



Reprint 1331

香港地殼移動的特徵

許大偉、鄭仲材、張旖瑩

第八屆粵港澳地區地震科技研討會 (2018)

# 香港地殼移動的特徵

## 延伸摘要

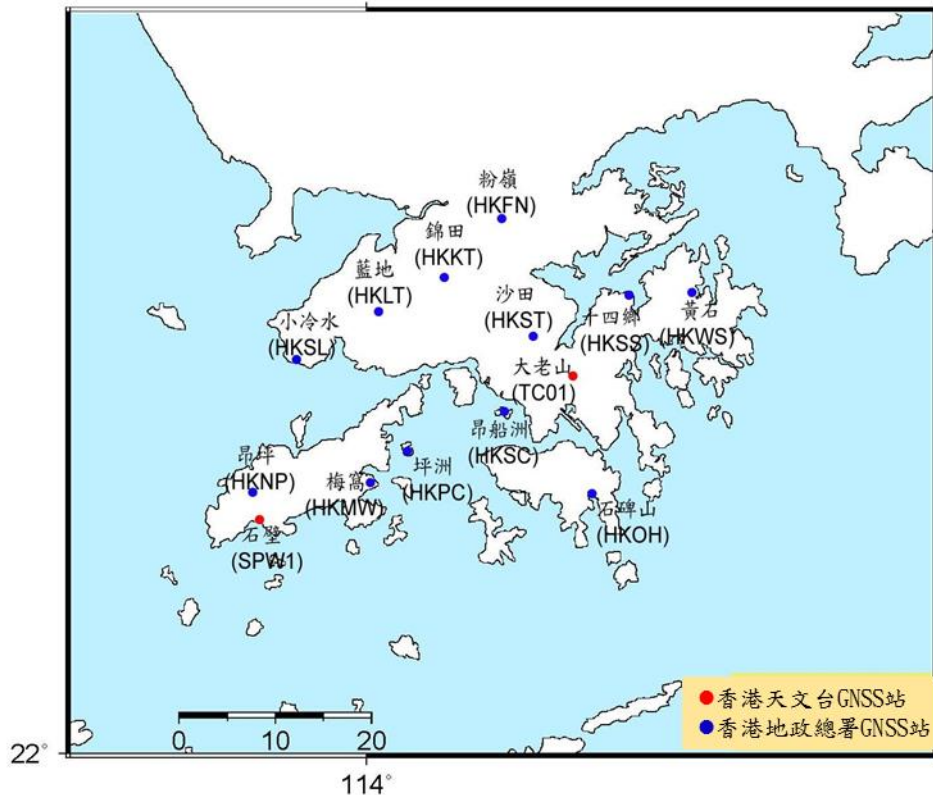
許大偉、鄭仲材、張旖瑩  
(香港天文台)

### 研究背景

高精度全球衛星導航系統 (GNSS) 連續觀測站，既可監測地殼及斷層的活動，為地震研究提供參考數據 (劉迪森&黃永德，2010)，又是評估氣候變化尺度海平面高度的重要元素 (He et al., 2016)。香港地域不大，究竟需要多少個站才足夠呢？GNSS 站硬件和維護費用不菲，而且要達到監測毫米精度的垂直活動必須配合精細的數據品質檢定和運算。本文會在站數、數據質量和代表性之間取得平衡，選取境內 3 個 GNSS 站來持續監測地殼活動及支援海平面高度的評估。

香港天文台和地政總署在境內分別設置了 2 個和 12 個 GNSS 觀測站，收集得來的 RINEX 檔案，經演算後可以用於監測香港的地殼活動。14 個站之中以東邊海岸的黃石 (HKWS) 和西邊接近珠江口的小冷水 (HKSL) 的數據最完整，這兩個地政總署設置的 GNSS 站也是境內僅有的 IGS (International GNSS Service) 參考站，適合用作監測香港地殼活動的長期變化。另外，天文台在大老山 (TC01) 的 GNSS 觀測站幾乎位於香港的正中央，據筆者所知是境內唯一設於基岩上的 GNSS 站，對測量地殼活動具備特殊參考意義。

各站的 GNSS 設備有所不同，但其精度相若，以 TC01 的天線 LEICA AT504 (2013 年 10 月 4 日改為 AR25)配合接收機 GRX1200 Pro 為例，按生產商的評估，經運算後水平精度約為 2-4 mm，垂直精度約為 3-6 mm。使用相關結果時應考慮測量精度限制，並以綜合多站數據為基礎。



圖一：香港 GNSS 站的分布。

## 提出方法

這次研究以過往關於香港 GNSS 觀測站的分析和相關文獻的結果為基礎 (He et al., 2016; 劉迪森&黃永德, 2010; Lau, 2010; Meertens et al., 2015), 評估香港長期的地殼移動。

GNSS 觀測站在香港建立年期不長, 或因數據伺服器停頓, 或因接收器不穩定, 也曾經歷雷擊之後持續沒有數據的情況, 當中以 2010 年和 2014 年後半年最為嚴重。為了確立相關評估有效代表香港整體的長期地殼移動, 又考慮到 2006 年至 2009 年間各站的數據比較完整, 天文台參考 Herring et al. (2006) 統一以 GAMIT/GLOBK 軟件計算 14 個站點在這四年間每日的三向移動, 比較各站地殼活動的一致性。

最後綜合天文台之前用 GAMIT/GLOBK 就 TC01 的分析和 IGS 基於 GIPSY/OASIS (Desai et al., 2014) 軟件計算 HKWS 和 HKSL 的移動, 我們評估了香港的長期地殼移動。

## 分析結果

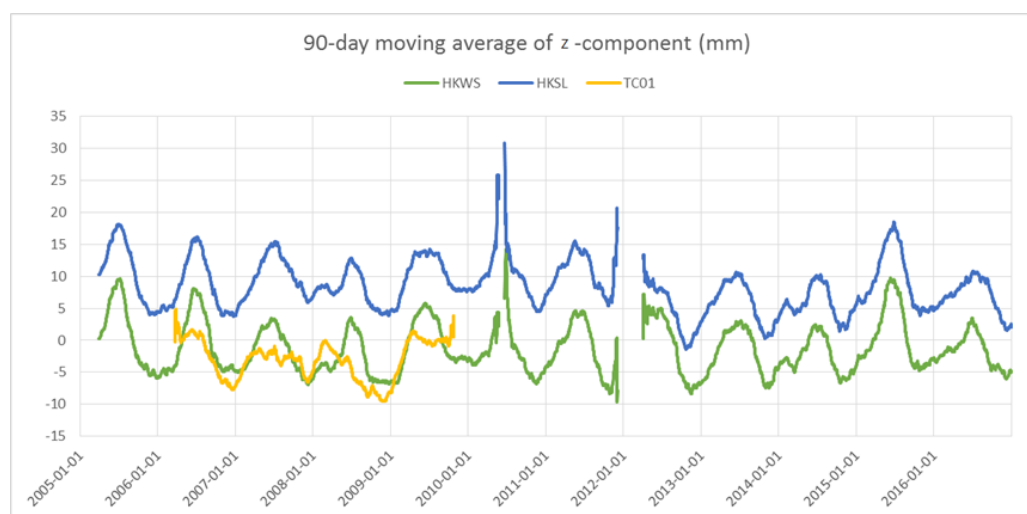
根據計算，2006 年至 2009 年間，各站的日平均 X、Y、Z 三向移動與 TC01 的線性相關系數分別超過 0.99，0.97 及 0.49，當中 X 和 Y 向的相關系數清楚地反映了各站在日尺度的水平移動一致性很高，而 Z 向活動在偏低的訊噪比之下仍然呈現中等的線性相關。四年內的年平均移動方向和速率總結如下：

表一：香港各 GNSS 站的三向年平均移動速度。

	各站地殼移動 (mm/yr)						
	TC01	SPW1	HKST	HKWS	HKLT	HKMW	HKSL
X 向	32.68	32.76	32.58	32.78	32.46	32.82	32.72
Y 向	-11.29	-11.07	-11.78	-11.87	-11.52	-11.80	-11.12
Z 向	-0.06	-1.28	0.00	-0.49	-0.61	-0.30	-1.05

	各站地殼移動 (mm/yr)						
	HKSS	HKPC	HKSC	HKNP	HKOH	HKFN	HKKT
X 向	32.52	32.14	32.36	32.55	31.48	32.10	32.55
Y 向	-11.80	-11.21	-11.85	-12.06	-12.40	-11.35	-11.76
Z 向	-0.91	-0.82	-0.79	-1.05	-0.42	0.06	-0.69

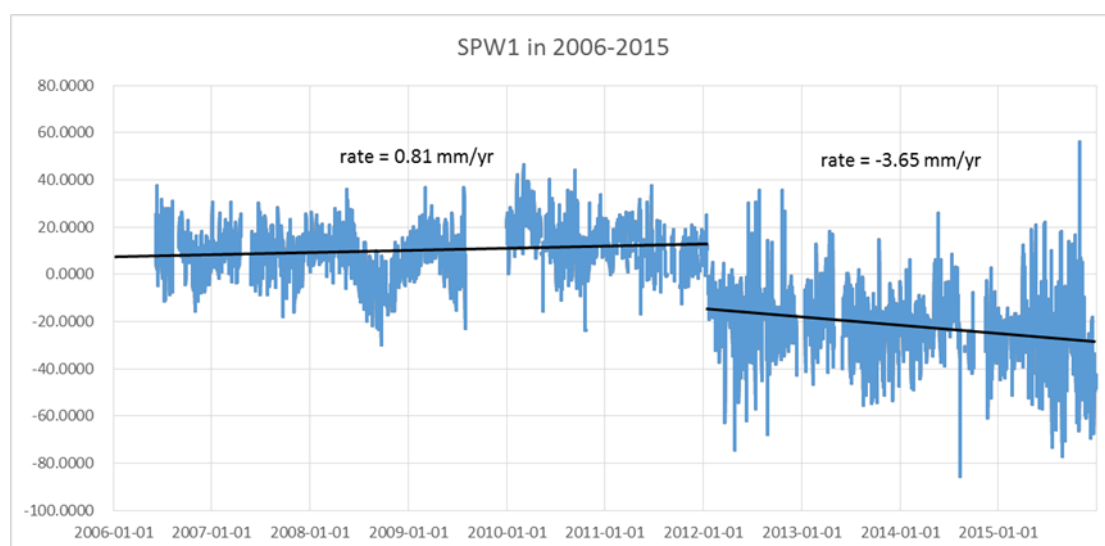
以 2006 至 2009 年間的 analysis 來看，14 個站的年平均移動很一致，綜合評估為向東 31.48 至 32.82 mm (以平均數為準，波幅約±2%)，向南 11.07 至 12.40 mm (波幅約±6%)，垂直 -1.28 至 0.06 mm (波幅約±104%)。



圖二：黃石(HKWS)，小冷水(HKSL)和大老山(TC01)站垂直移動的 90 天移動平均。

檢視各站的垂直移動的時間序列可以看到週期變化，當中以年度週期最為明顯，這個現象在其他地方的 GNSS 站也出現 (Altamimi et al., 2016)，反映了大氣的季節週期對地殼垂直的活動有影響。

雖然整體而言 14 個站的地殼移動很一致，但個別站的數據可以見到不延續性，石壁 (SPW1) 就是一個例子，其垂直移動的時間序列（見下圖）顯示 2012 年前後兩段分別呈現向上及向下的移動趨勢，至今未能確定這個下降 2 cm 突變的原因，肯定的是 2012 年境內沒有地震，SPW1 附近也沒有大型工程，天線沒有明顯損毀或傾斜，事件反映 GNSS 站的維護和實時質量監控尤其重要，而且適當選取可靠的站點來綜合評估地殼的垂直移動也是關鍵。



圖三：石壁(SPW1)站垂直移動的時間序列。

為了平衡測量的成本效益、代表性和可靠性，我們選取了 TC01、HKWS 和 HKSL 作為監測香港整體長期地殼移動的指標站，TC01 位處中部山頂的基岩上；HKWS 在東部的海岸；HKSL 則靠近西部珠江口，三個站分布在境內不同位置，也代表了不同地理配置。TC01 是天文台的重點觀測站，而 HKWS 和 HKSL 是 IGS 參考站，它們收集得來的數據有一定保證。

根據 He et al. (2016) 的估算，TC01 在 2006 年至 2014 年間的年均垂直移動為  $-1.99 \pm 0.31$  mm，另外 4 個同一板塊的 HKWS、HKSL、WUHN 和 SHAO 於 2005 年至 2016 年的計算結果也列於下表：

表二：各 GNSS 站的三向年平均移動速度。

GNSS 站，( )內是數據年期	地殼移動 (mm/yr)		
	X 向	Y 向	Z 向
TC01 (2006-2009)	32.68±0.12	-11.29±0.10	-0.06±0.23
TC01 (2006-2014)	-	-	-1.99±0.31
TC01 (2006-2015)	33.53±0.03	-11.31±0.02	-1.42±0.07
HKWS (2005-2016)	33.61±0.02	-11.82±0.01	-0.09±0.04
HKSL (2005-2016)	33.57±0.01	-10.16±0.02	-0.34±0.04
IGS WUHN (2005-2016)	33.84±0.02	-11.06±0.02	0.15±0.05
IGS SHAO (2005-2016)	33.09±0.02	-12.29±0.02	-2.48±0.04

以上列表已經包括了天文台曾經進行的三次主要分析，可以看到，就 TC01 垂直移動的評估隨數據年期而呈現變化，趨勢顯得不穩定。初步來看，數據年期足夠長的話，TC01 的垂直移動的評估會在同一板塊 4 個 IGS 參考站的垂直移動範圍之內。如果綜合 TC01 不同時期的評估(藉以減低隨數據年期變化而呈現的不穩定趨勢)、HKWS 和 HKSL 長期的計算，可以給出一個務實的地殼垂直移動幅度的評估，香港整體的垂直方向移動介乎每年 -0.06 至 -1.99 mm。

## 討論與總結

大老山 GNSS 站與香港境內另外 13 個站的每日平均移動呈現中等至良好線性相關，年均水平移動遠大於測量系統的預期精度，訊噪比高，線性相關也明顯較高，表示香港境內 14 個 GNSS 站的水平移動很一致，每一個站都可以良好地表達香港整體地殼的水平移動。

垂直方向移動有明顯的年度週期，年均垂直移動最大只有 2 mm 左右，遠小於測量系統的預期精度，訊號必然包含大量雜訊，趨勢分析亦比較不穩定，需要以更長期觀測及多站綜合來確定地殼下降的趨勢。

綜合地政總署設置在黃石和小冷水的兩個 IGS 站及香港天文台大老山站多年的測量和計算結果，香港的地殼移動為東南偏東方向(108°)，每年平均速

度為 34.58 至 35.63 mm，而垂直方向則介乎每年 -0.06 至 -1.99 mm。按照這個年平均垂直方向移動的估算和 He et al. (2016) 的方法，香港的海平面每 10 年可能額外上升 0.6 至 19.9 mm。

為了得到穩定兼可靠的地殼垂直移動評估，將來必須集合更多方面的專業共同維護監測站和推算移動幅度。

## 參考資料

劉迪森&黃永德，2010，利用 GPS 監測香港地殼移動的初步結果，第四屆粵港澳地區地震科技研討會。

Altamimi, Z., P. Rebischung, L. Métivier, and X. Collilieux, 2016: ITRF2014: A new release of the International Terrestrial Reference Frame modeling nonlinear station motions, *J. Geophys. Res. Solid Earth*, **121**, 6109–6131, doi:10.1002/2016JB013098.

Desai, S.D., D. Kuang, and W. Bertiger, 2014: GIPSY/OASIS (GIPSY) Overview and Under the Hood, [ftp://ehzftp.wr.usgs.gov/svarc/GIPSY\\_pdfs/GIPSY\\_Overview.pdf](ftp://ehzftp.wr.usgs.gov/svarc/GIPSY_pdfs/GIPSY_Overview.pdf).

He, Y.H., H.Y. Mok, and Edwin S.T. Lai, 2016: Projection of sea-level change in the vicinity of Hong Kong in the 21<sup>st</sup> century, *Int. J. Climatol.* **36**: 3237-3244, doi: 10.1002/joc.4551.

Herring, T. A., R. W. King, S. C. McClusky, 2006: Introduction to GAMIT/GLOBK, Release 10.3, Department of Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences Massachusetts Institute of Technology, <http://www-gpsg.mit.edu/~simon/gtgk/>.

Lau, D.S., 2010: Monitoring Crustal Movement in Hong Kong using GPS (preliminary results), Workshop on the Hong Kong Satellite Positioning Reference Station Data Services and its Application.

Meertens, C. M., F. M. Boler, S. Wier, G. Blewitt, W. C. Hammond and C. Kreemer, 2015: Plug and Play GPS for Earth Scientists: Providing Immediate Access to

Low-Latency Geodetic Products for Rapid Modeling and Analysis of Natural Hazards, American Geophysical Union, Fall Meeting 2015, abstract id. G11B-0983.