

大氣壓力對超導重力之影響

Atmospheric pressure effect of SG measurements

高瑞其^{1,2} 黃金維³ 李瓊武⁴ 彭森祥⁵ 謝文祺⁶
Ricky Kao Cheinway Hwang Chiung-Wu Lee Miao-Hsiang Peng
Wen-Chi Hsieh

摘要

藉由大氣質量變化來建立重力-大氣的數學模式，分析不同的大氣變化模式跟重力之轉換係數之間的關聯，由其在颱風期間大氣變化劇烈(Kurashige, 1997)，其轉換係數將比平常更大，每年四月到十一月，颱風經過台灣都會改變大氣壓力，進而影響重力變化(Boy et al., 2003; Hinderer and Crossley, 2004; Rccardi et al. 2007)，將例年來之颱風所做的歸類，颱風的影響範圍約為 1000 公里，影響時間約 3-7 天，在此種情形下所做的重力-大氣的數學模式，從新竹的國家重力基準站計算得到之導納係數約為 $-0.45 \mu \text{Gal hPa}^{-1}$ 相較一般情形之 $-0.35 \mu \text{Gal hPa}^{-1}$ (Crossley et al., 1995) 多出 30%。

關鍵詞：超導重力、大氣壓力、相對重力、颱風

Abstract

Modeled gravity-atmosphere admittances based on an exponential distribution of air mass explain well the observed admittances. We will interpret gravity-atmosphere admittances for various atmospheric conditions, including typhoons (Kurashige et al., 1997). Typhoons pass through Taiwan from April to November, and create large gravity variations that can be used to investigate gravity change caused by atmospheric pressure change, including the effects originating from attraction, loading and inverted barometer (Boy et al., 2003; Hinderer and Crossley, 2004; Rccardi et al. 2007). The average gravity-atmosphere admittance during typhoons is larger than that in a non-typhoon time. In a normal case of slow and smooth pressure changes, the synoptic horizontal scale is about 1000 km or more, and the temporal scale is about 3 days to 7 days. The mean of typhoons admittances is $-0.45 \mu \text{Gal hPa}^{-1}$, which is 30% larger than (in magnitude) the mean value of $-0.35 \mu \text{Gal hPa}^{-1}$ (Crossley et al., 1995) at Hsinchu.

Keyword: Superconducting Gravimeters, atmosphere, Relative gravity, Typhoon

¹ 國立交通大學土木工程學系 博士候選人

² 工研院量測中心 副工程師

³ 國立交通大學土木工程學系 教授

⁴ 工研院量測中心 正工程師

⁵ 工研院量測中心 研究員

⁶ 工研院量測中心 副工程師

一、前言

影響重力的因素除了固體潮及海潮負載之外，由大氣所造成之重力變化可達到 3-5 μGal ，在氣壓變化劇烈時（例如颱風），重力變化可以達到 10-15 μGal ，而大氣造成重力變化之效應可分成：由大氣壓力變化所造成之直接牛頓吸引力作用，另一為大氣壓力對於地表或海面所產生之大氣負載效應。藉由超導重力儀之可達到 0.1 μGal 之精度的特性來分析大氣對環境之影響，將可準確的由重力變化得知，圖 1 為超導重力經環境改正(Kroner et al., 2004)而未移除大氣改正之重力(紅)對大氣壓力(黑)影響之變化比較。

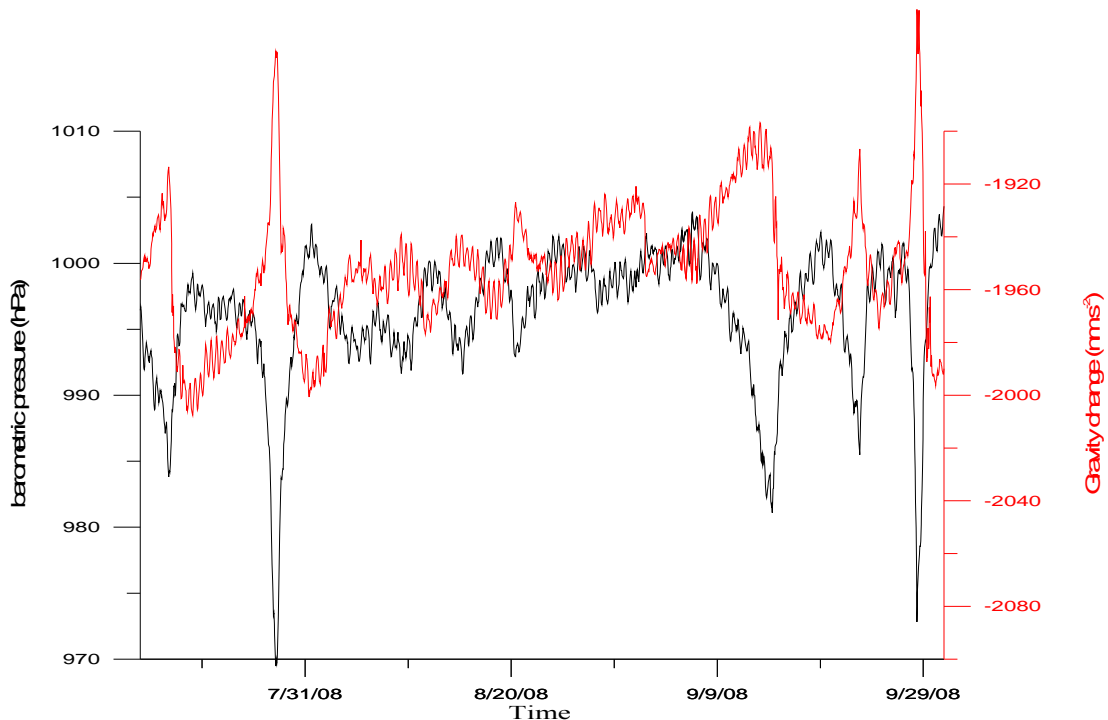


圖 1、經環境改正後之超導重力（紅）及大氣壓力造成之重力變化（黑）

二、大氣壓力之導納 (admittance) 係數

由於颱風侵台期間，大氣壓力劇烈變化的影響時間約 2-3 天，此時之大氣壓力造成之質量變化跟一般狀況不同，特別將二種情形描述如下：

2.1 一般狀況

位於新竹的國家重力基準站為超導重力所在位置，今選取 2007 年 1 月 1 日至 2007 年 1 月 14 日之大氣壓力及超導重力代入公式(Hwang et al., 2009)

$$\delta g_b = f_a (P_a - P_n) \quad (1)$$

式中 δg_b 為經過環境改正之超導重力變化量，單位 μGal ， f_a 為一般狀況時

之大氣壓力導納係數， P_a 為所量得之大氣壓力，單位 hPa。 P_n 為超導重力站所在位置之標準大氣壓力，可由公式(2)求得

$$P_n = 1013.25 \left(1 - \frac{0.0065 h_m}{288.15} \right)^{5.2559} \quad (2)$$

式中將 $h_m = 86.7\text{m}$ 代入，可求得 $P_n = 1002.8\text{ hPa}$ ，經過上式可求得 f_a 為 $-0.35\ \mu\text{Gal hPa}^{-1}$ 。

2.2 颱風侵襲時

將 2006 至 2008 年之颱風對重力變化成果整合成表 1，得知在颱風侵襲期間，大氣壓力的變化量依據其強度及距離，對超導重力之影響量所求得之導納係數從 -0.40 至 -0.65，以珊珊颱風的導納係數 -0.45 就比一般狀況時之導納係數多 30%，而其重力變化跟氣壓變化之相關係性達 92%，表示超導之重力變化跟氣壓變化有高度相關，然而導納係數卻和颱風的強度及路徑有關，下一節將對導納係數最高之卡玫基颱風做深入的分析。

表 1、各颱風之氣壓變化所得到之導納因子

颱風名稱	影響時間	最小氣壓 (hPa)	強度	氣壓變化 (hPa)	重力變化 (μGal)	導納係數 ($\mu\text{Gal hPa}^{-1}$)
珍珠	05/16/06-05/18	960	中	11	5.5	-0.47
碧利斯	07/12/06-07/15	985	弱	28	8.6	-0.45
凱米	07/23/06-07/26	960	中	19	8.0	-0.43
寶發	08/07/06-08/09	992	弱	4	1.5	-0.48
珊珊	09/14/06-09/16	940	中	7	3.0	-0.45
吾堤	08/08/07-08/09	992	弱	5	2.2	-0.41
聖帕	08/16/07-08/19	925	強	23	8.5	-0.52
科羅莎	10/04/07-10/07	940	強	35	12.5	-0.40
卡玫基	07/16/08-07/18	984	中	15	10.2	-0.65
鳳凰	07/26/08-07/29	969	中	34	13.1	-0.43
如麗	08/19/08-08/21	993	中	9	4.4	-0.40
辛樂克	09/11/08-09/16	981	強	21	7.9	-0.46
薔蜜	09/28/08-09/29	972	強	29	13.9	-0.51

2.3 卡玫基颱風對超導重力之影響

由中央氣象局所公布之卡玫基颱風相關成果 (圖 2)，及 2008 年 7 月 17 日至 7 月 18 日重力變化可以得知，重力跟溫度成正相關，而且雨量會造成重力擾

動，圖 2 右下表示超導重力在未移除大氣壓力所影響之重力（黑），及移除利用大氣壓力導納係數 (-0.65) 之重力（紅），從結果可以發現當颱風未影響台灣前，重力改正的結果反而變差，到了 7 月 18 日之後，颱風登陸後此導納係數可以將重力改正較好，也就是一般情形下導納係數跟氣壓變化大時導納係數不同。

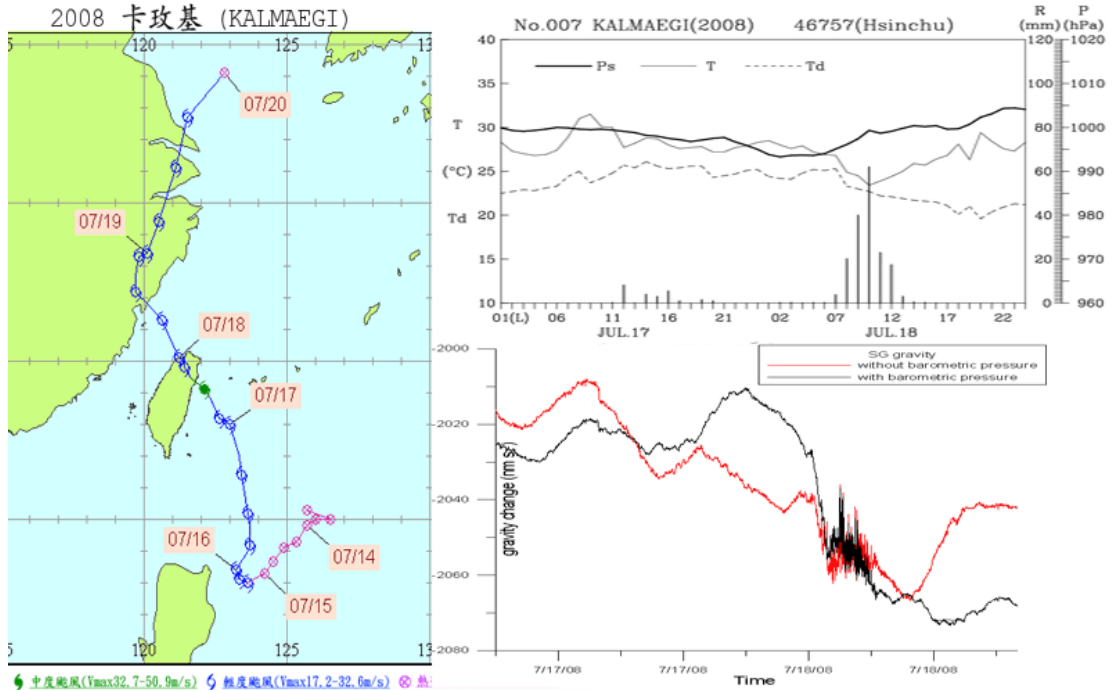


圖 2、卡玫基颱風行走路徑（左）環境感測成果（右上）超導重力數據（右下）

三、超導重力及大氣壓力相關分析

將大氣壓力的分佈情形繪製成圖 3，大氣壓力主要落在 1000 hPa 及 1007 hPa 二個群組，可知大氣壓力除了全日潮跟半日潮的變化之外，還有年的週期變化 (Vauterin, 2008)。

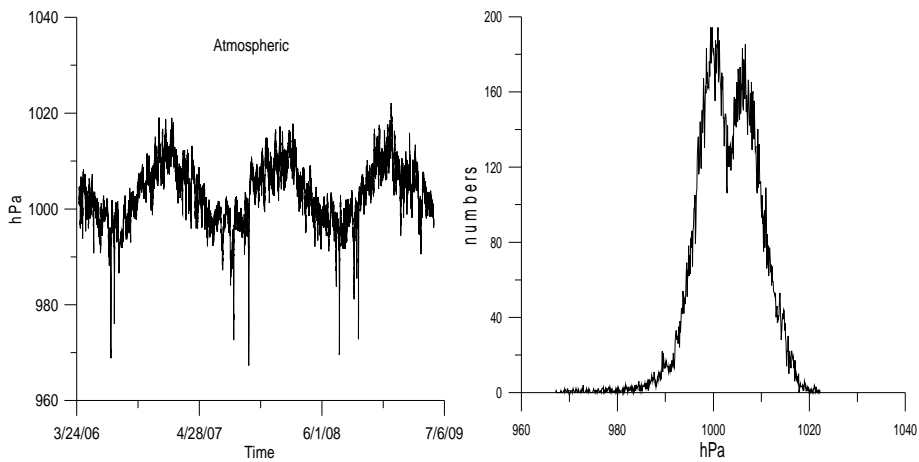


圖 3、大氣壓力訊號之原始圖（左）及其分佈範圍（右）

將 2006 年 4 月至 2009 年 5 月之超導重力及大氣壓力訊號經過快速傅立葉轉換 (Fast Fourier Transform, FFT) 繪製成圖 4，各週期性訊號可以得知由大氣壓力主要是反應在長週期部分，而對於 K_1 及 S_2 的反應也會較一般情形明顯，但 MK_3 卻只有在冬季才會出現，進一步將超導重力及大氣壓力訊號以原始數據及修正後之數據做頻譜分析。

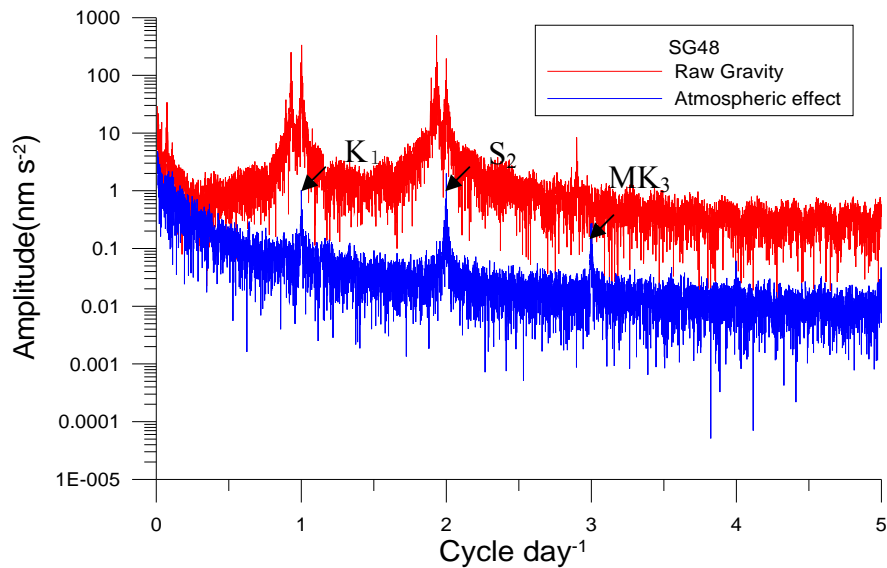


圖 4、超導訊號 (紅) 及大氣壓力訊號 (藍) 之頻譜分析

將原始超導重力訊號跟修正過後之超導重力訊號比較 (圖 5)，可以發現超導重力訊號的原始數據有許多雜訊，像是資料中斷造成之空白外，2008 年 5 月 30 日由於液態氦外洩，更換冷卻頭而造成超導球位置偏移，經過修正後 (圖 5 右) 誤差變小，除此之外超導重力訊號還有未知的訊號隱含在其中，可能的原因，不排除跟地震、颱風造成地球質量變化有關。

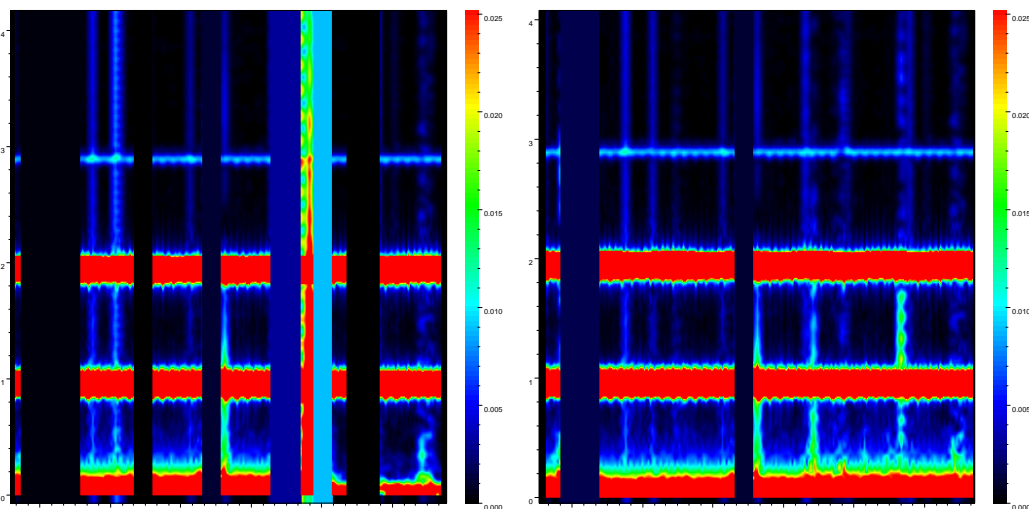


圖 5、原始超導重力訊號 (左) 及修正後超導重力訊號 (右) 之頻譜圖

目前先將原始大氣壓力跟修正過後之大氣壓力訊號比較（圖 6），發現超導重力跟大氣壓力之週期性訊號隱含在圖 4 中，就是大氣壓力在時間序列上針對 MK₃ 之週期訊號只有在冬天才出現，而是否因夏季有颱風而擾亂 MK₃，還需要更多資料來證明。

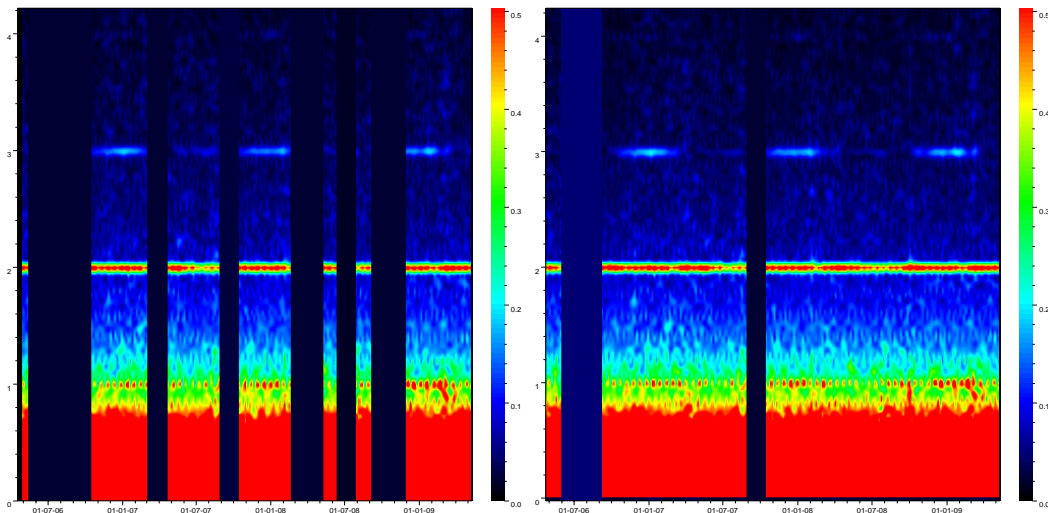


圖 6、原始大氣壓力訊號（左）及修正後大氣壓力訊號（右）之頻譜圖

四、未來研究及結論

目前重力訊號研究已經有初步成果，對於固體潮、海潮負載(陳南松, 2003)、大氣壓力、極移、地下水、土壤溼度等課題都有簡易公式可以替代，從大氣環境深入研究，發現超導除了包含上述的資訊外，還有雨量、溫度變化、大氣負載等有待更深入的研究，而需要長時間且大量資料的，像是聖嬰現象、溫室效應、地球自轉速率等都不是二、三年的資料可以分析求得，需要有更長期的觀測成果。

本文將大氣壓力對重力的影響做了初步的分析後，有了以下幾點的心得：

- I. 大氣主要在作用在長週期訊號，所以對重力長週期的研究需先將大氣效應移除。
- II. 在大氣壓力變化不大時可用簡易之導納係數 $-0.35 \mu\text{Gal hPa}^{-1}$ ，來計算重力影響量，在氣壓劇烈變化時應個別改正。
- III. 本文發現剩餘之重力變化跟溫度、雨量有關，將可在進一步研究。
- IV. MK₃ 是否因為颱風等短週期訊號干擾造成夏季不明顯將繼續研究。
- V. 未來要研究大氣負載之研究需將超導重力移除上述之改正量，並應用到三度空間之彈性地球模型進行逆氣壓效應（Inverted Barometer, IB）及非逆氣壓效應（Non-Inverted Barometer, NIB）之改正。

五、參考文獻參

- 陳南松，2003，地球固體潮與海潮負載對台灣地區衛星追蹤站坐標與重力之影響，交通大學碩士論文。
- 李瓊武、黃金維、彭森祥、鄭景中、高瑞其、謝文祺，2007，96 年度基本測量整合服務工作 期末報告，內政部。
- Boy, J. P., Llubes, M., Hinderer, J. and Florsch, N., 2003, A comparison of tidal ocean loading models using superconducting gravimeter data, *J. Geophys. Res.*, Vol. 108, Art No. 2193, doi: 10.1029/2002JB002050.
- Crossley, D.J., Jensen, O.G., Hinderer, J., 1995. Effective barometric admittance and gravity residuals. *Phys. Earth Planet. Int.* 90, 221-41
- Hinderer, J., and Crossley, D., 2004, Scientific achievements from the first phase (1997 - 2003) of the Global Geodynamics Project using a worldwide network of superconducting gravimeters, *J. Geodyn.*, 38, 237-262.
- Hwang, C., Kao, R., Cheng, C.C., Huang, J.F., Lee, C. W., Sato, T., 2009. Results from parallel observations of superconducting and absolute gravimeters and GPS at the Hsinchu station of Global Geodynamics Project, Taiwan, *J. Geophys. Res.*, Vol. 114, B07406, doi:10.1029/2008JB006195
- Kroner, C., Jahr, Th., Jentzsch, G., 2004. Results from 44 months of observations with a superconducting gravimeter at Moxa/Germany, *Journal of Geodynamics*, Vol. 38, pp. 263-280.
- Kurashige, K., 1997, On a new pressure distribution model over stationary typhoons, *Papers in Meteorology and Geophysics*, Vol. 28, No. 2, 83-95.
- Neumeyer, J., Hagedoorn, J., Leitloff, J., Schmidt, T., 2004. Gravity reduction with three-dimensional atmospheric pressure data for precise ground gravity measurements, *Journal of Geodynamics*, Vol. 38, pp. 437-450.
- Riccardi, U., Hinderer, J., and Boy, J. P., 2007, On the efficiency of barometric arrays to improve the reduction of atmospheric effects on gravity, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 161, 224-242, doi: 10.1016/j.pepi.2007.02.007
- Vauterin, P., Van Camp M., 2008. T-soft Manual, Royal Observatory of Belgium.