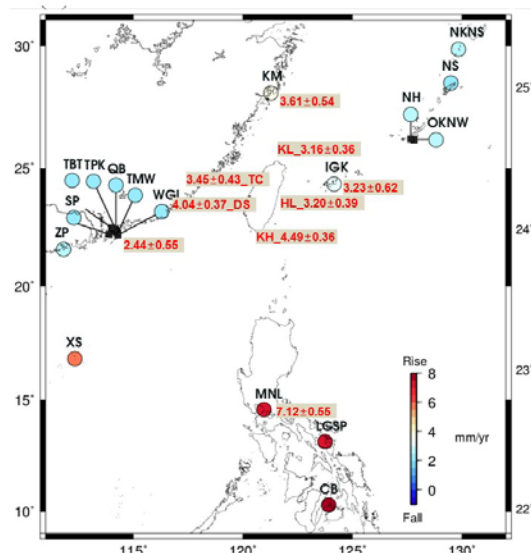
結論與建議

- 海潮效應與逆氣壓效應，對於SLR分析之影響性甚有限，最大僅約1 mm/yr；進行該兩項改正，應非必要；
- 潮位基準偏移，係屬低頻訊號之變動偵測課題。現況，驗潮站之長期性逐月潮位紀錄，可應用哈爾小波(Haar wavelet)作高、低頻訊號之分頻分解，而其低頻成分，即可應用以偵測基準偏移之時期與數目；
- 應用含步階函數之二參數擬合線性間接平差方法，可有效進行數目不定且偏移程度大小不一之潮位基準偏移改正！但亦會發生基準偏移之過度改正現象。
- SLR之分析會顯著受潮位基準偏移所影響。
- 國內五大商港驗潮站近二十年(1993-2012)之逐月平均潮位紀錄，經校正潮位基準偏移及進行SLR分析後，從而可得各港之平均海平面升降年變率(mm/yr)或SLR趨勢，分別為基隆 4.87 ± 0.40 ；蘇澳 7.94 ± 0.52 ；花蓮 5.93 ± 0.86 ；高雄 1.75 ± 0.47 ；臺中 15.71 ± 0.51 。
- 受區域長期性地層下陷作用或地殼升降變動之影響，依據基準偏移改正後之潮位紀錄進行SLR分析，將促使SLR趨勢普遍偏大。
- 建議：對於數目不定且偏移程度大小不一之基準偏移，相關自動偵測與判別之準則、改正方法、及基準偏移過度改正之避免，均應強化研究。

Figure 10 is a horizontal bar chart showing the trend of station motion (mm/yr) for various stations. The chart breaks down the total trend into components: Original (Positive), Original (Negative), Ocean tide effect, IB effect, Bias value, and Vertical motion. The x-axis represents the trend in mm/yr, ranging from 0 to 150. The y-axis lists the stations: KS2, KL2, HSC, PH, WG, DS, CHG, TCP, KS3, HL, SA, and KL3. The legend indicates: Original (Positive) in blue, Original (Negative) in red, Ocean tide effect in green, IB effect in black, Bias value in yellow, and Vertical motion in white.

Station Name	Original (Positive)	Original (Negative)	Ocean tide effect	IB effect	Bias value	Vertical motion
KS2	0	0	0	0	0	0
KL2	0	0	0	0	0	0
HSC	0	0	0	0	0	0
PH	0	0	0	0	0	0
WG	0	0	0	0	0	0
DS	0	0	0	0	0	0
CHG	0	0	0	0	0	0
TCP	0	0	0	0	0	0
KS3	0	0	0	0	0	0
HL	0	0	0	0	0	0
SA	0	0	0	0	0	0
KL3	0	0	0	0	0	0

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 103 年度計畫

「全球暖化引致臺灣海域海面水位升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」

期末報告審查會議紀錄

壹、時間：民國 104 年 2 月 13 日（星期五）下午 1 時 30 分

貳、地點：本所港研中心 2 樓簡報室

參、主持人：港研中心 簡仲璟科長

紀錄：李俊穎

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
李忠潘委員	李忠潘
郭一羽委員	郭一羽
李兆芳委員	李兆芳

(二) 出席人員：

	簽名
簡仲璟科長	簡仲璟
莊文傑研究員	莊文傑
李俊穎副研究員	李俊穎

審查委員評審意見與建議	處理情形
一、梁乃匡 委員 (評分：98) 1. 提出與第一年分析潮位資料求平均水位不同的方法，包含潮位偏移偵測，逆氣壓改正等，對海水面變動的估算有助益。 2. 臺中的上升最大，表示臺中的地層下陷比基隆為大，宜檢查。	感謝梁委員的出席指導。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。參見表 4-3，經基準偏移校正後，在包含區域性地表垂直變動效應下，臺中之 SLR 為 15.71 ± 0.51 mm/yr，而衛星測高分析結果僅為 3.45 ± 0.43 mm/yr。因而估計臺中應有約 12.3 mm/yr 之地表垂直變動量或下陷量，而基隆則僅約 1.7 mm/yr，其確為五大商港中之最大，但與臺灣西部具有最大下陷量之東石 (25.43 ± 0.84 mm/yr) 及溫港 (23.16 ± 1.09 mm/yr) 相比，仍偏小。所提建議，將於後續研究中，再納入評估與檢討。
二、李忠潘 委員 (評分：84) 1. 天文潮修正建議可考慮 18.6 年周期內的都扣掉，氣壓潮測可以對應於潮位資料，逐時濾掉(如果要濾掉的話)。 2. 暴潮主要成份雖是氣象潮，但尚包含其他如波揚(wave set-up or set-down)及河口的水位堆疊，而氣壓潮只是氣象之一，因此氣壓潮改正並非暴潮修正。 3. 我國港內潮位記錄，不連續處主要發生在儀器更新而未進行基準校正(陳宥珊, 2011)，因此可以假設儀器更新	感謝李委員的出席指導。所賜教指正之意見處理如后： 1. 感謝提示指教。因 20 年期之實測潮位紀錄中，實際含有月、季、年及十年期之額外氣候變遷資訊，部分並非屬天文潮成分，故在海潮改正程序中，不宜將 18.6 年周期內的潮位訊號，透過調和分析而直接移除。同理，氣壓潮亦具有月、季、年週期，故只能以逆氣壓改正方式，再從已移除月週期以內之天文潮位紀錄中，進行氣壓潮之移除。以上針對實測潮位紀錄所先進行之兩項改正，主要目的，係為縮減分析 SLR 之偏差值而已，對於 SLR 值之分析結果，實質影響不大。 2. 感謝提示指教。會於相關內文注意用辭與論述。 3. 感謝提示指教。參見第四章 4.1 概述內文說明，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，故造成潮位基準偏移之原因，除了儀

前後的基準一樣，即可將這種原因造成的變動濾除。 4. 如果海平面上升是全球性的，那麼臺灣各港口的上升或下降應該一致。 5. “海潮”(ocean tide)似應泛指海洋水位變化的因子，而非只指天文潮。 6. 本研究並未濾掉高頻變動。 7. 氣壓潮可能是冷、暖化結果，有必要修正嗎？ 8. 數學修正如能配合實際物理，則更有說服性。	器更新外，尚會發生於陸岸之參考水準點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檢校而變動，致使長期性之實測潮位紀錄，不只會存在數目不定且偏移程度大小不一之基準偏移現象，尚含有期距長短不一之缺漏特性。故在基準偏移偵測後，僅藉假設儀器更新前後之基準一樣，並無法將基準偏移作合理之變動濾除或校正，甚且會發生過度校正問題(參見第 4.4 節內文)。 4. 感謝指教。全球暖化所導致全球海平面之平均上昇率，在近 20 年間約為 3 mm/yr。僅管如此，依據衛星測高資料進行分析，參見本文圖 1-2 與圖 1-3 可見，全球各海域之海平面上昇率，仍明顯會因地理位置不同而有所差異。同理，在區域局部海洋環境差異下，臺灣各港口之海平面上昇率也應有所不同。 5. 感謝提示指教。“海潮”(ocean tide)確實泛指海洋中海面水位之週期性變化特性。因此，本文針對移除週期小於一個月內之潮位紀錄，係稱為“海潮改正”，而非“天文潮改正”。 6. 感謝指教。本研究所稱潮位紀錄之高頻變動，係僅針對週期小於一個月以內之海潮。 7. 感謝提示指教。全球氣溫的冷、暖變化，確實會衍生氣壓變動，進而導致氣壓潮。但其中仍包含有諸如颱風(太平洋熱帶低壓)或季風(大陸高壓)等區域性差異氣壓變動所導致之氣壓潮，因此，為有效縮減分析 SLR 之偏準偏差值，減小其對 SLR 分析值之影響，乃進行逆氣壓效應之校正。 8. 感謝提示指教。基於潮位基準偏移具有步階函數(step function) Δ_j 特性，故對於潮位基準偏移之校正，本研究於偵測並確認其區段個數 N 後，係以式(4-2)所示含 N 個步階函數之二參數擬合校正算式，再採用間接平差計算方式，依最小二乘法原理求解。數學
--	--

	修正應已充分考量實際物理特性之配合。
三、郭一羽 委員 (評分：86) 1. 建議增加校正方法流程圖。 2. 建議表 4-3 中，應列未校正前的數據，才能知道本校正方法的影響性。 3. 基準偏移不是低頻變動，故不需做高低頻分離的操作。 4. 陸地上的地層下陷等明顯變動未能確定前，利用潮位資料評估難度很高。 5. 資料蒐集詳盡，研究深入，對海平面上升的議論有貢獻。	感謝郭委員的出席指導。所賜教指正之意見處理如后： 1. 感謝提示指教。潮位基準偏移校正之流程圖已於第 3 章第 3.1 節中增列。 2. 感謝提示指教。已於表 4-3 中增列基準校正前後 SLR 分析結果之對照比較。校正方法的影響性，可一目了然。 3. 感謝提示指教。基準偏移確實不是低頻變動，而是趨勢性之變動，對於驗潮站之逐時潮位紀錄，進行高低頻分離的操作，主要目的是在減小高頻訊號之干擾，俾利於趨勢性變動之突顯與辨識而已。 4. 感謝提示指教。驗潮站之潮位紀錄，在其低頻及趨勢訊號中，明顯包含有陸地之地層下陷量。在本研究中，將其通稱為垂直變動量。對於因各式原因所造成之地層垂直變動量，本研究透過合作研究，已可結合衛星測高資料進行比較、計算、及評估。儘管如此，針對全球暖化課題，應用驗潮站之潮位紀錄，綜合考量自然區域性地層下陷之影響，再進行 SLR 分析，實際應更具有工程應用性。惟仍必需進行驗潮站之潮位基準偏移校正。 5. 感謝肯定與嘉勉。
四、李兆芳 委員 (評分：82) 1. 研究規劃及動機相當重要，後續可繼續加強。 2. 海面長期水位為海洋水動力很重要的資料，本研究為相當實際也很重要。 3. 水位資料偏移的原因為測站高程和儀器，因此後續對於此兩部份的監測應該加強。	感謝李委員的出席指導。所賜教指正之意見處理如后： 1. 感謝提示指教與嘉勉。 2. 感謝肯定與嘉勉。 3. 感謝提示指教。已列於研究相關之建議中。尤其是針對既有驗潮站位增設全球衛星定位系統(GPS)，藉以充分掌握區域性地層之垂直變動量。

4. 全球水位長期變化對於台灣海域水位之影響似乎可以有一個模式來模擬研究。	4. 感謝提示指教。針對全球暖化所衍生全球海平面之升降變動，國際上之氣候變遷研究組織 IPCC 及眾多專家學者，均曾應用不同之研究方式進行探討。而基於時、空之變異性，針對臺灣海域建置 SLR 模擬模式，則尚有待推展。
5. 潮位站或驗潮站名稱要一致。如 p.5-1。	5. 感謝提示指教。已將內文之潮位站用辭，統一修訂為驗潮站。
6. 文獻 Church, J.A.兩個要一樣。Kuo C.Y.寫法要一致。	6. 感謝提示指教。已將參考文獻之書寫格式作統一修正。