

宇宙射線之地球對流層剖面量測實驗

一次臺灣大學理工學生團隊跨領域合作實例

林博雄¹ 南智祐² 魏瑀潔¹ 朱書寬³ 石恩³ 黃偉峻¹ 張權峰⁴

¹臺灣大學大氣科學系

²臺灣大學深次震宇宙學與粒子天文物理學研究中心

³臺灣大學物理學系

⁴臺灣大學機械所

摘要

本文說明五位臺灣大學理工科系學生，在一項「宇宙射線之大氣垂直剖面量測實驗」專題中，自行製作一套宇宙粒子數量計數器重新改寫美國 interMet Systems 公司研究型無線電探空儀的接收軟體、製作更精良的無線電探空儀指向性地面接收天線、製作計數器和探空儀的通連介面與電力模組、起飛前的地面長距離通訊測試，最後在 2015 年 1 月 26 日 11:42LST 由 600g 探空氣球酬載升空。i-Met 探空儀所傳送的經緯度高度三維資訊顯示該套設備由台灣大學校總區升空，先垂直爬升後往東飄向南港汐止上空（約 5.7km 高度），抵達貢寮濱海上空時已達 12.3 km 高度，飛進太平洋後在距離海岸約 27.5km、16.4km 高度時氣球爆破墜海。觀測所得的宇宙粒子數量隨高度變化剖面和英國 10 次 Geiger-sonde 的結果接近；氣壓和高度的垂直變率吻合大氣穩定度關係，大氣溫度剖面則顯示 0.9~1.2km 高度之間有低雲雲層逆溫現象，第二層逆溫發生在 4.4~5.2km 之間，隨後降溫率約 $\sim -0.66^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ 。根據溫度剖面資料顯示該套設備在氣球爆破前尚未進入平流層，殊為可惜。然而，這一成果充分表徵台灣大學師生在天文物理、大氣科學以及資訊與機械工程，跨領域知識與行動合作的典範，合作過程以動態影片在 YouTube 呈現 (<https://www.youtube.com/watch?v=zodmLJqQI8>)。

關鍵字：宇宙射線、無線電探空、跨領域

一、前言：

氣球搭載的無線電探空觀測在全球行之有年，根據歐洲中長期天氣預報中心(ECMWF)在 2015 年 7 月所引用的世界氣象組織(WMO)全球電傳系統(GTS)每日的無線電探空資料交換分享數量約在 640~650 份；這些探空儀以芬蘭 Vaisala 系列的占有率最高(~50%)，2015 年台灣地區六處常態性探空站(中央氣象局的板橋、花蓮、東沙以及空軍氣象聯隊的馬公、屏東、綠島)、陸軍、各大學大氣科學系以及國研院

颱風洪水研究中心均採用 Vaisala RS92 探空儀系統，這一現況有利於作業單位和學術界在探空資料品管以及系統和耗材支援都有優勢。然而，Vaisala 探空儀系統目前並沒有開放使用者自行在探空儀上新增感測套件來進行大氣新的參數剖面觀測，目前該公司的臭氧探空儀(ozonesonde)和探空儀銜接以及臭氧資料下載都須經由該公司地面接收系統功能性解碼和輸出。美國 InterMet Systems 公司自 2003 年研

發銷售三種 Radiosonde 包括：

- iMet-1: A complete family of 403 and 1680 MHz GPS and RDF Radiosondes
- iMet-1-RS: Research Radiosonde for Ozone and Auxiliary Sensor Integration
- iMet-X: PTU and Atmospheric Chemistry Sensors for UAV Integration

iMet-1-RS 這款無線電探空儀多出一條數位輸出訊號線，允許使用者自行開發套件搭配它既有的氣溫濕度氣壓以及 GPS 感測元件的量測一起傳送回到地面接收機；Hurst et al. (2011) 曾討論其與 Vaisala 探空儀 28 對的觀測比對實驗，英國 Met Office 研究人員也曾利用 iMet-1-RSB 製作一些實驗室套件來配合氣象氣球和無線電探空儀進行大氣垂直剖面觀測，2009 年 ECC 公司則開發了一套 ozonesonde 專門提供 iMet-1-RS 銜接使用；iMet 探空儀的 external data link 相當受到研發者的歡迎，使 iMet Radiosonde 更具有教學與研究測試的便利性。2009 年臺灣大學大氣科學系購入一套 iMet 3150 簡易型地面接收系統(價格是 Vaisala 公司的~1/10)和幾份常規型探空儀 iMet-1 和 iMet-1-RS 研究型探空儀，經過數次試用後發現 iMet 常規型探空儀有諸多缺失，穩定性不足以取代 Vaisala RS92 探空儀，其中原因包括接收介面複雜、天線品質不佳以及無線電頻道僅有 402-403-404MHz 三道，在台灣地區容易受到環境其他電磁波干擾，因此我們僅使用這套設備在教學示範。

2014 年臺灣大學幾位理工系所學生(第三與第四作者)選修臺灣大學天文物理研究所粒子天文物理導論課程(由第二作者授課)，利用 4 根 Geiger Tube 製作了一套簡易的宇宙粒子計數器(Muon Detector)，但是無法送到高空進行功能驗證；團隊成員們跟第一作者討論後決定試用 iMet 研究型探空儀來以及探空氣球，做為這組 Muon Detector 升空載具(以下以 COS-MET 簡稱之)，來同步量測升空過程的大

氣環境空間經緯度以及宇宙粒子數量。所有過程由學生成員克服各種難關(一年)最後在 2015 年 1 月 26 日施放並完成觀測，第二章將簡述 COS-MET 跨領域製作到測試過程的重點項目，COS-MET 升空觀測結果則在第三章說明。

二、跨領域分工與協同過程

圖 1 簡要呈現 COS-MET 系統硬體架構與外觀示意圖，圖 2 則是實際成品升空施放前的近照；COS-MET 共三大部分：

- (1)COS Part: 由四根 Geiger tubes 組成的 Muon Detector (~300g)
- (2)Connecting Part: 由 Arduino 開放原始碼單晶片微控制器提供供電給 COS-part 以及將其輸出訊號存入記憶體，再輸出到 Met-part (~330g)
- (3)MET Part: i-Met Radiosonde 含地面接收套件 (~220g)

五位組員根據 iMet radiosonde 外接線輸入需求進行解讀，設計與製作 Connecting Part 並將 Muon Detector 訊號輸入 iMet radiosonde。iMet 地面接收端部分，組員們發現該公司提供的手持式無線電接收機短天線性能不佳(只有 10 km 水平空間接收範圍)，於是自行製作一根 Yagi 指向性接收天線。其次發現 interMet 公司的內建資料接收介面繁複不友善、GPS 接收需手動解除，以及氣壓感測如果沒有升空下降趨勢，則不啟動資料傳輸等等缺陷。因此組員以 Python 語法自行從 RTL2832U 解碼器和 IC-R20 音頻訊號線自行接收原始輸出資料解碼和存檔(圖 3)，經過兩次地面遠距離(文山區樟山寺一大安森林公園、文山區樟山寺—士林區文間山)訊號發射與接收測試，最後進入實際觀測飛行安排。

三、升空觀測結果

組員在 2015 年 1 月 26 日上午集結在臺灣

大學大氣科學系草坪，充灌 600g 探空氣球，利用珍珠板外盒、棉繩、熱熔膠將 COS Part 以及 Connecting Part 封裝、銜接 Met Part 之後的總重~880g。COS-MET 在當日 11:42LST 升空，一組組員在臺灣大學大氣科學 C 館 8F 屋頂手持自製 Yagi 天線轉動以確保訊號最佳化。i-Met 探空儀所傳送的經緯度高度三維資訊，顯示該套設備由臺灣大學校總區升空，先垂直爬升後往東飄向南港汐止上空（約 5.7km 高度），抵達貢寮濱海上空時已達 12.3 km 高度，飛進太平洋後在距離海岸約 27.5km、16.4km 高度時氣球爆破墜海。飛行過程的宇宙射線、大氣環境以及時空位置等觀測資料經過謹慎檢查，濾除三度空間連續性不合理數值，其次濾除宇宙粒子數量不合理數值，最後再濾除大氣氣壓以及氣溫不合理數值，最後有效資料筆數由原始 3892 筆過濾後剩下 1094 筆（總數 ~28.1%），可惜的是濕度感測值是完全無效。圖 4 顯示宇宙粒子與 Harrison et al. (2014) 在英國 2013~2014 期間所施放 10 次 Geiger-sonde 的結果接近，氣壓和高度的垂直變率符合大氣穩定度關係（圖 5），大氣溫度剖面（圖 6）則顯示 0.9~1.2km 高度之間有低雲雲層逆溫現象，第二層逆溫發生在 4.4~5.2km 之間，隨後降溫率約 ~ -0.66°C / 100m。

四、結論與展望

從實際 COS-MET 觀測數據顯示這套學生作品的硬體細節仍不是完美，資訊內隱藏的雜訊將近一半，對於資料應用分析的資料品質要求還有一段距離。美國 Droplet Measurement Technologies(2014)為 iMet-1-RS radiosonde 製作專屬 Ozonesonde，Jordan and Hall (2013)也為 iMet 設計一套 Skysonde 接收軟體，然而 COS-MET 則是一群沒有計畫經費的臺灣大學師生們，結合天文物理、大氣科學以及資訊與機械工程等不同領域知識與行動的一次合作個案，包含圖一中說明的 COS Part 的 Muon

Detector、Connecting Part 所有套件製作、MET Part 的地面接收天線以及改寫 iMet 資料接收介面。這一次 COS-MET 作品從無到有、地面測試到空中飛行的影像記錄，剪接後上傳 Youtube 加以呈現 (<https://www.youtube.com/watch?v=zodmLJqQI8>)。組員們集結所有文件加以整理和傳承，第一作者再度購入三套 i-Met-1-RS 探空儀並招募新組員加入來修正瑕疵步驟與設計，希望能獲得地面到 30km 高度的宇宙射線剖面，並進而發展高空電荷感測套件來觀測積雨雲大氣剖面特徵。

參考文獻

- Droplet Measurement Technologies, 2014:
Model 2ZV7-ECC Atmospheric Ozonesonde Sounding System.
http://dev.dropletmeasurement.com/sites/default/files/ManualsGuides/Hardware_Manuals/ECC_Ozonesonde.pdf
- Harrison, R.G., K.A. Nicoll and K.L. Aplin, 2014:
R.G. Harrison a, K.A.Nicoll a, K.L.Aplin.
Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, **119**, 203–210.
- Hurst, D. F., E. G. Hall, A. F. Jordan, L. M. Miloshevich, D. N. Whiteman, T. Leblanc, D. Walsh, H. V'omel and S. J. Oltmans, 2011:
Comparisons of temperature, pressure and humidity measurements by balloon-borne radiosondes and frost point hygrometers during MOHAVE-2009. *Atmos. Meas. Tech.*, **4**, 2777–2793.
- Jordan, A. and E. Hall, 2013: SkySonde User Manual. National Oceanic and Atmospheric Administration.
<ftp://ftp.cmdl.noaa.gov/user/emrys/SkySonde%20User%20Manual.pdf>

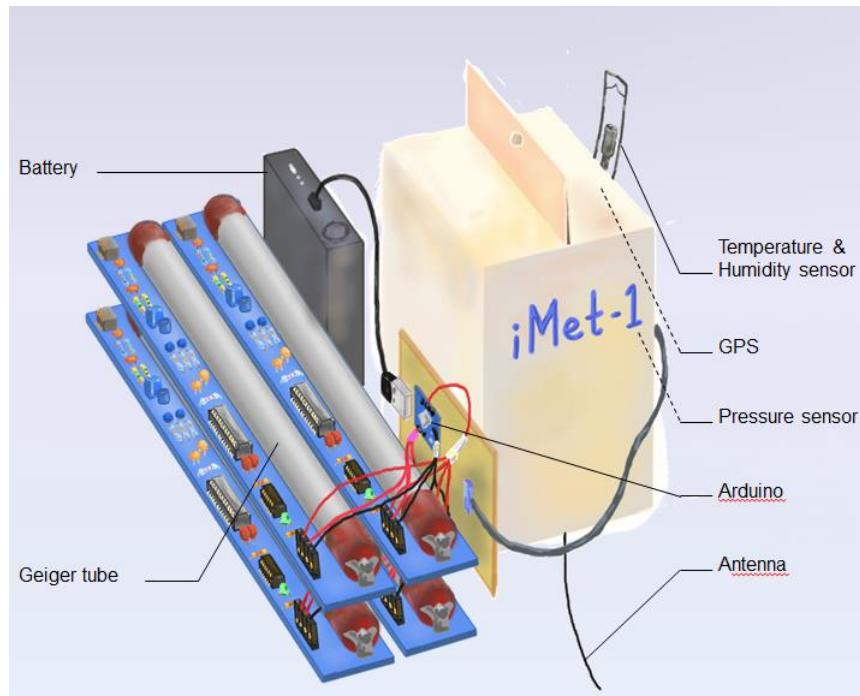
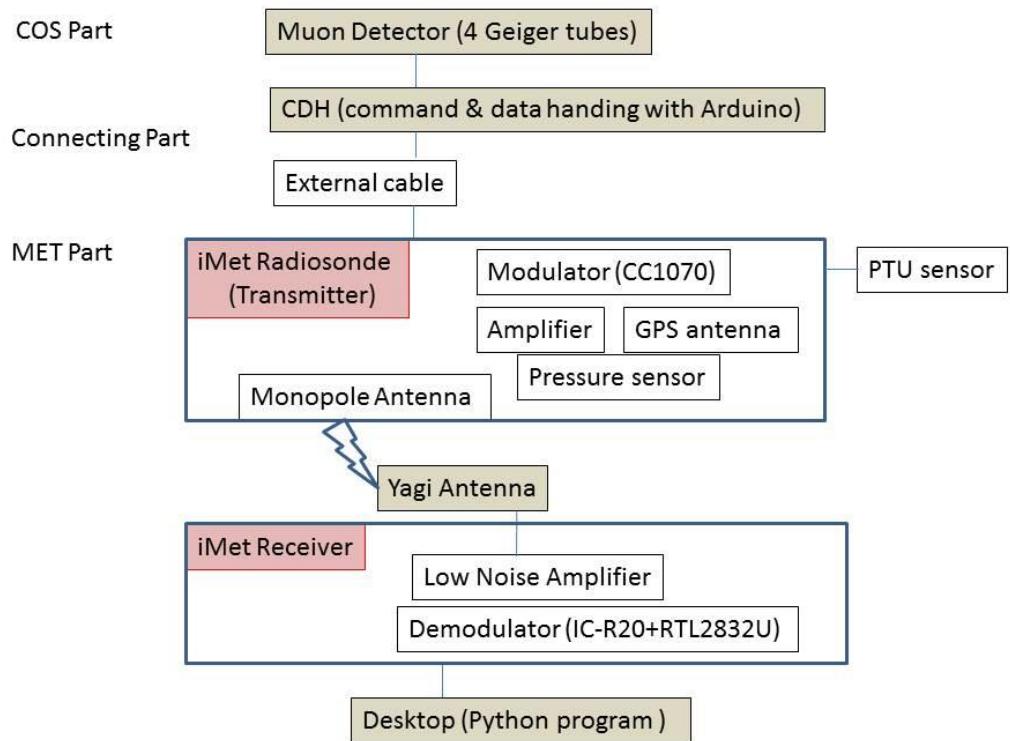


圖 1: 本文 COS-MET 結構示意圖，上圖灰色框區為團隊成員製作。

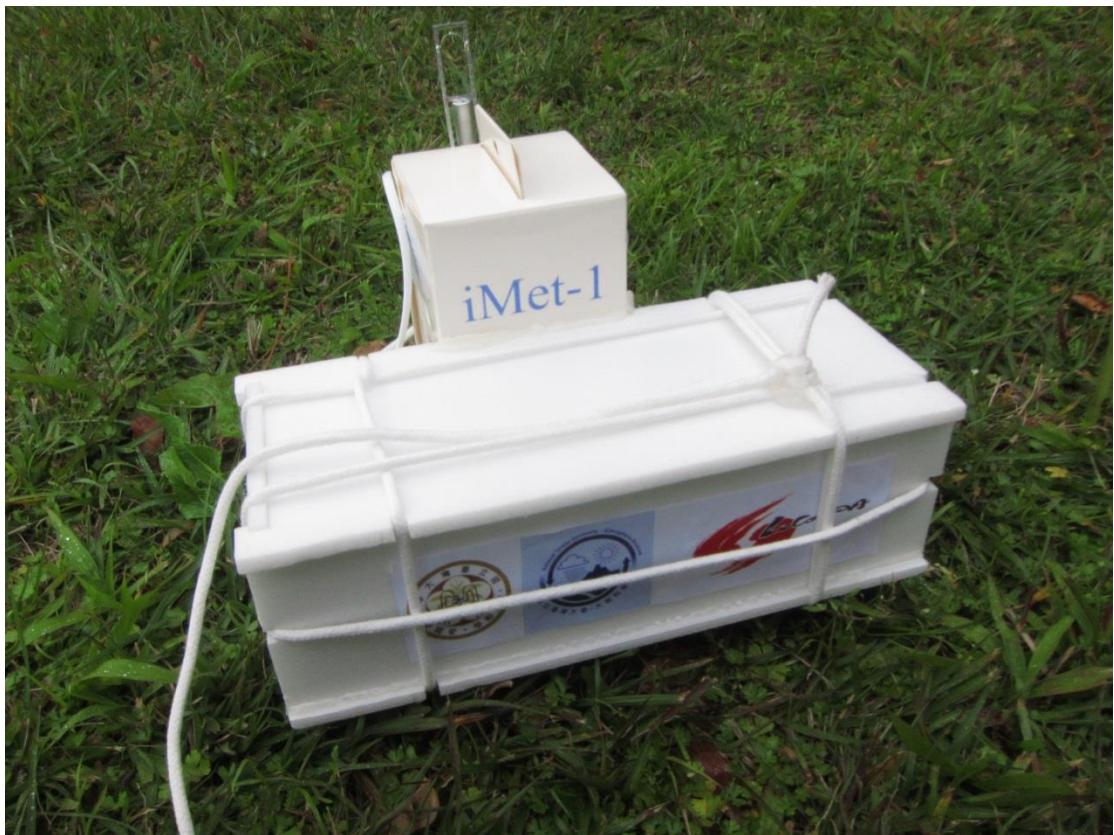


圖 2: 本文 COS-MET 外觀與升空酬載準備。

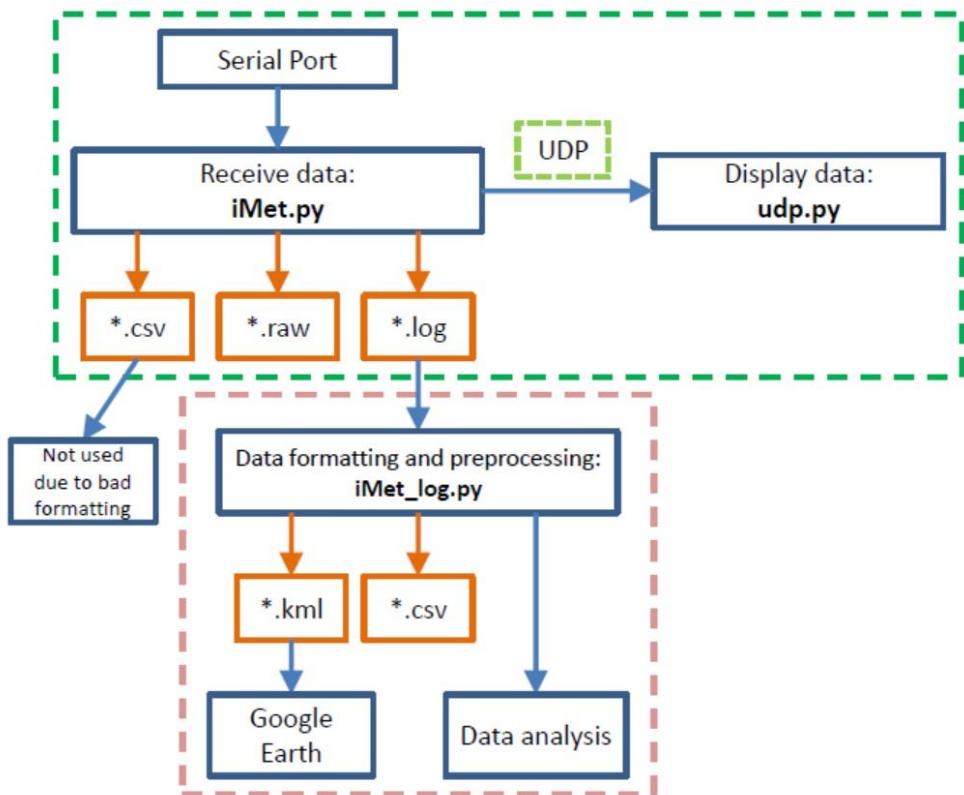


圖 3: COS-MET 地面接收端的程式設計與診斷分析結構圖。

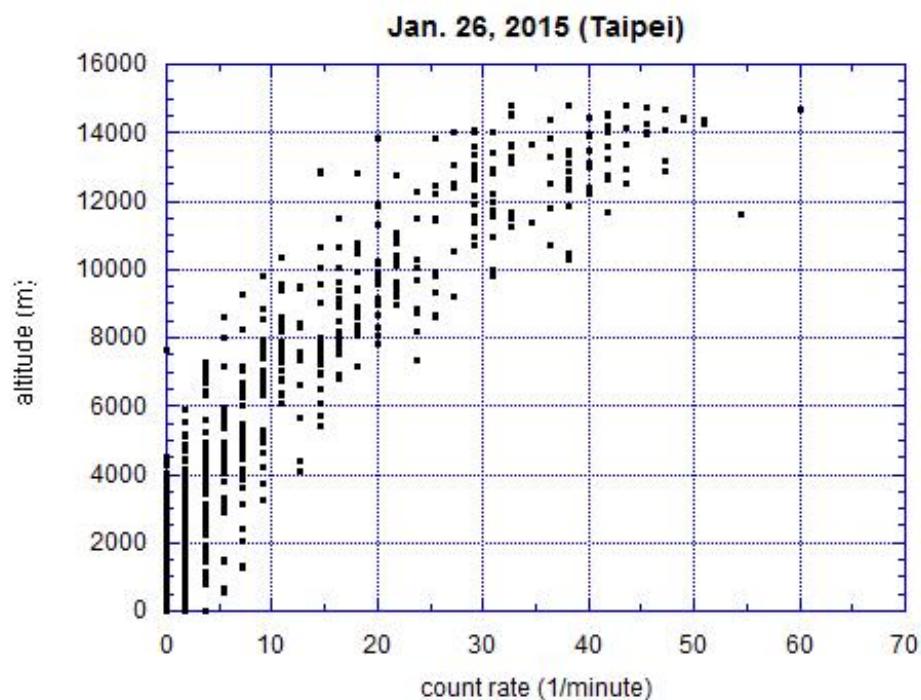


圖 4: COS-MET 套件量測的宇宙粒子數量隨高度的垂直剖面。

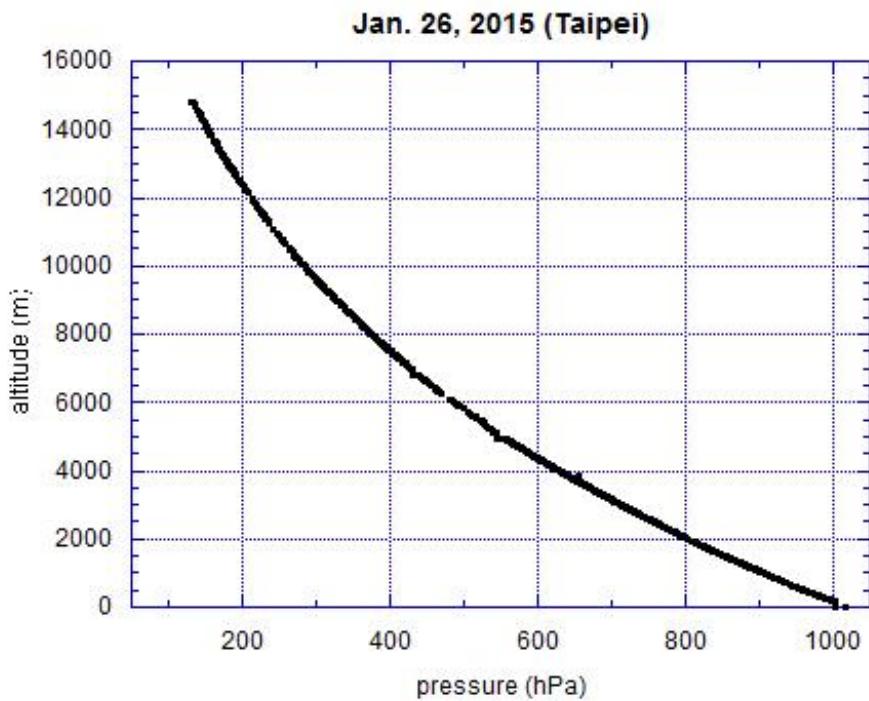


圖 5: COS-MET 套件量測的氣壓隨高度的垂直剖面。

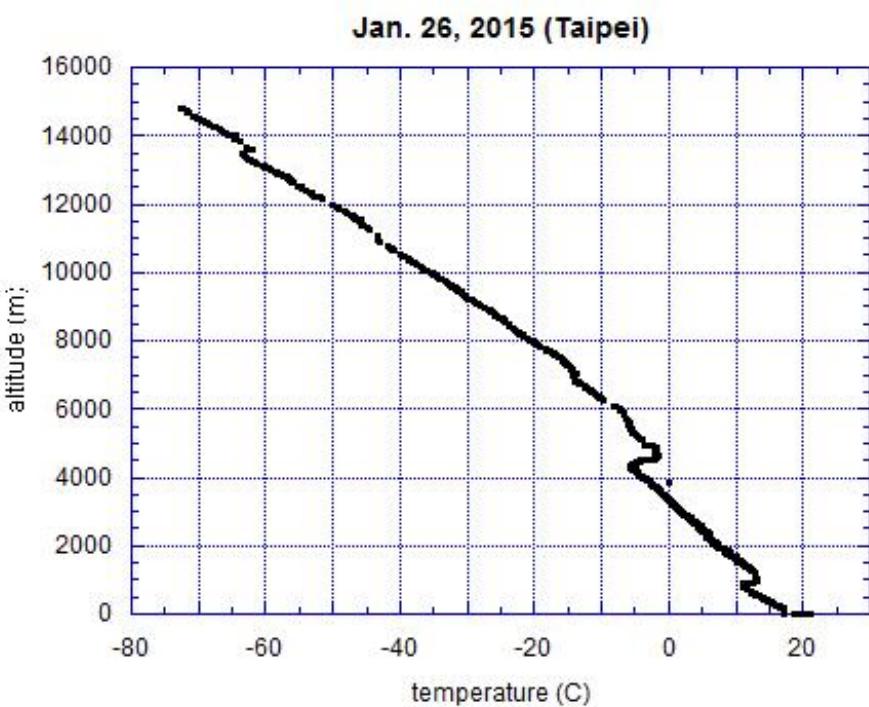


圖 6: COS-MET 套件量測的氣溫隨高度的垂直剖面。