



Reprint 1337

粵港澳閃電定位網絡的最新發展及與超強颱風天鴿
相關之數據分析

林學賢、李淑明、韓啓光

第 32 屆粵港澳氣象科技研討會

暨

第 23 屆氣象業務合作會議

(澳門 2018 年 1 月 8 日 - 10 日)

粵港澳閃電定位網絡的最新發展及 與超強颱風天鴿相關之數據分析

林學賢 李淑明 韓啓光
香港天文台

摘要

自 2005 年起，香港天文台、廣東省氣象局和澳門地球物理暨氣象局合作建立及運行閃電定位網絡，為珠三角一帶提供實時區域閃電定位資料。天文台的閃電定位系統(LLIS)在 2016 年進行伺服器 and 軟件更新，經調試優化後在 2017 年年中投入業務運作。新系統具有較強數據處理能力，能融合廣東省氣象局和深圳市氣象局同類系統的閃電數據作閃電定位計算之用，對廣東沿岸的閃電探測能力有所提高（尤其是雲間閃電）。本文會介紹相關的調試及優化，以及參數的設定等作為日後參考，並簡單闡述未來的發展路向。

此外，為配合新一代航空氣象服務的發展，天文台於 2016 年開始向服務供應商購買實時全球閃電定位數據(GLD360)。LLIS 與 GLD360 的閃電數據讓預報員能掌握更豐富的對流天氣資料。2017 年 8 月超強颱風天鴿橫過南海北部並吹襲珠三角，在其快速增強時出現一些閃電數據特徵，包括高密度及強電流的雲間閃電，本文將闡述相關分析並與其他熱帶氣旋的閃電數據作比較。

Latest Development of the Guangdong-Hong Kong-Macau Lightning Location Network and Data Analysis Related to Super Typhoon Hato

LAM Hok-yin LEE Shuk-ming HON Kai-kwong
Hong Kong Observatory

Abstract

Since 2005, the Hong Kong Observatory, Guangdong Meteorological Bureau (GMB) and Macao Meteorological and Geophysical Bureau have jointly established and been operating a lightning location network to provide real-time regional lightning location information for the Pearl River Estuary and the vicinity. In 2016, the Observatory's Lightning Location Information System (LLIS) underwent server and software upgrade. After tuning and optimization, it was put into operation in mid-2017. The new system has higher data processing power. It can incorporate lightning data from similar systems of GMB and Shenzhen Meteorological Bureau for computation of lightning locations, thereby enhancing the lightning detection capability along the coast of Guangdong, especially the detection of cloud-to-cloud lightning. This paper will introduce the tuning, optimization and configuration parameter setting of the new LLIS server for future reference. A brief outline of the future development of the lightning network will also be made.

To facilitate the development of the new generation aviation meteorological service, the Observatory started acquiring real-time global lightning data (GLD360) from the service provider in 2016. LLIS and GLD360 provide more lightning information, thus allowing forecasters to have a better grasp of convective weather. In August 2017, Super Typhoon Hato crossed the South China Sea and hit the Pearl River Estuary. During its rapid intensification, some lightning characteristics were observed, including cloud-to-cloud lightning with high lightning density and intense current. The analysis of the relevant lightning data, as well as a comparison with lightning characteristics of other tropical cyclones will be described in this paper.

1. 引言

粵港澳閃電定位網絡由香港天文台、廣東省氣象局和澳門地球物理暨氣象局在 2005 年合作建立。該網絡包含閃電定位資訊系統伺服器，以及多個位於粵港澳三地的閃電探測站。閃電定位網建立初時有 5 個探測站，分別位於香港的春坎角、尖鼻咀、沙頭角，廣東的三水及澳門的氹仔(圖 1)。2007 年加上惠東探測站(圖 1)，以上 6 個閃電儀型號皆為 IMPACT ESP[1]。至 2012 年，閃電定位網再加入陽江探測站(圖 1)，該站更安裝了較新型號 LS7001 閃電儀。

截至 2016 年，閃電系統的伺服器為 LP2000[2]。LP2000 提供的閃電資訊包括閃電發生的時間、位置、類型（雲地閃電或雲間閃電）、電極、電流峰值、上升至電流峰值時間、由多少閃電儀的數據來定位等。由於每個探測儀接收閃電釋放出來的低頻電磁波的時間及方向均有差別，LP2000 的閃電定位方法就是從這些差別計算出閃電的位置。

在所有探測站正常運作的情況下，LP2000 檢測範圍涵蓋約 200 至 300 公里，雲地閃電位置的準確度約為 500 米。由於 LP2000 使用的閃電數據大部分來自 IMPACT ESP 閃電儀，而這種閃電儀的設計主要用以探測雲地閃電，所以 LP2000 的雲地閃探測率約達 90%，但雲間閃電的探測率則只有 10 至 50%。

2. 天文台加強閃電定位資訊系統

在 2016 年，天文台閃電定位資訊系統更新了伺服器至最新型號 TLP[3]。同時，TLP 的閃電定位軟件也採用較新的閃電定位方法，TLP 跟 LP2000 一樣能提供多種閃電資訊。相比之下，TLP 的硬件具有更強數據處理能力，可以更有效地處理大量閃電數據，因此能融合廣東省氣象局(GMB)及深圳氣象局(SZMB)較新型號 Vaisala 閃電儀的數據，包括 GMB 的 5 台 LS7001 閃電儀及 SZMB 的 5 台 LS8000 閃電儀(圖 1)。另一方面，TLP 新的閃電定位方法能更有效地篩選出較準確的閃電儀原始數據，用以定出更準確的閃電位置。同時，新的閃電定位方法能更準確地識別雲地閃及雲間閃電，從而進一步提高閃電探測效率。

天文台利用各閃電儀從 2016 年 1 月 1 日至 2017 年 3 月 31 日的原始數據，反復調教閃電定位算法的各個參數，然後重新演算，用以優化 TLP。

TLP 新閃電定位方法原理跟 LP2000 的方法類似，同樣是利用探測儀接收閃電釋放出來的低頻電磁波的時間及方向差別來推算出閃電的位置。在 TLP 優化過程中我們發現如在演算中剔除 LS 系列閃電儀的方向數據，能有效減少虛報(圖 2)，相信原因是方向數據的不確定度較大，容易引至虛報。

此外，新閃電定位算法有一新功能 Grid Filter，優化過程中我們亦發現只要適當調教 Grid Filter 的參數至表 1 的數值，並將 Grid Filter 啟動，便可以過濾在空間或時間相對孤立的「假」閃電，即由閃電儀噪聲訊號造成的虛報(圖 3)。

TLP 經優化後於 2017 年 5 月底投入業務運作。由於 TLP 閃電網絡涵蓋範圍較大，其檢測範圍較 LP2000 為大，達 300 至 500 公里。TLP 新閃電定位算法準確度較高，在所有探測站正常運作的情況下，TLP 檢測雲地閃電位置的準確度約為 200 至 300 米，而雲地閃電探測效率估計高於 90%。此外，TLP 使用較多 LS 系列閃電儀數據，該型號閃電儀能探測較多雲間閃電，所以 TLP 雲間閃電探測效率比 LP2000 高，大概有 50%。

展望閃電網絡的未來發展，天文台已在 2017 年底更新了春坎角、尖鼻咀及沙頭角的閃電儀至最新型號 LS7002。天文台計劃於 2018 年初更新澳門的閃電儀至最新型號 LS7002，並同時在香港赤鱘角機場和珠海東澳島安裝新的 LS7002 閃電儀[4]。由於 LS7002 閃電儀檢測雲地閃電位置的準確度及閃電探測效率(尤其是雲間閃電)較 LS7001 和 LS8000 更高，因此待擴充的閃電網絡運作暢順後，將進一步加強珠三角的閃電監測。

3. 全球閃電定位數據(GLD360)

天文台為配合新一代航空氣象服務的發展，於 2016 年開始向服務供應商 Vaisala 購買實時全球閃電定位數據(GLD360)，以作為航空預報員作為向航機發出危險天氣警告(SIGMET)的一個參考[5]。

GLD360 提供的閃電資訊包括閃電發生的時間、位置、電極及電流等數據[6]。值得一提的是，GLD360 不能分辨閃電類型（即雲地閃電或雲間閃電），但它能提供比 TLP 檢測範圍更廣，覆蓋全球的實時閃電數據，這點對監測遠程天氣系統發揮很大作用。GLD360 檢測閃電位置的準確度約為 1.5 至 2.5 公里，而閃電探測效率在北半球估計高於 80%，而南半球則約為 10 至 80%。

4. 與超強颱風天鴿相關之 TLP 及 GLD360 閃電資料分析

在 2017 年 8 月，當超強颱風天鴿橫過南海北部並吹襲珠三角時，在其進入南海(約 8 月 22 日 03 至 15 UTC)及靠近華南沿岸時(約 8 月 22 日 21 UTC 至 23 日 06 UTC) (圖 4) 曾出現快速增強¹的情況(詳情見表 2)。在快速增強之前，天鴿中心附近的 TLP 及 GLD360 閃電數據出現一些特徵，有別於與低壓槽相關的閃電特徵。

¹ 天文台沿用的熱帶氣旋「快速增強」指標，是指過去 12 小時熱帶氣旋中心風力增強超過 15 海里/小時[7]。

在闡述天鴿的閃電特徵前，先簡述一般強對流天氣情況下 TLP 及 GLD360 的閃電數據特徵(圖 5)。圖中顯示 2017 年 5 月 24 日的雷達降雨率、閃電及天氣圖。與低壓槽相關的典型 TLP 閃電數據，大部分為負閃，而電流強度一般少於 60 kA。至於 GLD360 閃電數據，則正負閃數目相若，電流強度一般少於 25 kA。對比圖 5 中大概相同時段的 TLP 和 GLD360 閃電數據，顯示 GLD360 與 TLP 閃電位置大致吻合，但 GLD360 檢測的電流強度一般較 TLP 弱。縱然如此，當天鴿剛進入南海，TLP 監測範圍未能覆蓋時，GLD360 閃電數據還是有很好的參考價值。

圖 6 顯示當天鴿剛進入南海，尚未開始快速增強，GLD360 顯示天鴿中心附近出現密集的強電流閃電 - 接近甚至超過 100 kA 的正閃及負閃。而至天鴿靠近華南沿岸，尚未再度快速增強時，TLP 顯示天鴿中心附近出現強電流 - 超過 140 kA 的正閃及超過 160 kA 的負閃 (圖 7)。

5. 天鴿的閃電數據跟其他熱帶氣旋之比較

2017 年影響香港的熱帶氣旋除天鴿外，還有苗柏、洛克、帕卡、瑪娃和卡努。其中瑪娃和卡努附近沒有閃電，而苗柏和洛克附近的閃電電流較弱，少於 100 kA。值得一提的是這四個熱帶氣旋並沒出現快速增強的情況。

至於帕卡，在靠近華南沿岸時(約 8 月 26 日 12 至 21 UTC)曾快速增強 (表 3)，而帕卡附近的 GLD360 閃電數據在其即將快速增強時也出現類似天鴿的強電流特徵，中心附近出現密集的強電流閃電 - 50 至 100 kA 的負閃 (圖 8)。

6. 總結

天文台近一兩年更新了閃電定位資訊系統伺服器至最新型號 TLP，並採用新的閃電定位演算法，再加上 GLD360 的數據，令預報員獲取更豐富的閃電資訊。尤其是在監測與熱帶氣旋相關的閃電時，我們可以在熱帶氣旋距離香港較遠時參考 GLD360 數據，至熱帶氣旋移近華南沿岸時則同時利用探測閃電準確度較高的 TLP 來監測。這可讓預報員早於熱帶氣旋在西太平洋發展初期，至其進入南海並靠近沿岸整個熱帶氣旋生消時段，皆可作連續而有系統的閃電數據監測。

天文台利用相輔相成的 TLP 和 GLD360 閃電數據，有效地監測了 2017 年影響華南沿岸的各個熱帶氣旋附近的閃電狀況。我們發現上述天鴿和帕卡兩個案例顯示強電流閃電可能有機會與熱帶氣旋快速增強有關，這點有待進一步探討研究。

展望未來，當香港赤鱘角機場、澳門和珠海東澳島也安裝了探測準確度和效率也較高的最新型號 LS7002 閃電儀後，將可掌握更多、更準確的閃電資訊，有助收集並研究熱帶氣旋附近的閃電數據，進一步探討其與熱帶氣旋強度變化的關係。

7. 鳴謝

筆者們感謝徐傑志先生為本文提供寶貴意見，同時亦感謝程序分析員黃錦明先生協助開發應用程式，用以分析並顯示閃電數據。

8. 參考文獻

- [1] Vaisala, 2004: IMPACT ESP Model 141 – TESP User’s Guide Version 1.3, Vaisala Oyj, Helsinki, Finland.
- [2] Vaisala 2003: LP Series, LP2000, LP5000 User's Guide, Vaisala Oyj, Helsinki, Finland.
- [3] Vaisala 2014: TLP Series User's Guide, Total Lightning Processor, Vaisala Oyj, Helsinki, Finland.
- [4] Vaisala 2013: Vaisala Thunderstorm Advanced Total Lightning Sensor LS7002 (<https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/WEA-LS7002-Datasheet-B211284EN-A-LOW.pdf>)
- [5] 韓啟光、李淑明, 2017: 區域與全球閃電定位數據於廣東沿岸的初步比對，第 31 屆粵港澳氣象科技研討會，香港，2017 年 2 月 27 日-3 月 1 日。
- [6] Vaisala 2014: Vaisala Global Lightning Dataset GLD360 (Data Sheet) (<https://www.vaisala.com/sites/default/files/documents/WEA-MET-GLD360%20Datasheet-B210800EN.pdf>)
- [7] T.C. Lee, H.F. Tam and C.W. Choy, 2017: Development of Objective Forecast Guidance on Rapid Intensification of Tropical Cyclones over the Western North Pacific, presented in the 49th Session of Typhoon Committee, 21-24 Feb 2017, Yokohama, Japan (http://www.typhooncommittee.org/49th/Docs49/TC49Presentations/Item%205.3_12_TINTRI_TC49_v6.pdf)

表 1 Grid Filter 參數

參數	值
<網格分佈>	
Latitude Minimum (degrees)	-90.0
Latitude Maximum (degrees)	+90.0
Longitude Minimum (degrees)	-180.0
Longitude Maximum (degrees)	+180.0
Rows	1000
Columns	2000
<閃電在網格內發生之有效期>	
Active Duration (minutes)	10.0
<閃電定位豁免被 Grid Filter 過濾的限值>	
Location Accuracy (km)	5.0
Degrees Of Freedom	4

表 2 天文台分析天鴿之最佳路徑（天鴿出現快速增強時間以黃色標示-即中心風力過去 12 小時增強 15 海浬/小時或以上）

日期 (年/月/日)	時間 (UTC)	強度	中心位置 (北緯)	中心位置 (東經)	中心氣壓 (hPa)	中心附近最高 10 分鐘平均 持續風速 (海浬/ 小時)	中心風力 過去 12 小時變化 (海浬/ 小時)
2017/08/21	03	熱帶風暴	20.1	124.8	994	35	
2017/08/21	06	熱帶風暴	20.4	124.3	994	35	
2017/08/21	09	熱帶風暴	20.4	123.8	994	35	
2017/08/21	12	熱帶風暴	20.4	122.8	990	40	
2017/08/21	15	熱帶風暴	20.3	122.3	990	40	+5
2017/08/21	18	熱帶風暴	19.5	120.8	990	40	+5
2017/08/21	21	熱帶風暴	19.7	120.7	988	45	+10
2017/08/22	00	強烈熱帶風暴	20.0	120.1	985	50	+10
2017/08/22	03	強烈熱帶風暴	20.2	119.4	982	55	+15
2017/08/22	06	颱風	20.5	118.6	975	65	+25
2017/08/22	09	颱風	20.5	117.8	975	65	+20
2017/08/22	12	颱風	20.5	117.4	970	70	+20
2017/08/22	15	颱風	20.8	116.6	965	75	+20
2017/08/22	18	颱風	21.0	116.0	965	75	+10
2017/08/22	21	颱風	21.2	115.2	962	80	+15
2017/08/23	00	強颱風	21.5	114.5	955	90	+20
2017/08/23	03	超強颱風	21.9	113.7	950	100	+25
2017/08/23	06	強颱風	22.1	112.9	955	90	+15
2017/08/23	09	颱風	22.4	112.0	970	70	-10
2017/08/23	12	強烈熱帶風暴	22.7	110.9	985	50	-40
2017/08/23	15	熱帶風暴	22.8	109.9	988	45	-55
2017/08/23	18	熱帶風暴	22.9	109.2	990	40	-50

表 3 香港天文台分析帕卡之最佳路徑（帕卡出現快速增強時間以黃色標示-即中心風力過去 12 小時增強 15 海浬/小時或以上）

日期 (年/月/日)	時間 (UTC)	強度	中心位置 (北緯)	中心位置 (東經)	中心氣壓 (hPa)	中心附近最高 10 分鐘平均 持續風速 (海浬/ 小時)	中心風力 過去 12 小時變化 (海浬/ 小時)
2017/08/25	0	熱帶風暴	15.0	123.9	994	35	
2017/08/25	3	熱帶風暴	15.3	123.4	994	35	
2017/08/25	6	熱帶風暴	15.5	123.0	990	40	
2017/08/25	9	熱帶風暴	15.7	122.6	990	40	
2017/08/25	12	熱帶風暴	16.0	122.3	990	40	+5
2017/08/25	15	熱帶風暴	16.5	121.8	990	40	+5
2017/08/25	18	熱帶風暴	16.7	121.2	990	40	0
2017/08/25	21	熱帶風暴	17.2	120.8	994	35	-5
2017/08/26	0	熱帶風暴	17.5	119.8	994	35	-5
2017/08/26	3	熱帶風暴	17.8	119.0	994	35	-5
2017/08/26	6	熱帶風暴	18.2	118.1	990	40	0
2017/08/26	9	熱帶風暴	18.9	117.2	988	45	+10
2017/08/26	12	強烈熱帶風暴	19.4	116.3	985	50	+15
2017/08/26	15	強烈熱帶風暴	20.0	115.5	982	55	+20
2017/08/26	18	強烈熱帶風暴	20.8	114.8	982	55	+15
2017/08/26	21	強烈熱帶風暴	21.6	114.1	980	60	+15
2017/08/27	0	強烈熱帶風暴	22.0	113.4	980	60	+10
2017/08/27	3	強烈熱帶風暴	22.3	112.5	985	50	-5
2017/08/27	6	熱帶風暴	22.8	111.7	990	40	-15
2017/08/27	9	熱帶風暴	23.0	110.7	998	30	-30
2017/08/27	12	熱帶低氣壓	23.3	110.1	1000	25	-35

圖 1 天文台閃電資訊系統新伺服器 TLP 使用之閃電站網絡

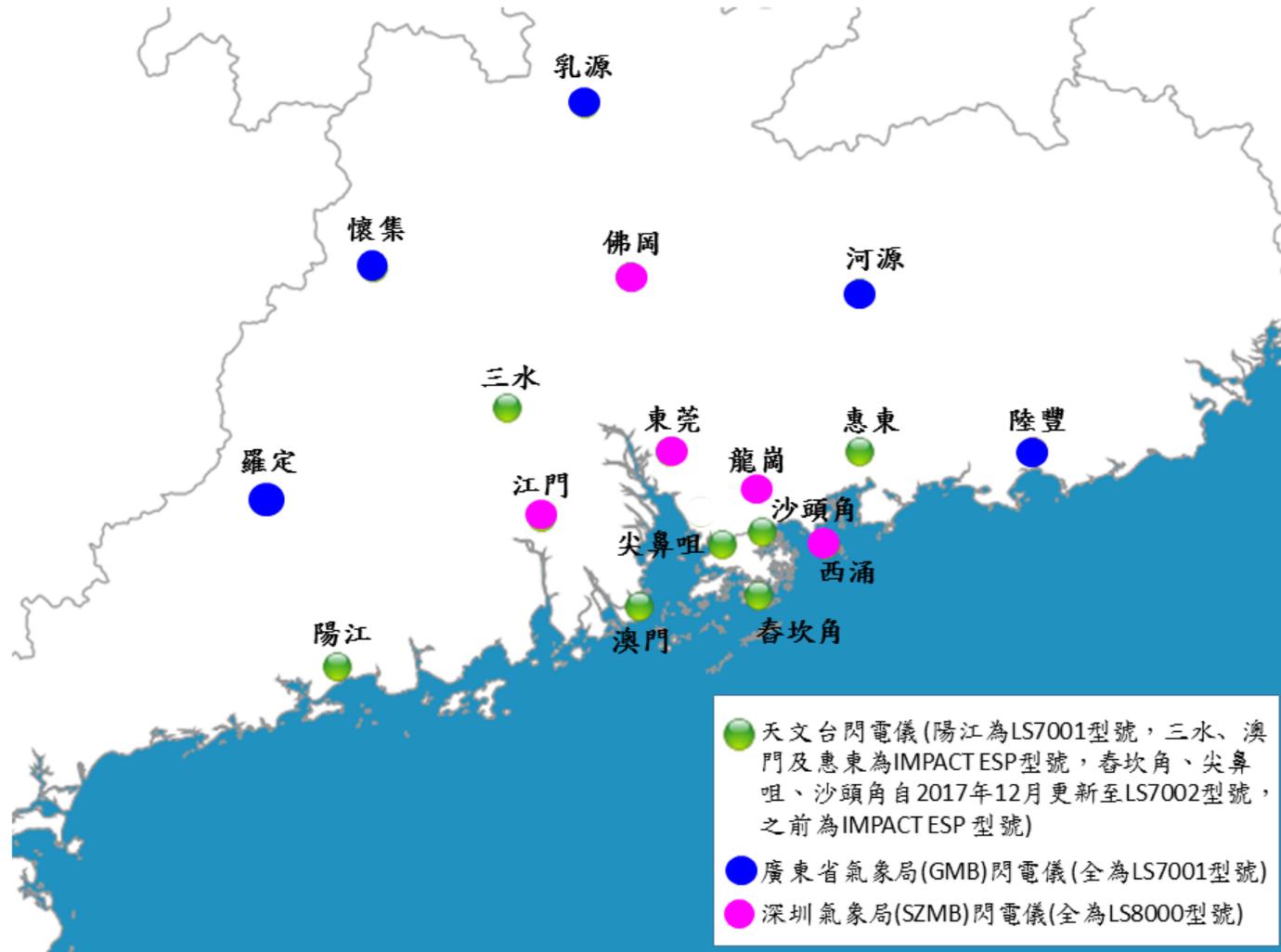


圖 2 2016 年 7 月 9 日香港時間 20:48 至 20:54 之 TLP 閃電定位及雷達降雨率圖

(比較(a)所有閃電儀的方向數據皆參與閃電定位及(b)LS系列閃電儀方向數據沒有參與定位，(a)圖中以黑色箭頭標示，並沒有對應雷達回波的「假」閃電，在(b)圖中被成功移除。)

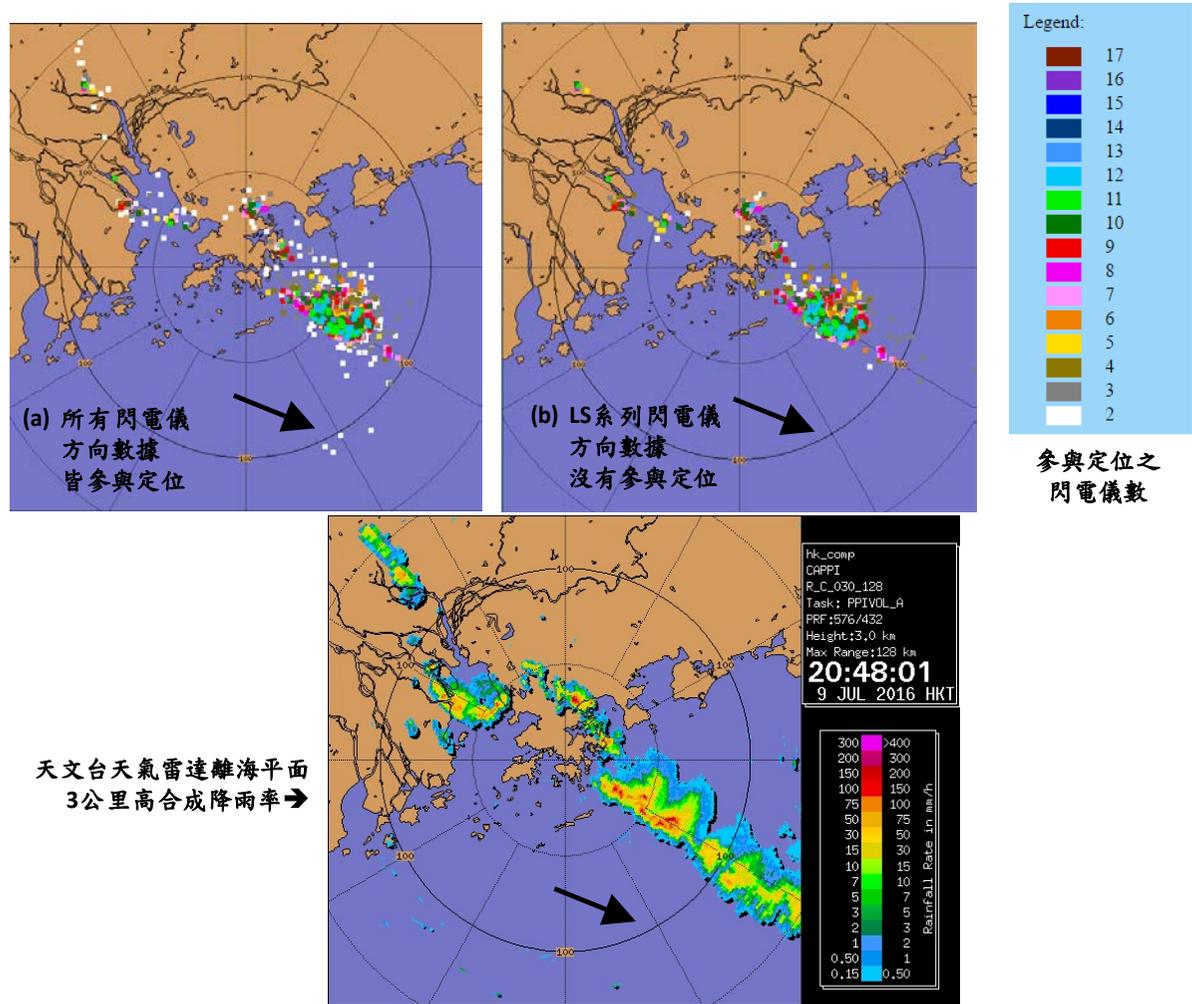


圖3 2017年4月28日香港時間05:42至05:48之TLP閃電定位及雷達降雨率圖

(比較(a)沒有啓動 Grid Filter 及(b)啓動了 Grid Filter，(a)圖中以黑色箭頭標示，並沒有對應雷達回波的「假」閃電，在(b)圖中被 Grid Filter 成功過濾。)

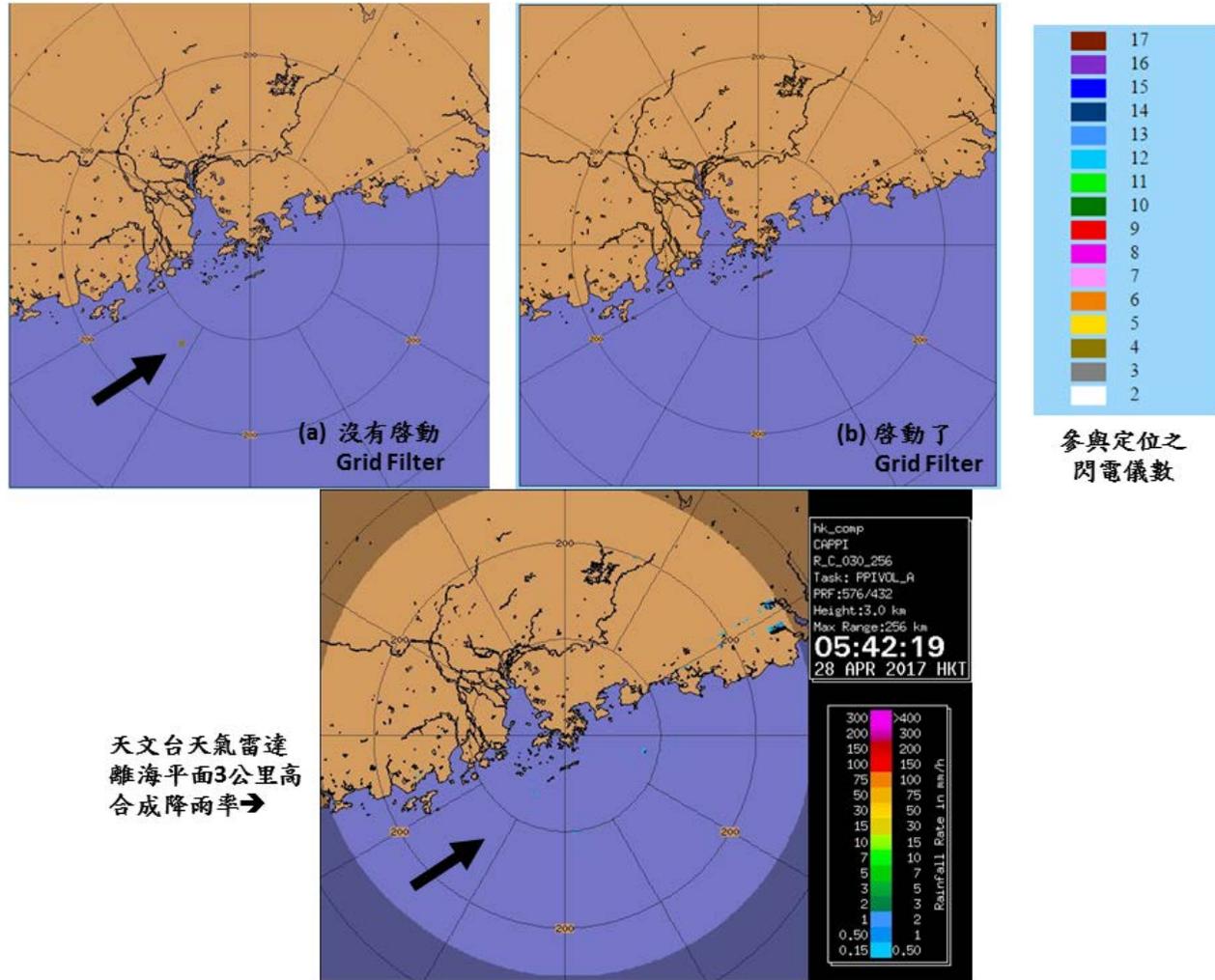


圖 4 天鴿路徑圖

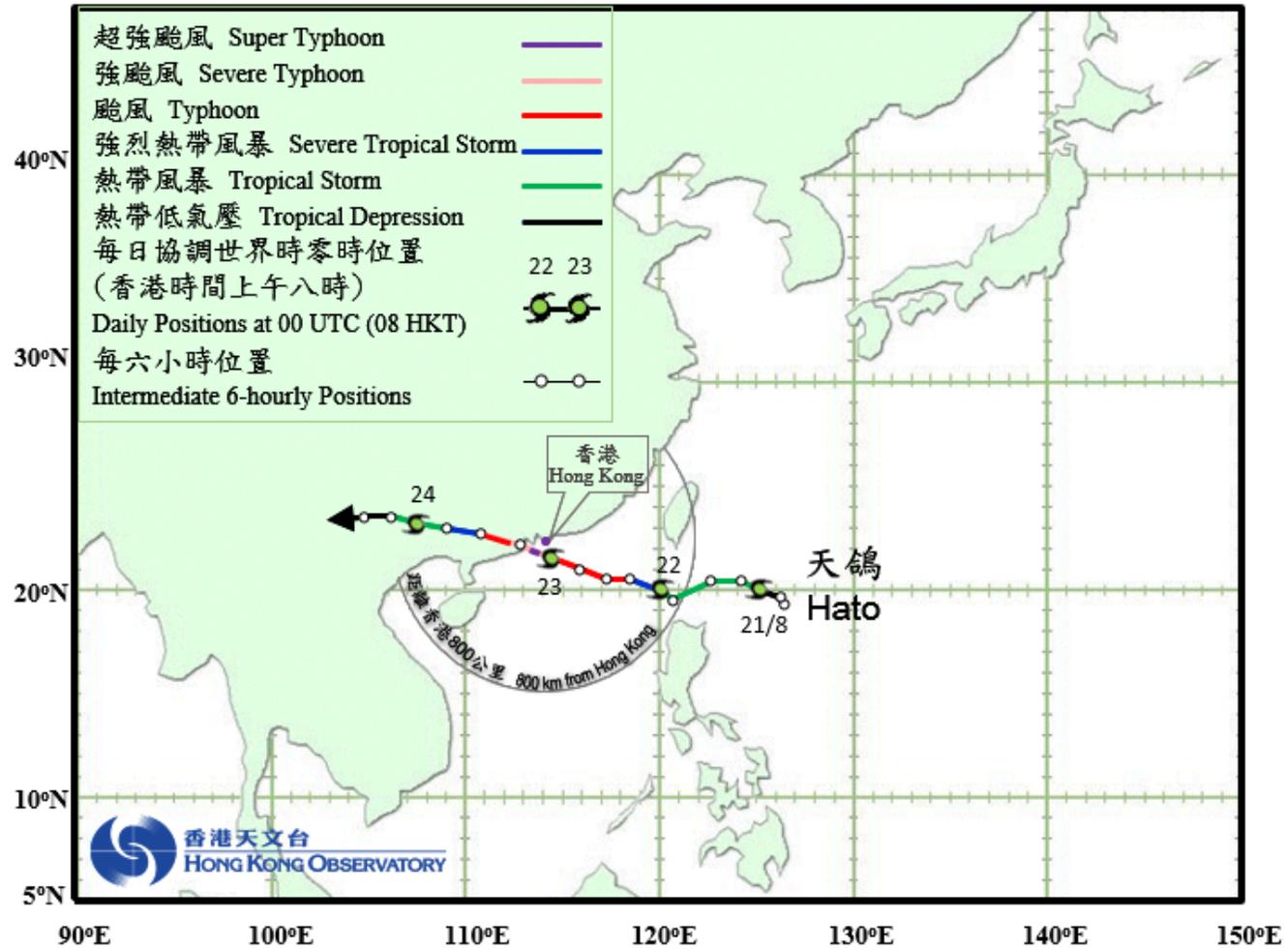


圖 5 (a) 2017 年 5 月 24 日香港時間 11:48 至 11:54 之 TLP 閃電定位及電流峰值
 (b) 2017 年 5 月 24 日香港時間 11:45 至 11:50 之 GLD360 閃電定位及電流
 (c) 2017 年 5 月 24 日香港時間 11:48 至 11:54 之雷達降雨率
 (d) 2017 年 5 月 24 日香港時間 08:00 之天氣圖
 (當日低壓槽觸發強對流天氣，帶來強降雨及閃電，天文台曾發出黃色、紅色及黑色暴雨警告)

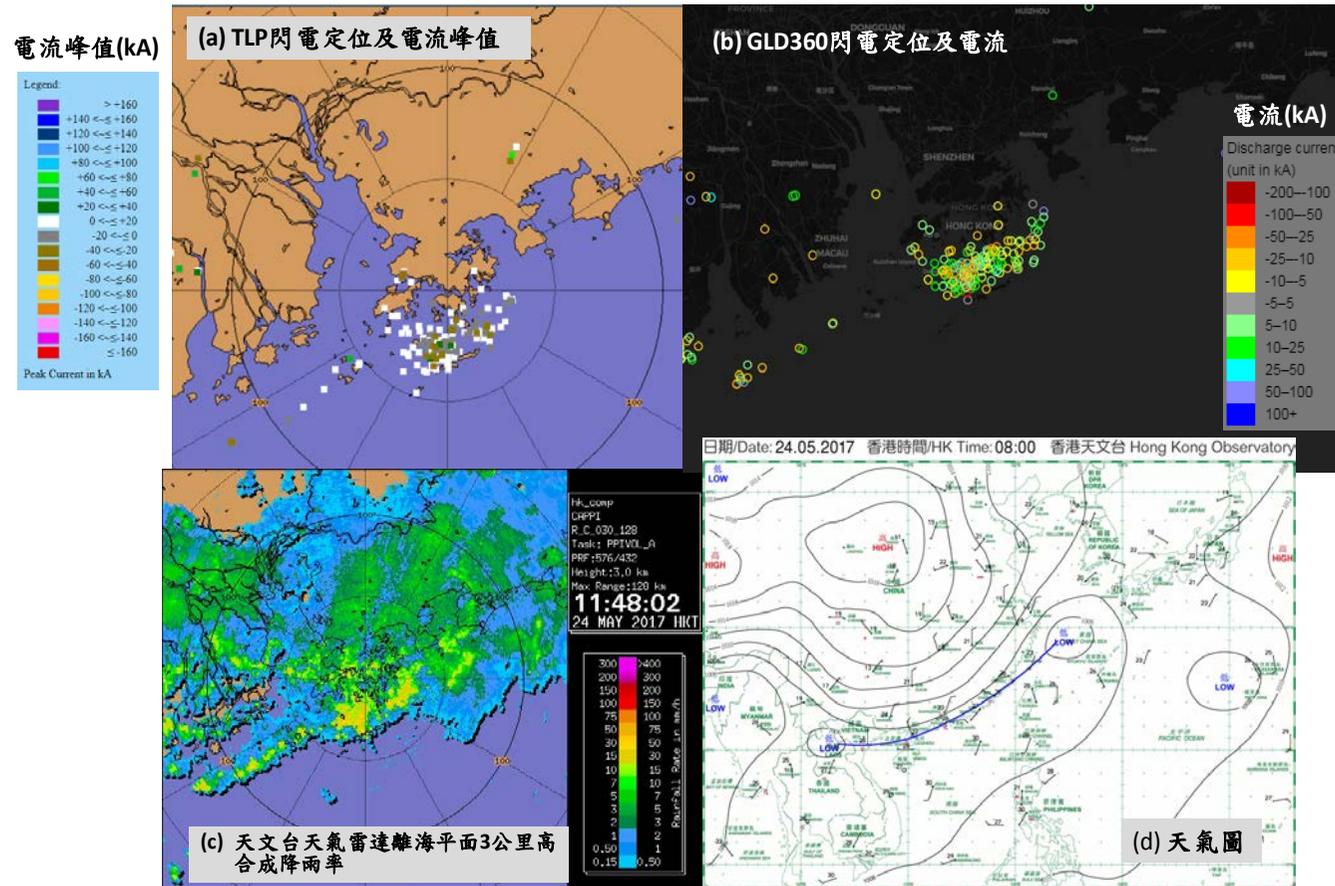


圖 6 (a) 2017 年 8 月 22 日香港時間 08:40 至 08:45 天鴿中心附近的 GLD360 閃電定位及電流強度
 (b) 天鴿路徑圖
 (灰色箭頭顯示天鴿中心位置)

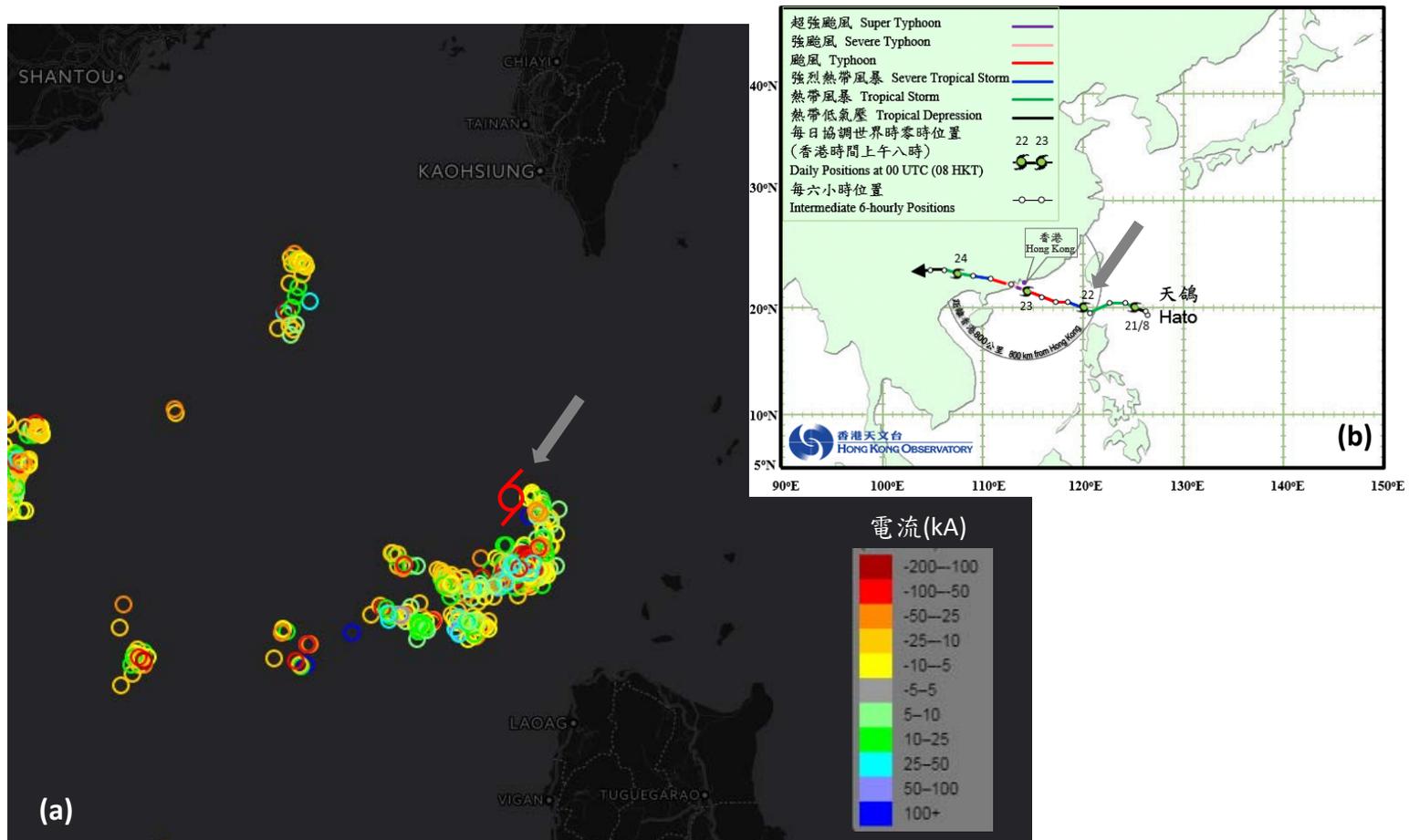


圖 7 (a) 2017 年 8 月 23 日香港時間 04:54 至 05:00 之 TLP 閃電定位及電流峰值
 (b) 天鴿路徑圖
 (c) 2017 年 8 月 23 日香港時間 04:54 至 05:00 之雷達降雨率
 (黑色箭頭顯示天鴿中心位置，圖(a)中顯示天鴿中心附近有密集強電流閃電)

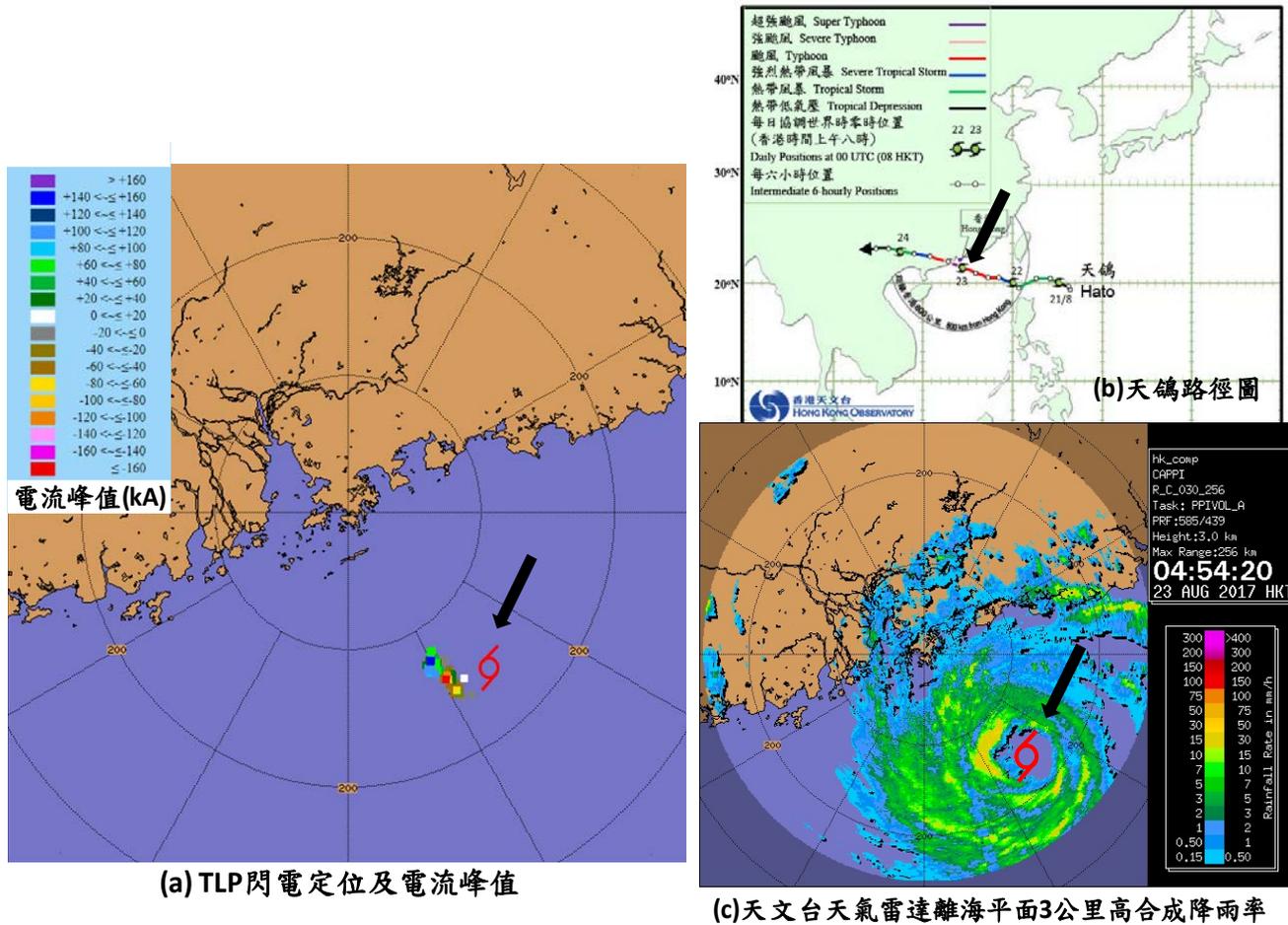


圖 8 (a) 2017 年 8 月 26 日香港時間 19:40 至 19:45 帕卡中心附近的 GLD360 閃電定位及電流強度
 (b) 帕卡路徑圖
 (灰色箭頭顯示帕卡中心位置)

