

中華民國第 63 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高中組 地球與行星科學科

探究精神獎

051905

洞察號探索-火星非地震訊號分析

學校名稱：國立臺灣師範大學附屬高級中學

作者： 高二 蔡尚佑 高二 姜駿睿	指導老師： 王靖華
---------------------------------	------------------

關鍵詞：火星、SEIS、InSight

摘要

洞察號自 2018 年登陸火星，累積了大量的震動訊號也高頻率採集持續性的天氣資料。本研究以分析非火星內部地震引發的震動訊號為主，找出天氣變化對非地震訊號的影響，或其他可能引發非地震訊號的因素。以 Python 進行資料分析後顯示無論白天或黑夜，2~7 Hz 頻率範圍會出現數個峰值，比對風速時變化得知除 2.4 Hz 的訊號外，大多數是地表以上的風引起登陸器或太陽能面板搖晃導致。在季節變化方面，SEIS 於火星夏季夜晚記錄到的震動訊號相對白天少，應該是夏季白天受熱對流旺盛使擾動多，導致非地震訊號頻率頻繁。而火星冬季受沙塵影響，夜晚的非地震訊號與白天差不多，甚至超越白天，同樣在 2~7 Hz 出現數個峰值，但強度不同。

壹、前言

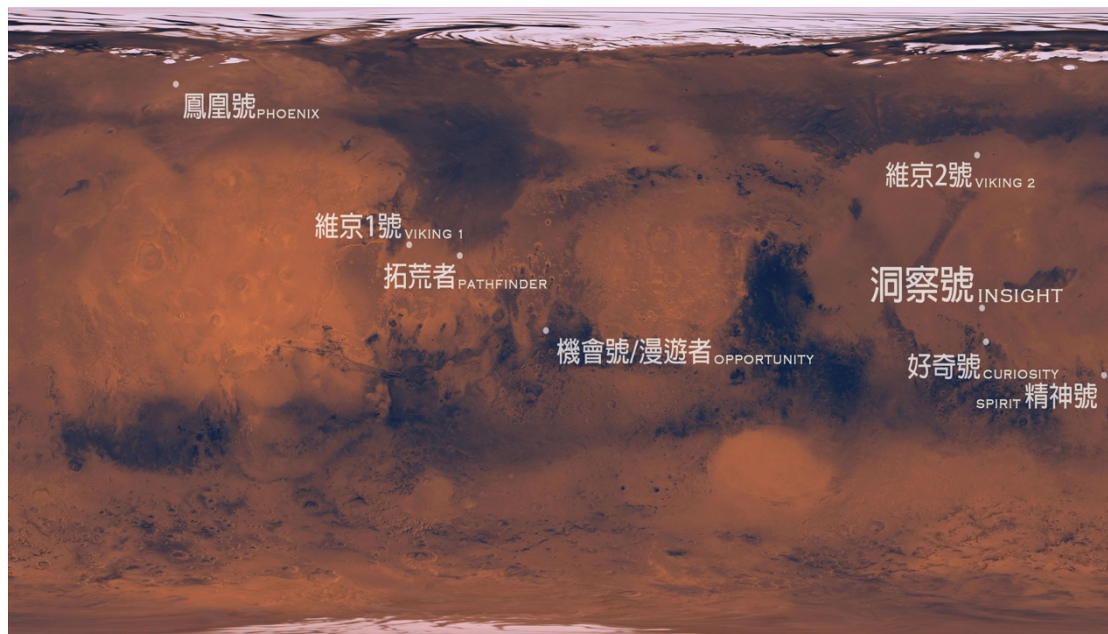
一、研究動機

火星一直以來都是人類最感興趣的星球，有許多與地球相似之處，例如自轉週期與地球相當；其自轉軸傾斜 25 度，與地球同樣有四季變化，甚至表面上有水的痕跡等，令好奇的科學家們對其進行了許多觀察。不同於以往的表面勘查，洞察號 InSight 裝載了「內部構造地震儀」、「熱流及物理特性綜合探測器」以及「自轉和內部結構實驗儀」，以及「天氣和環境感應器」，將針對火星進行深度探索。自 2018 年登陸火星後，洞察號累積了大量火星震資料，並檢測到一千多次的火星震，證實這顆星球還活躍著，也讓科學家精確繪製出火星地殼厚度與地核大小，在此之前，我們對火星內部結構認知非常模糊，這些研究結果將有助於我們以此結果更了解類地行星。而我們感興趣的是非火星內部地震所引發的訊號，而是其他也可能引發地震儀偵測到的地動訊號，比如天氣環境變化、外來隕石撞擊等，應該也會引發地震儀的紀錄，既然洞察號也同時偵測天氣，那麼日夜變化、四季變化或者大型的沙風暴對地震儀的影響到底如何？我們想釐清這些非地震訊號所代表的意義，引發我們進行進一步的探討。

二、研究目的

- (一) 探討火星上非地震訊號的日夜變化特徵
- (二) 探討火星上非地震訊號的季節變化特徵
- (三) 釐清風、溫度與壓力的影響關係

三、文獻探討



圖一、洞察號及幾個著名任務的降落地點，洞察號降落在 4.5024°N 135.6234°E (Elysium Planitia，埃律西昂平原，圖片來源：NASA)

InSight(Interior Exploration using Seismic Investigations ,Geodesy and Heat Transport)是 NASA 用於觀測並記錄火星上的震動的儀器，於 2018 年 11 月 26 日成功登陸火星。InSight 包含內部結構地震實驗儀(SEIS，Seismic Experiment for Internal Structure)、熱傳感物理特性箱(HP³，Heat Flow and Physical Properties Package)、自轉和內部結構實驗儀(RISE，Rotation and Interior Structure Experiment)、天氣和環境感應器(TWINS，Temperature and Winds for InSight)、太陽能板等，其目的是為了探測火星內部構造、熱狀態和磁場。這些儀器提供火星上的地震活動資料、氣象資料，其攝影機也拍攝了 InSight 周圍的照片。

(一) SEIS

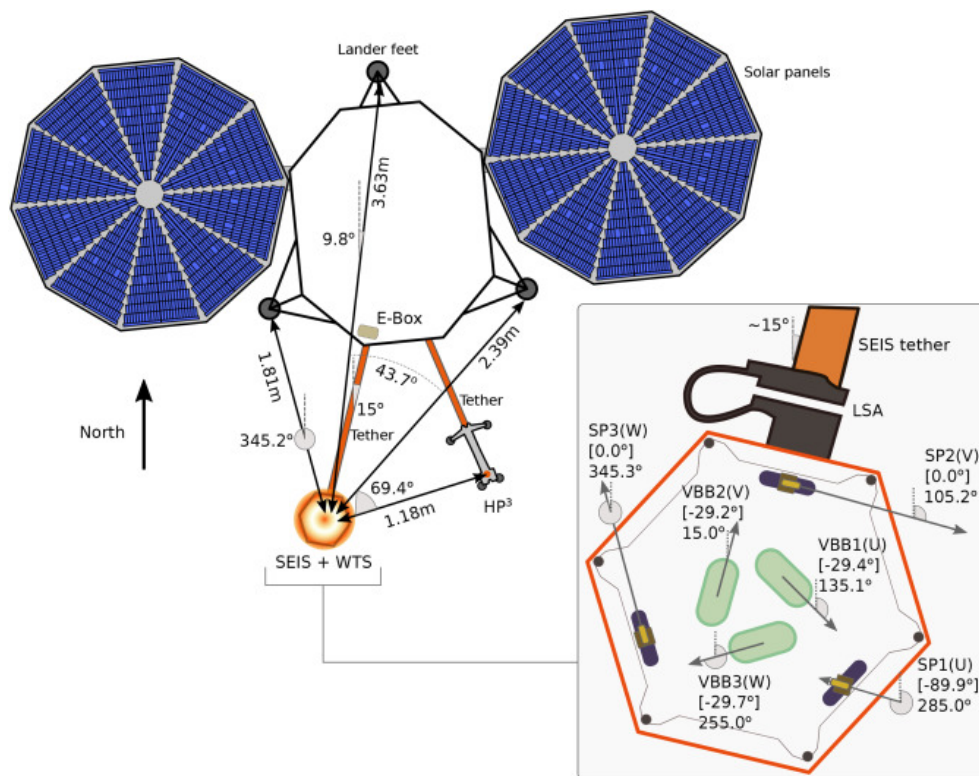
SEIS 是 InSight 中一個非常重要的儀器，其中包含兩組三方向的地震儀(包括一個寬帶的 VBB 與短周期的 SP)、風與熱阻絕器(WTS，Wind and Thermal Shield)用來降低外在因素的影響。可以探測到地球上輕微的震動，藉此來了解火星的內部構造和組成。

(二) HP³

探測儀器設在火星地表下 5 公尺(16 英尺)，可以測量火星內部的熱傳導，藉此推斷火星內部的熱特性和演變資訊。

(三) TWINS

提供連續的風和溫度資料，可以幫助我們了解內部結構地震實驗儀(SEIS)的地震資料。



圖二、InSight 與 SEIS 的配置

貳、研究設備及器材

一、研究工具

(一) 電腦

(二) 軟體

1. Anaconda Navigator : Jupyter Notebook
2. Python 程式庫的 ObsPy

二、資料來源

(一) InSight Archive Page

1. Twins Data
2. PS Data

(二) IRIS

1. URL Builder: dataselect v.1

參、研究過程或方法

一、研究步驟

- (一) 將需要的各項工具載入 IRIS 的 URL Builder: dataselect v.1，並定義過程中需要用到的資料（例如：洞察號登陸日期、火星日多長.....）
- (二) 讀取與下載震波資料和氣象資料
- (三) 以 Python 函式庫的 ObsPy 進行地動資料、天氣資料分析並去除儀器響應
- (四) 因為儀器的原方向並非面向正北或其他座標軸，所以需先將角度轉換再進行分析
BH* 通道使用的儀器為 VBB、方位角為從正北順時針旋轉；傾角以向下為正。
可以將 UVW 座標系轉換為 ZNE 座標系，並以 Python ObsPy 程式進行分析：

```
import numpy as np
from numpy.linalg import inv

def uvw2zne(U, V, W, azi=np.array([135.1,15.0,255.0]), dip=np.array([15.0,15.0,15.0])):
    azi = np.radians(azi)
    dip = np.radians(dip)
    A = ([[ -np.sin(dip[0]), np.cos(dip[0])*np.cos(azi[0]), np.cos(dip[0])*np.sin(azi[0]),
            [ -np.sin(dip[1]), np.cos(dip[1])*np.cos(azi[1]), np.cos(dip[1])*np.sin(azi[1]),
            [ -np.sin(dip[2]), np.cos(dip[2])*np.cos(azi[2]), np.cos(dip[2])*np.sin(azi[2]),

    X = np.vstack((U,V,W))
```

圖三、座標轉換指令

- (五) 將震波資料進行傅立葉轉換得到時頻譜圖(spectrogram)與頻譜圖(Power Spectral Density, PSD)

在地震波形分析時，時頻圖可以輔助識別信號，頻譜圖可以觀察地震信號的頻率分佈範圍，發現波形的優勢頻率。

- (六) 非地震訊號的波動與風、溫度和壓力的資料進行比對與分析

一天中不同的時段資料皆會有波動，可能是因為各個因素之間互相影響，使得該項因素的數據會在特定的時段有反常的趨勢。將天氣的資料下載下來後，分別對溫度、壓力和風的資料進行讀取，可將資料分別繪製於不同的圖，或是與其他天氣資料和震動繪製在同一張圖中已進行比對與分析。

- (七) 擷取不同季節的上述各項資料，探討季節異同。

火星的公轉周期約為地球的兩倍，所以我們以六個月為間隔，取四個不同天的地震儀與天氣資料，以了解火星不同季節的異同。

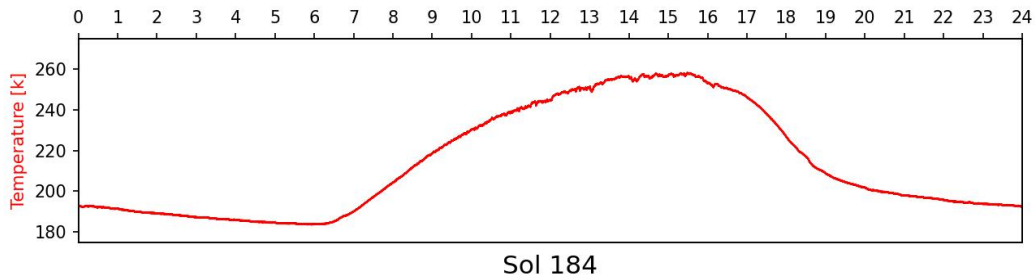
肆、研究結果

一、溫度、壓力、風的時變化

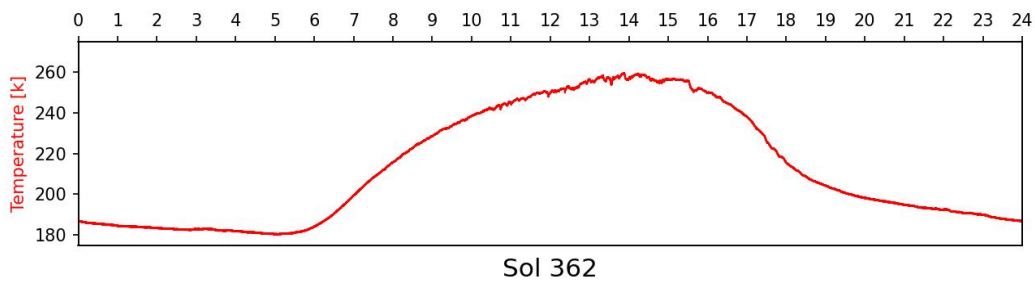
為了與震波資料比對，各圖的時間以地球時間進行

火星日指的是洞察號登陸火星的天數

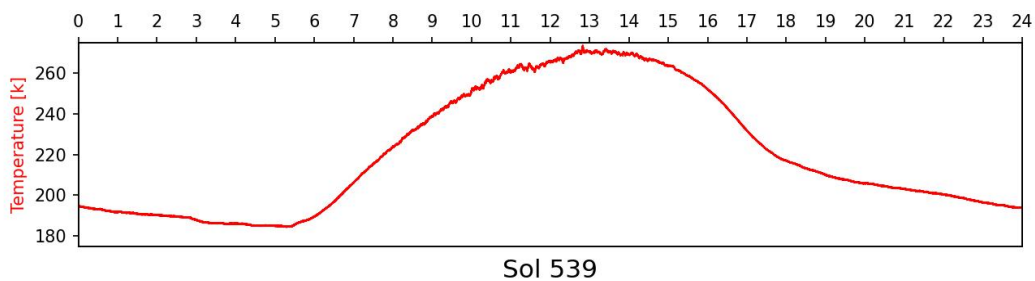
(一) 溫度的時變化



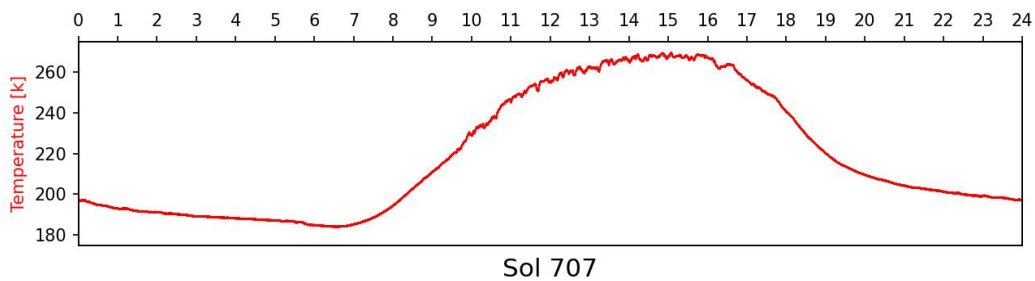
圖四、火星日 184 (春) 的溫度變化



圖五、火星日 362 (夏) 溫度變化

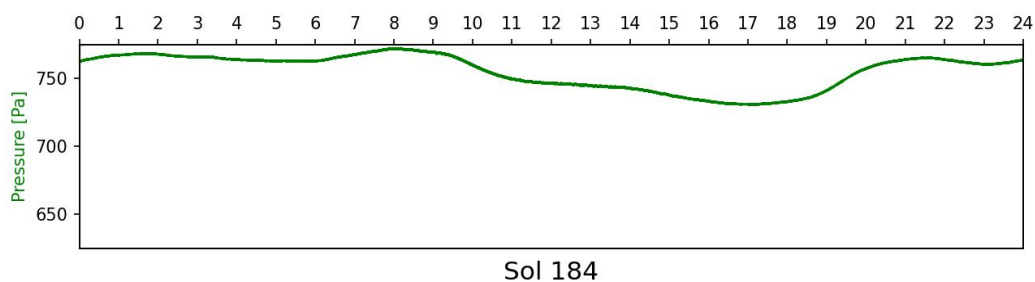


圖六、火星日 539 (秋) 的溫度變化

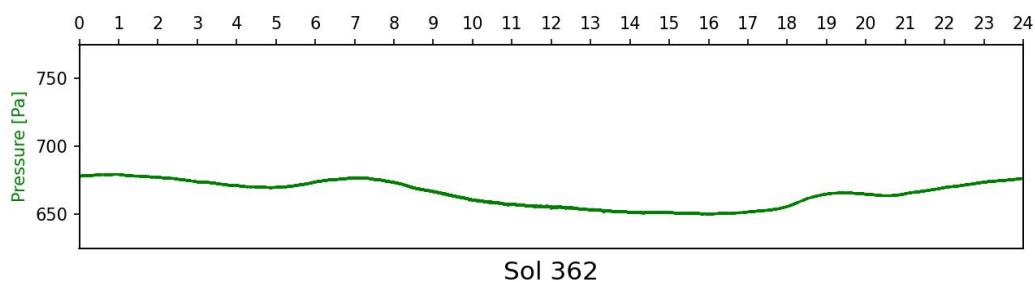


圖七、火星日 707 (冬) 的溫度變化

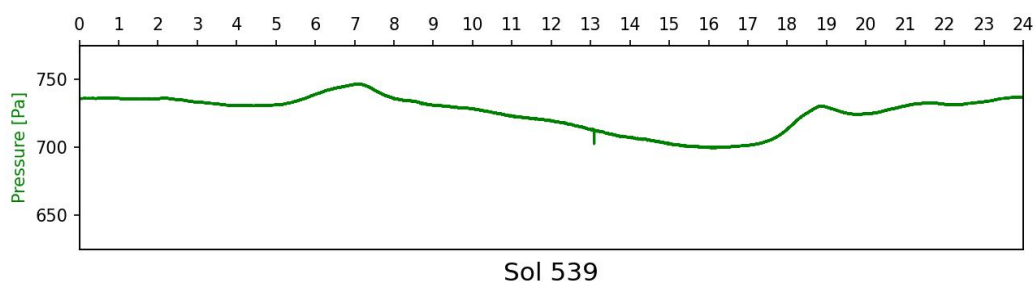
(二) 壓力的時變化



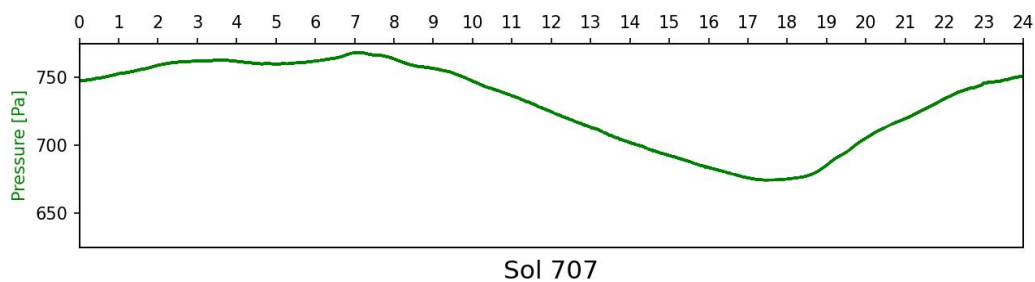
圖八、火星日 184 (春) 的壓力變化



圖九、火星日 362 (夏) 的壓力變化

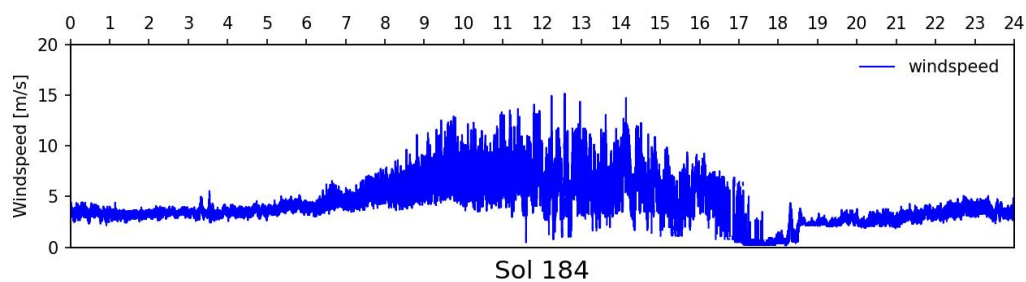


圖十、火星日 539 (秋) 的壓力變化

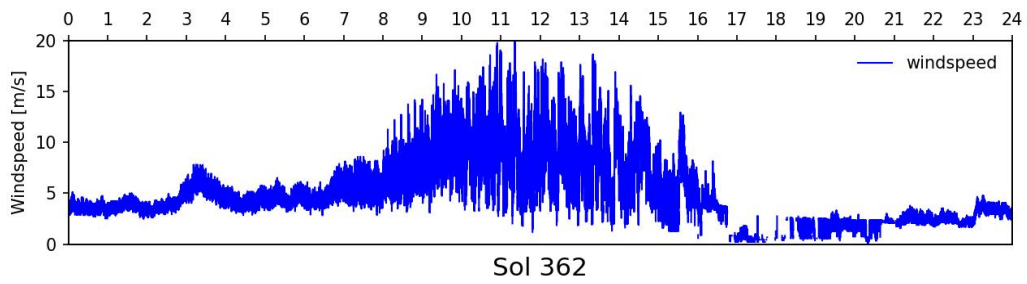


圖十一、火星日 707 (冬) 的壓力變化

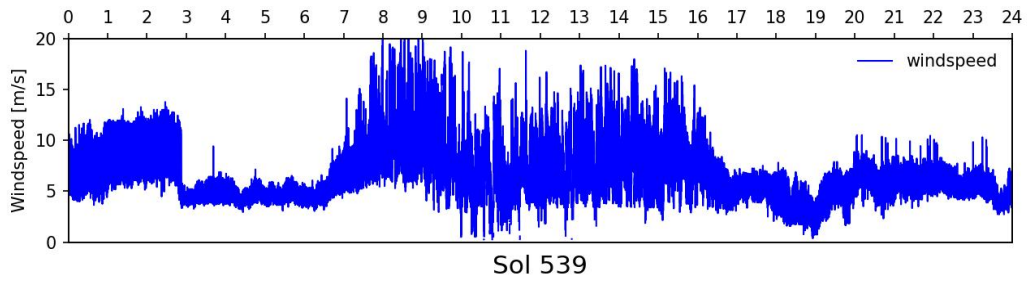
(三) 風速的時變化



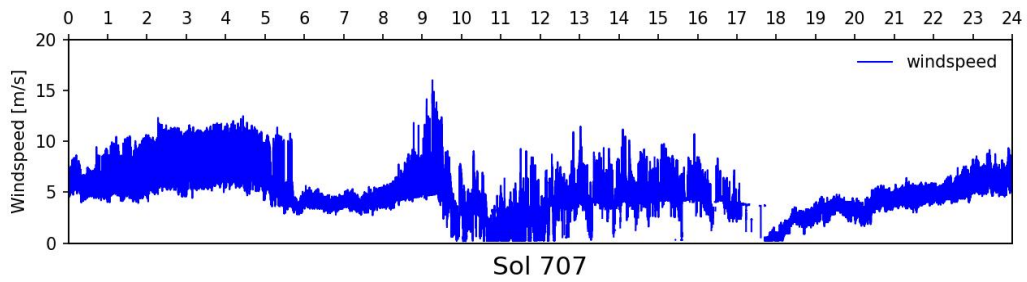
圖十二、火星日 184 (春) 的風速變化



圖十三、火星日 362 (夏) 的風速變化

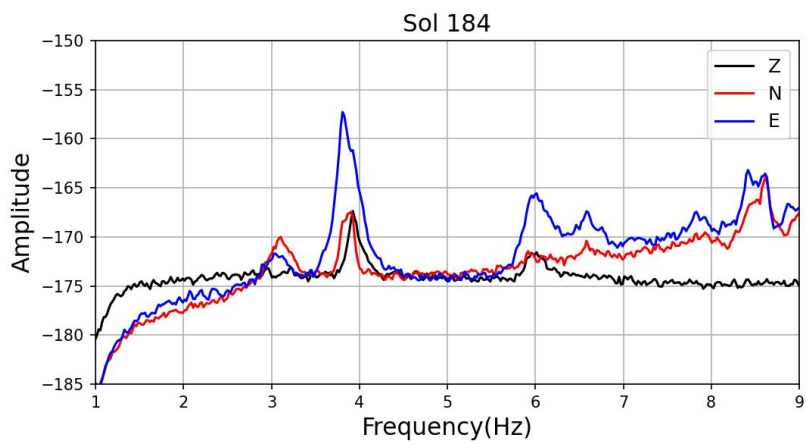


圖十四、火星日 539 (秋) 的風速變化

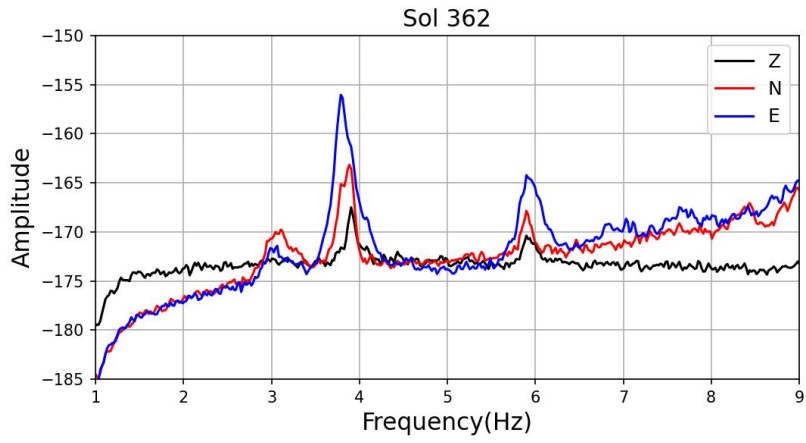


圖十五、火星日 707 (冬) 的風速變化

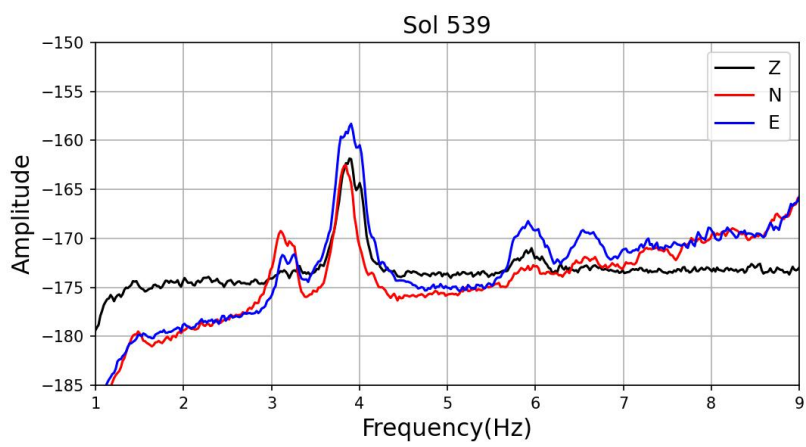
二、非地震訊號的頻譜圖



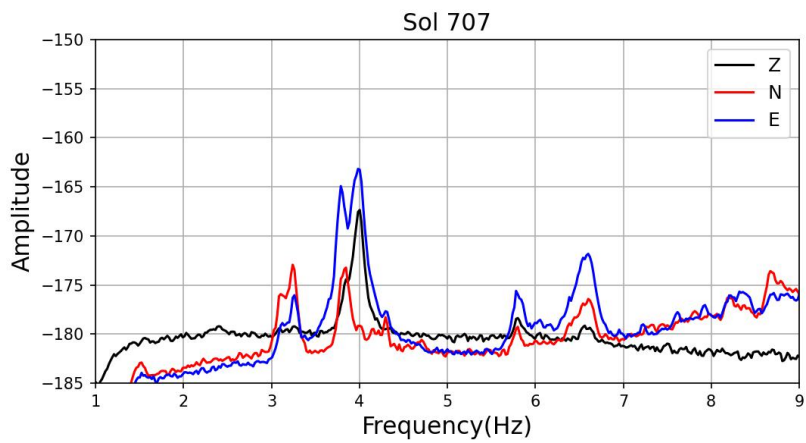
圖十六、火星日 184 (春) 的頻譜圖



圖十七、火星日 362 (夏) 的頻譜圖

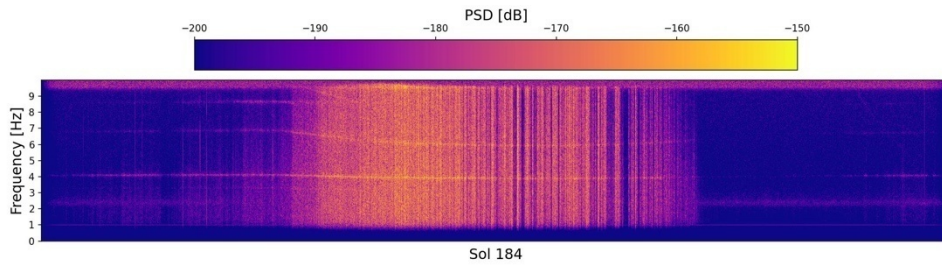


圖十八、火星日 539 (秋) 的頻譜圖

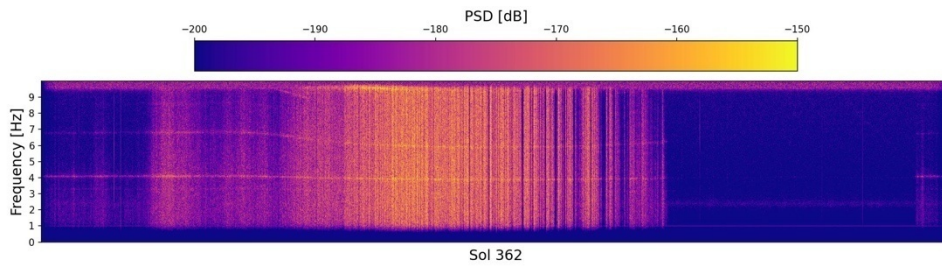


圖十九、火星日 707 (冬) 的頻譜圖

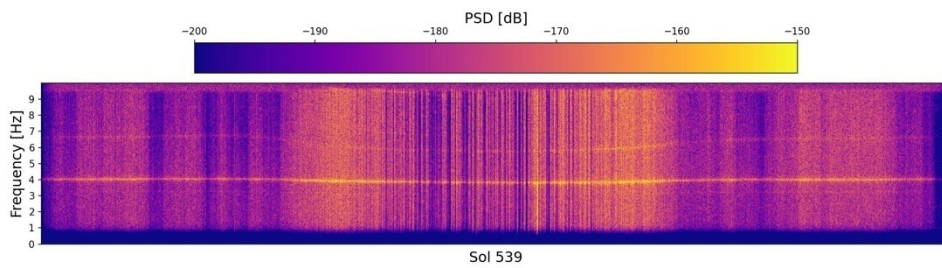
三、非地震訊號的時頻圖



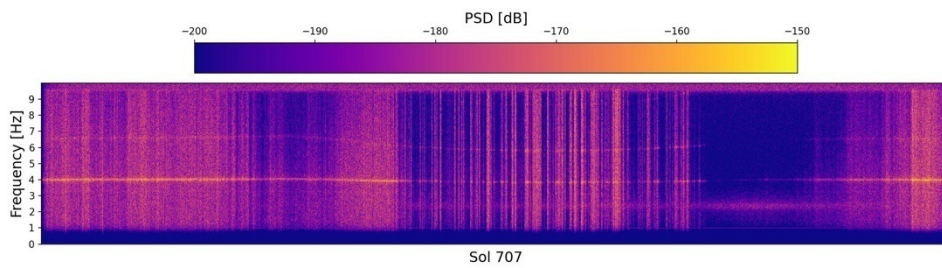
圖二十、火星日 184 (春) 的時頻圖



圖二十一、火星日 362 (夏) 的時頻圖

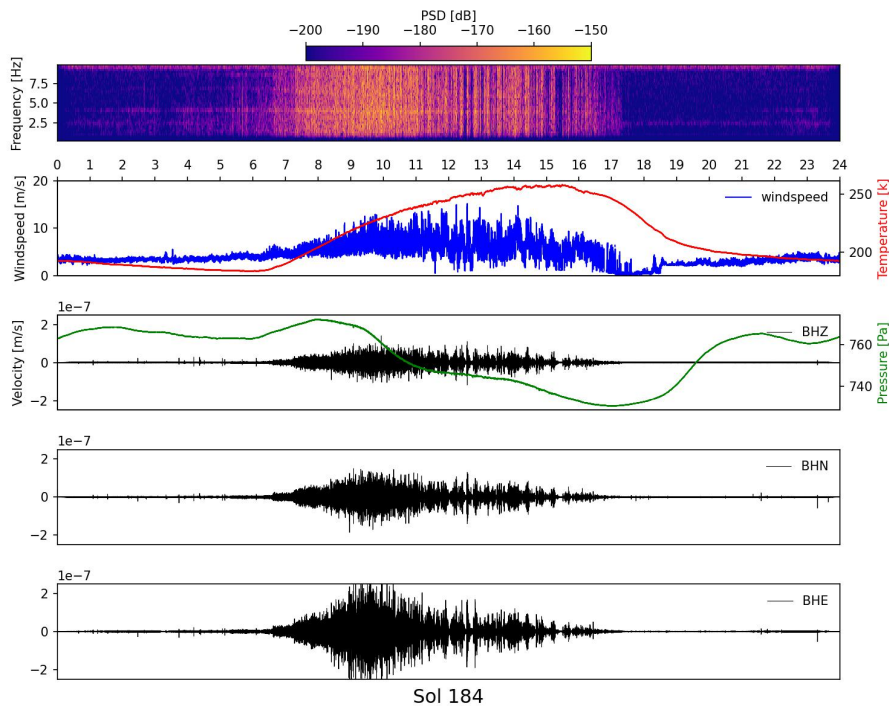


圖二十二、火星日 539 (秋) 的時頻圖

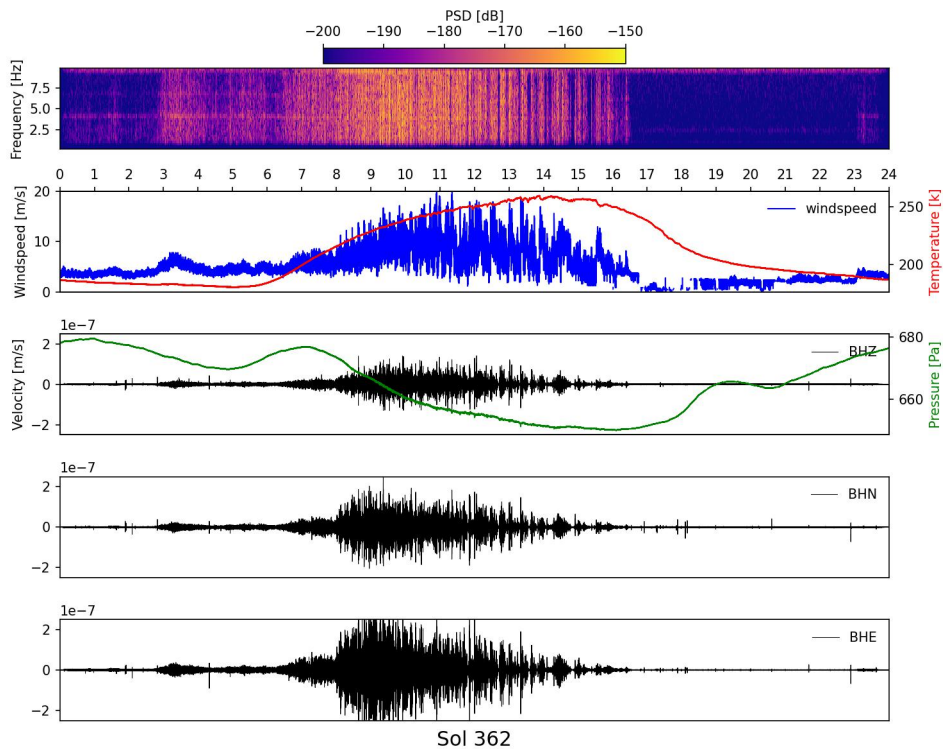


圖二十三、火星日 707 (冬) 的時頻圖

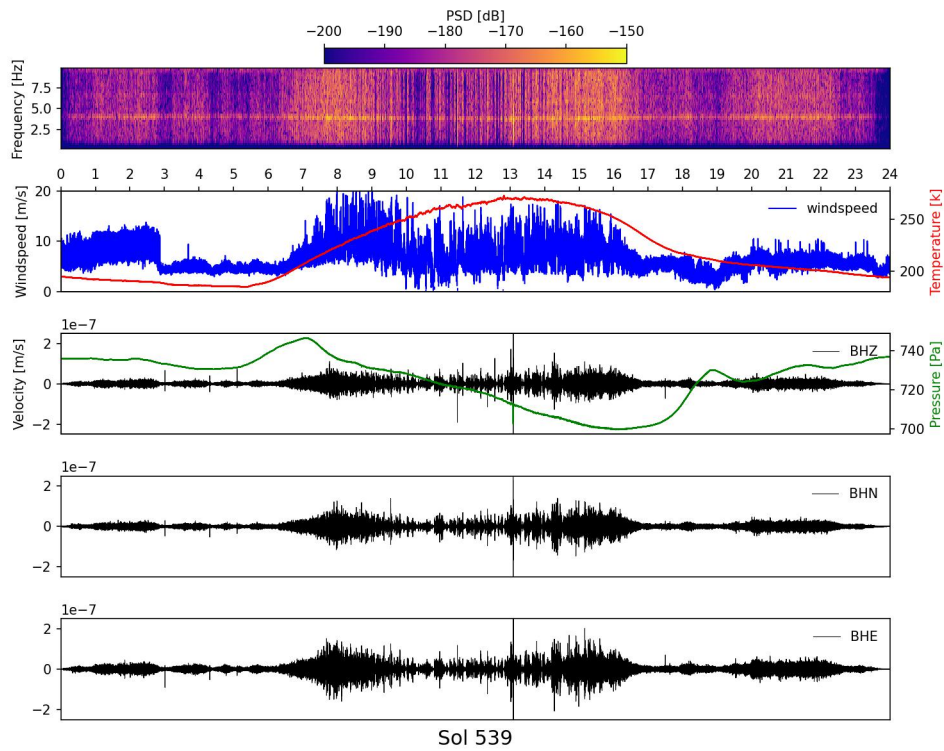
三、溫度、風、壓力與震動訊號



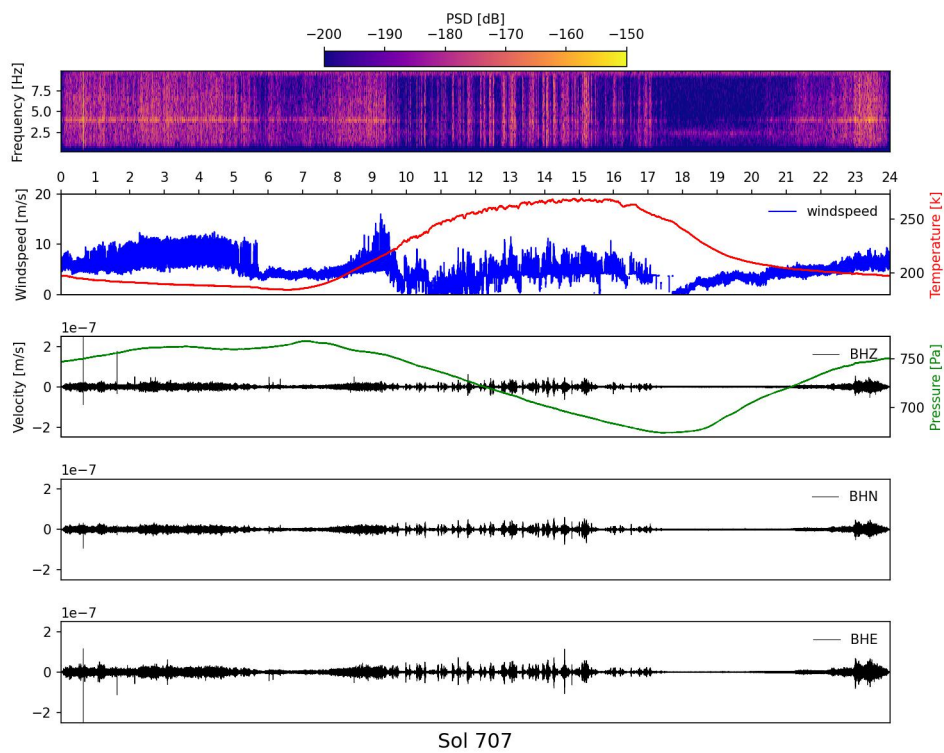
圖二十四、火星日 184（春），由上而下依序為時頻圖、壓力與 Z 軸震動紀錄、溫度與風速關係圖、N 軸震動紀錄與 E 軸震動紀錄。



圖二十五、火星日 362（夏）



圖二十六、火星日 539 (秋)



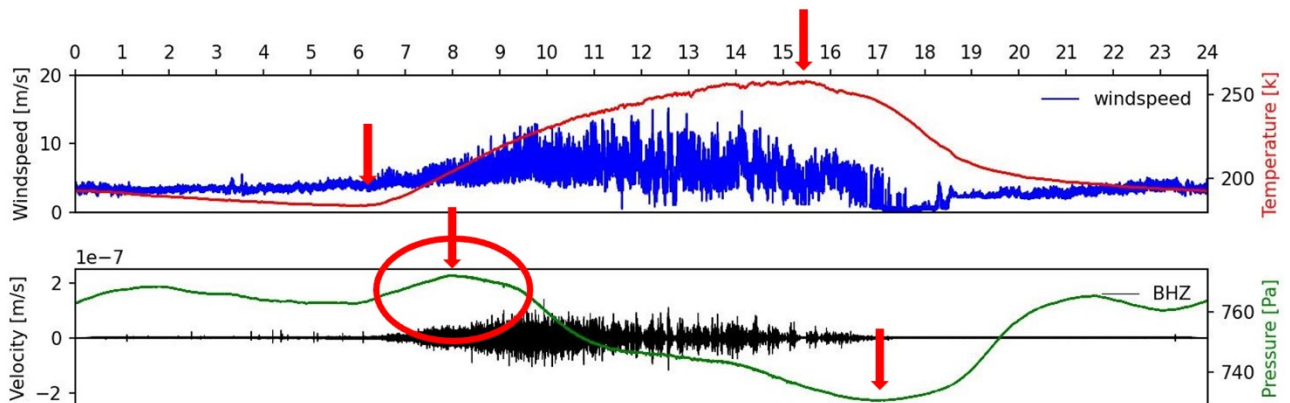
圖二十七、火星日 707 (冬)

伍、分析與討論

一、溫度、壓力、風的時變化

由圖四到圖七的溫度時變化可以清楚看到存在波峰與波谷兩段階段的循環，波峰是火星白天受日照影響而高溫，波谷則對應火星黑夜。而洞察號記錄下的火星赤道附近的溫度大約在 180K~270K 之間，相當於攝氏零下 93 度到零下 3 度之間。同樣壓力逐時變化與風速逐時變化也存在日夜波動（分別對應圖八到圖十五），壓力波動範圍在 650~770Pa 之間，風速波動範圍為 0~20 (m/s)。溫度、壓力與風速三者是如何引發地震儀震動紀錄，且三者之間的相互影響關係為何？在地球上空氣會因為熱對流而流動，於是我們將溫度與風速兩項變化繪製於同一圖上，便於比較（如圖二十四的溫度與風速關係圖）。又壓力為垂直向的變因，於是我們將壓力與 Z 軸的地動訊號繪製於同一圖（如圖二十四的壓力與 Z 軸震動紀錄圖）。

Sol 184（春）與 Sol 362（夏）兩天的溫度與風速關係圖可以見到白天溫度高（紅線）的區間風速較大，黑夜的風小。但是相反季節的秋季 Sol 539 與 Sol 707 即使在黑夜，不再那麼平靜，風速也能達到 10 米/秒，顯然有非溫度的其他因素干擾。



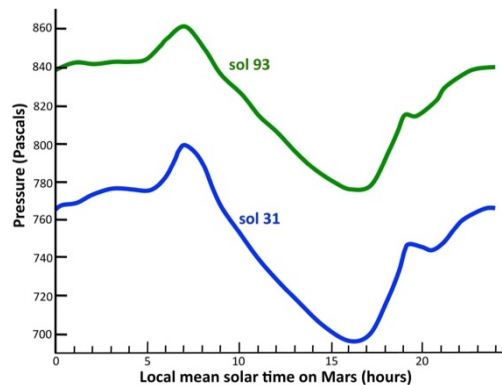
圖二十八、Sol 362 壓力突起與落後溫度起伏。（火星夏天，地球時間 2019 年 12 月 4 日）

若將 Z 軸震波速度圖與壓力、溫度以及風速一起比較（如圖二十八），Z 軸振動記錄明顯與風速波動趨勢一致，應該是白天日照令溫度升高，造成熱對流而引發風，使地震儀震動，所以趨勢一致。而壓力波動則與溫度波動相反，我們認為這應該是地表受熱，上層空氣受熱膨脹上升，導致壓力低，如同地球上所見的午後熱對流現象，所以壓力應與溫度呈負相關。不過在溫度上升最初時間，壓力並沒有立刻下降，我們稱之壓力突起（圖二十八紅圈處），而且代表不同季節的四天都一樣有這樣的氣壓突起。另外，溫度

最高點總是領先壓力最低點。同理，溫度最低點領先壓力最高點，我們稱之壓力延遲效應。

壓力延遲效應可能就如同地球每日最高溫不是發生在中午十二點，而是午後兩三點之間，壓力波動若由溫度啟動，那麼火星地表溫度將能量傳給大氣使之蓬鬆需要時間，就會導致延後的效應。

火星上受溫度而引發壓力波動的想法，在我們查詢資料後得到佐證，火星上有受熱潮（熱潮）而引發壓力循環的特徵。圖二十九的數據資料是由 NASA 好奇號上的環境監測站測量。



圖二十九、藍色曲線顯示 Sol 31（2012 年 9 月 6 日）的數據，綠色曲線顯示 Sol 93（2012 年 11 月 7 日）的數據。（圖源 NASA，好奇號）

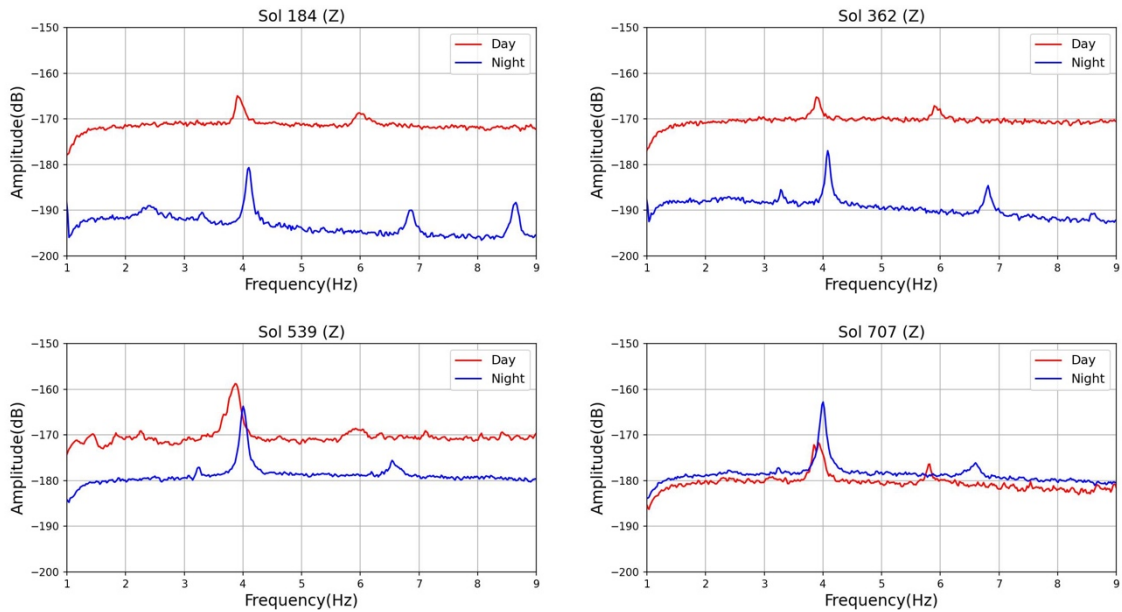
壓力是上方整個大氣柱中空氣量，好奇號的火星日 93 日（Sol 93）比火星日 31 日（Sol 31）整體壓力增加是因為好奇號進入南半球的春天，而南極接收到越來越多的陽光，使南極冰帽中的二氧化碳蒸發。由於這種影響，大氣層每年膨脹和收縮約 30%。火星壓力每天變化很大，約為 10%，在火星上，壓力峰值接近火星早上 7 點，最小值接近下午 4 點。這個每日壓力循環是由「熱潮」引起的，這是一種全球範圍的壓力波由陽光驅動的火星大氣層加熱了地面和空氣。

二、非地震訊號的主頻率分析

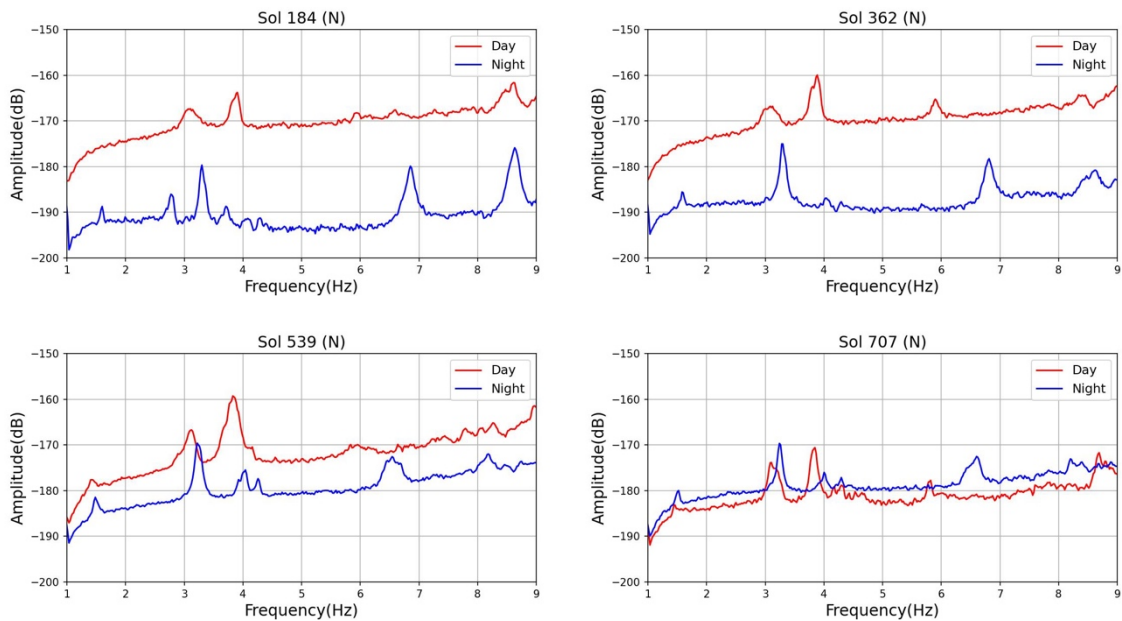
（一）日夜變化

我們透過時頻圖，很清楚可以看到晚上通常比一天中的任何其他時間都更安靜、更穩定（圖二十傍晚頻譜圖顏色偏藍紫色），在頻譜圖（圖十六～圖十九）都顯示 2~7 Hz 頻率範圍出現數個峰值。如果以白天與黑夜分別繪製頻譜圖，則得到以下圖三十到圖三十二的結果。白天在 Z 軸、N 軸與 E 軸都在 4Hz 和 6Hz 有強的訊號，而在 N 和 E 軸的白天比 Z 軸多了 3Hz 的峰值。黑夜均有 7Hz 的峰值，在 Z 軸夜晚 4Hz 較強，在 N 軸的峰

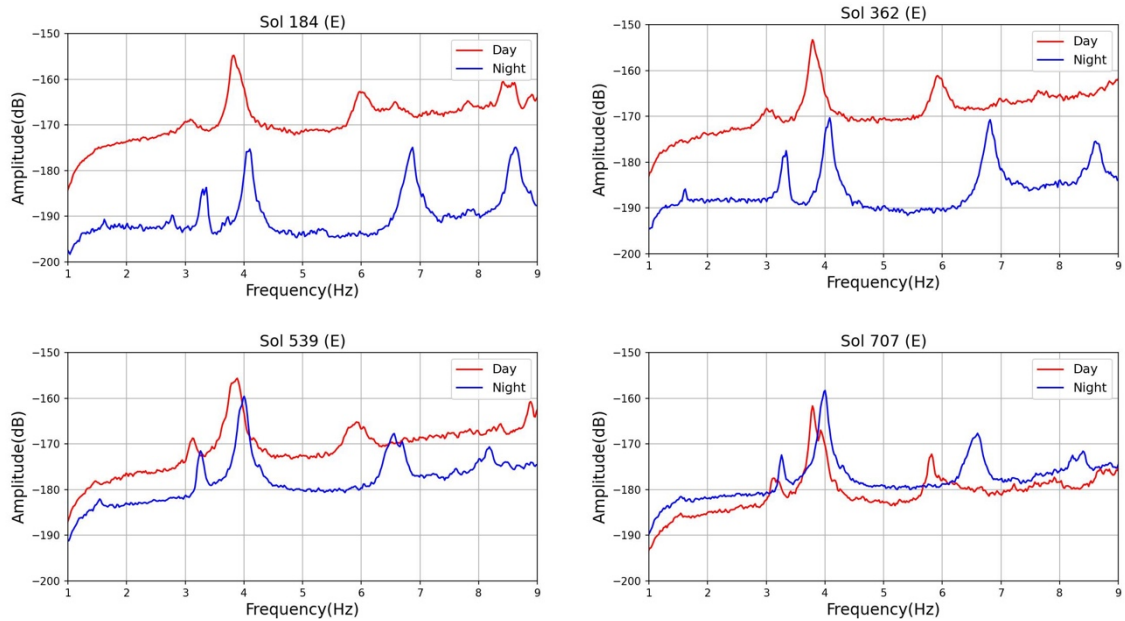
值較靠近 3Hz，在 E 軸 3Hz 和 4Hz 都有峰值。而在某些日期和方向有 8~9Hz 的峰值，例如：Sol 184 的 Z 軸、Sol 184 和 362 的 N 軸、Sol 184 和 362 的 E 軸。



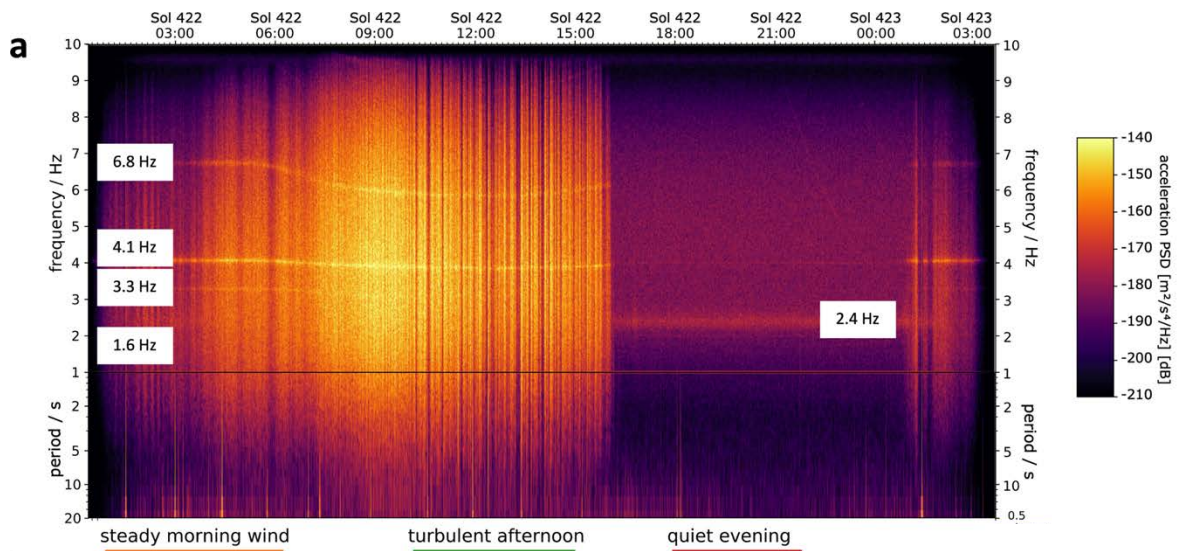
圖三十、日夜主頻 (Z 軸) 分析比較



圖三十一、日夜主頻 (N 軸) 分析比較



圖三十二、日夜主頻（E 軸）分析比較



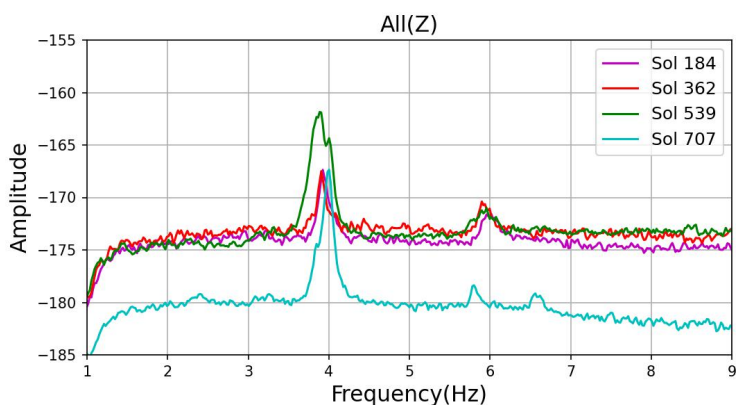
圖三十三、自然通訊期刊指出在頻率 1.6、3.3、4.1、6.8 Hz 為洞察號登陸器受風搖晃造成。（圖源 nature 網站）

這些特定頻率高強度出現的特徵，經過文獻探討確認後，自然通訊期刊上(Nature Community)指出在頻率 1.6、3.3、4.1、6.8 Hz 應為洞察號登陸器受風搖晃所引發的頻率（圖三十三）。Sol 184 和 Sol 362 是熱季白天風大，所以該頻率的強度也就越大。但是到了 2020 年日夜的差異就不那麼明顯，甚至在 707 這一天，藍線高於紅線，表示這天晚上相對其他天夜晚非常不寧靜，該晚的風比白天大（圖二十七），所以出現黑夜的主頻強度高於白天。

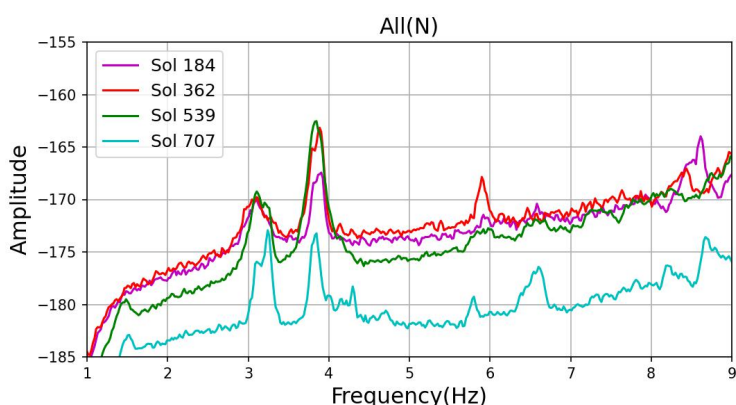
重新檢視我們擇選的四天時頻圖（圖二十～圖二十三）的確在 1.6、3.3、4.1、6.8 Hz 這些頻率出現峰值，4.1 Hz 一樣是最鮮明的。而且只要有風強一點，1.6、3.3、4.1、6.8 Hz 就隨之強，而上述「白天只在 6Hz 出現峰值，而黑夜只在 7Hz 附近出現峰值」應該屬於 6.8Hz 會隨著風勢強弱的改變。相對的，頻率 2.4 Hz 峰值的出現則是風勢小或者說是較寧靜的環境下才會顯現（時頻圖中藍紫色區間），表示頻率 2.4 Hz 非風引發的共振頻率，經文獻探討確認，最可能是由 InSight 所登陸地點的表層結構所引起的共振。

（二）頻譜的季節變化

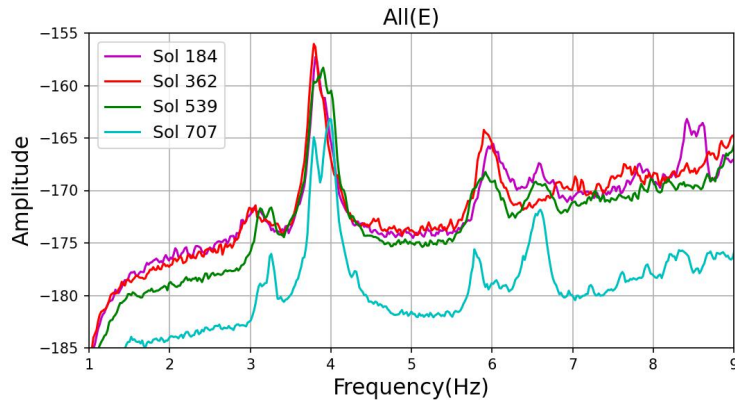
四天頻譜圖裡 3-4Hz 和 6-7Hz 的頻率都有很明顯峰值（登陸器晃動頻率在 1.6、3.3、4.1、6.8 Hz）。Sol 184、362、539 三天的頻譜圖縱軸強度水平較為接近，而 Sol707 頻譜圖縱軸強度明顯低，似乎存在季節波動。



圖三十四、間隔六個月的四天頻譜圖（Z 軸）比較

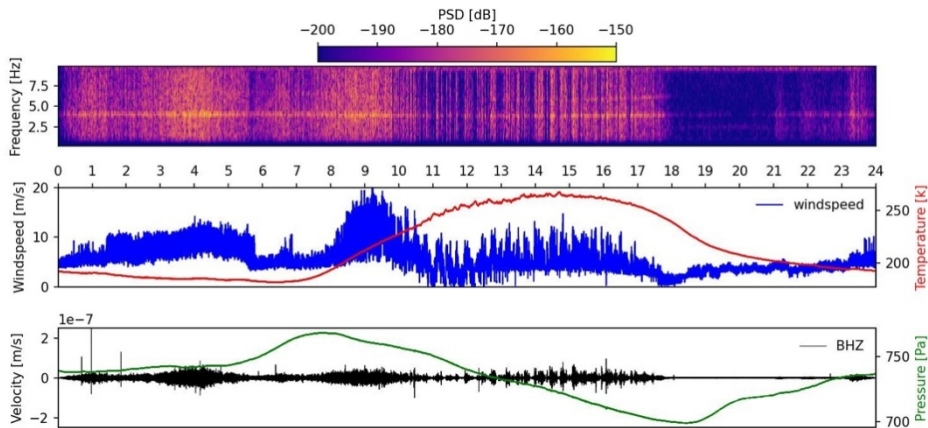


圖三十五、間隔六個月的四天頻譜圖（N 軸）比較

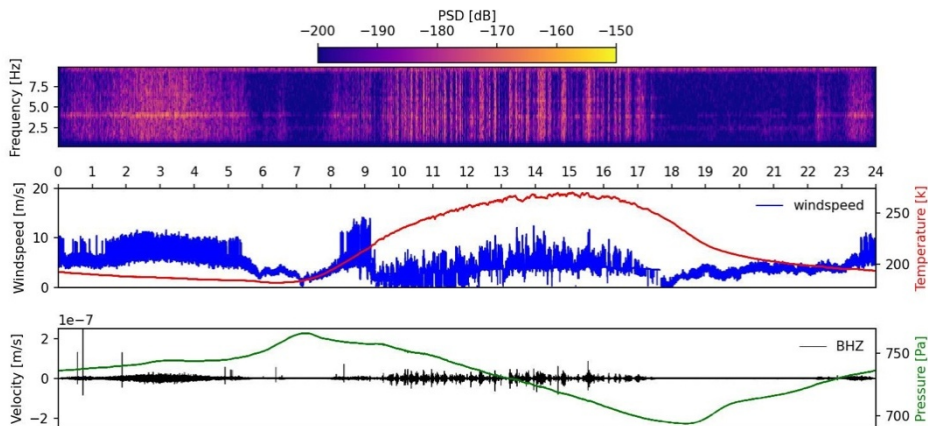


圖三十六、間隔六個月的四天之間頻譜圖（E 軸）比較

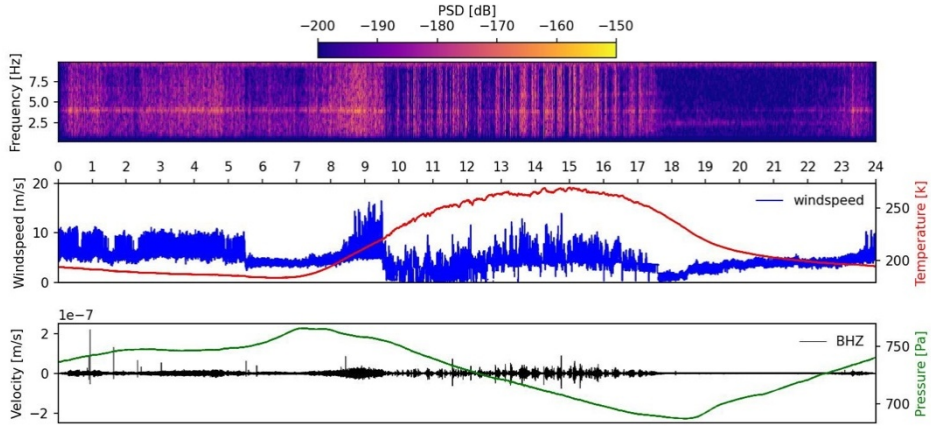
以時頻圖來看，冷季的夜晚與白天同樣嘈雜，一整天的風速都足以引起震動紀錄。經文獻探討後，文獻三指出約在火星日 550 至 700 多左右因進入沙暴季節，所以秋冬以後夜晚一樣嘈雜，我們便以火星日 707 往前分析數日，其結果如圖三十七到圖四十一，的確在零時到清晨五時都有比較強的訊號。這些沙塵在白天會降低陽光入射量降低溫度但在夜晚這些沙塵會釋放紅外線加熱地表，加上沙塵的聚集程度變化導致湍流增加，如圖四十二。



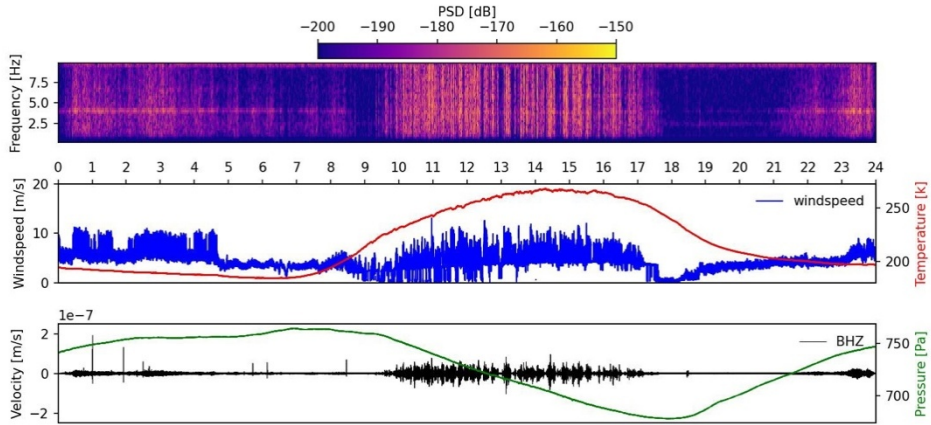
圖三十七、火星日 703 夜晚嘈雜



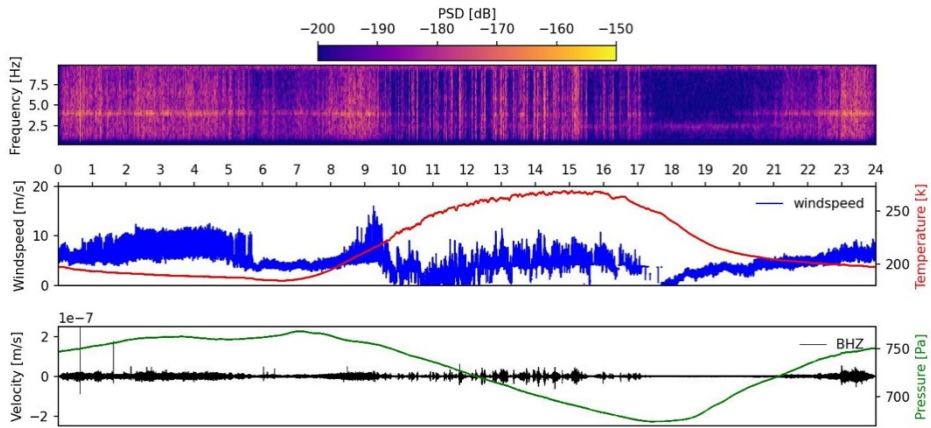
圖三十八、火星日 704 夜晚嘈雜



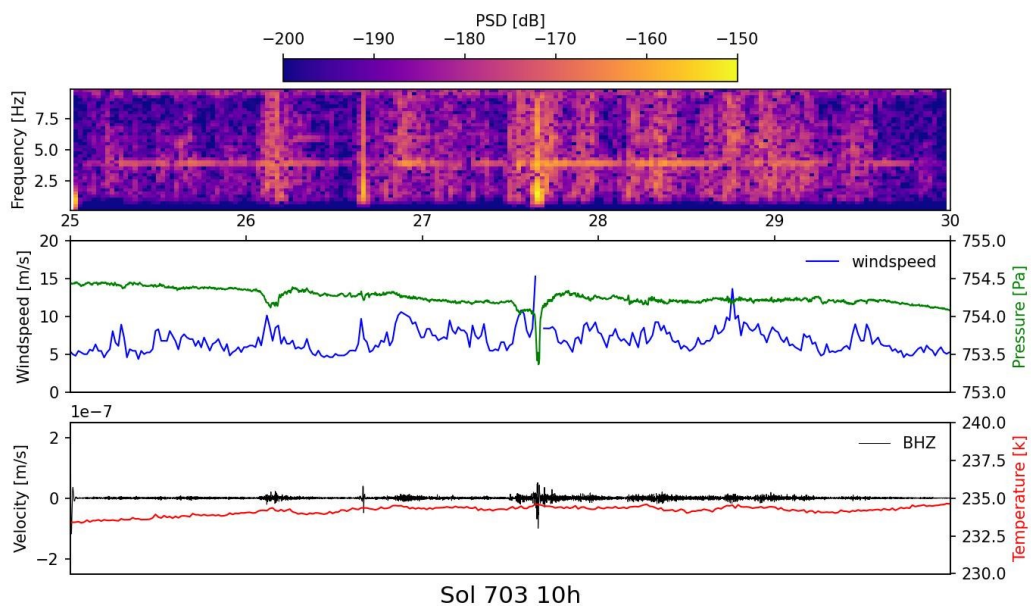
圖三十九、火星日 705 夜晚嘈雜



圖四十、火星日 706 夜晚嘈雜

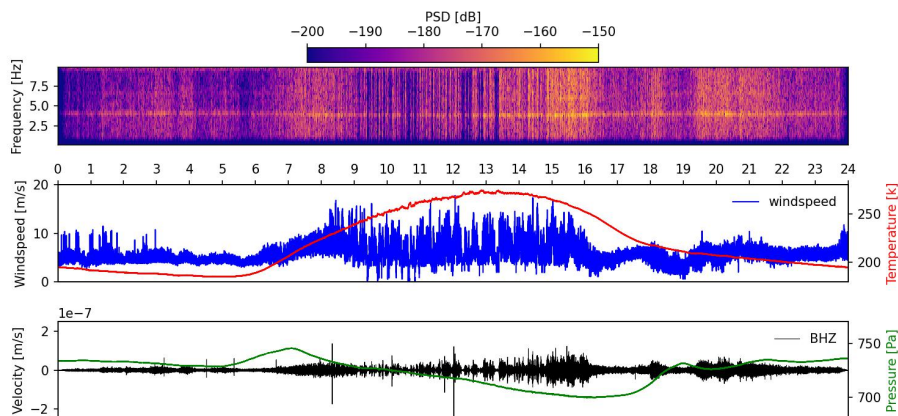


圖四十一、火星日 707 夜晚嘈雜

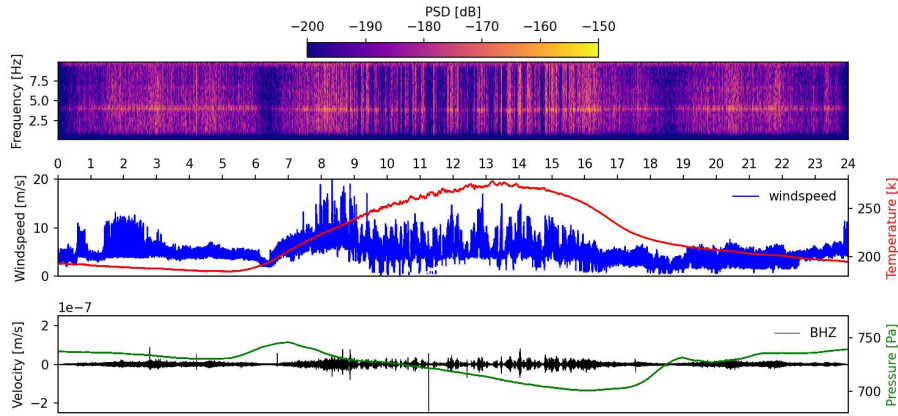


圖四十二、以火星日 703 中有數個壓力低值（綠色凹區），引發較強風速（藍線），同時在出現 Z 軸震動訊號。

我們再以火星日 539 往前和後一天，其結果如圖四十三和圖四十四，我們從時頻圖發現相比火星日 703~707（冬季），火星日 538~540（秋季）整天都很嘈雜，不像冬季的夜晚有一段空窗期，也顯示出了秋天的湍流有比冬天強的趨勢。



圖四十四、火星日 538 整天很嘈雜



圖四十五、火星日 540 整天很嘈雜

三、溫度、風與壓力對震動訊號的影響，誰為主？

單看風與地震訊號，不管溫度、壓力低或高，只要有風的擾動，就可以觀察到地震訊號，風的影響力較其他因素還要。而溫度與壓力的部分，溫度越高、壓力越低，地震訊號越強烈，但我們認為這個現象是溫度、壓力所造成風的影響。

陸、結論

一、溫度、壓力、風的時變化

溫度剛開始上升時，火星上的大氣還未膨脹，所以壓力並未立刻下降，而是地面熱加熱上方空氣到一定程度後，氣體開始膨脹，壓力才下降，所以出現氣壓延遲現象。而高溫引發的熱對流，使風勢加大引發地震訊號，而這些地震訊號在 2~7 Hz 之間出現數個峰值，多數為登陸器受風引發的共振頻率（登陸器震動頻率發生在 1.6、3.3、4.1、6.8 Hz）。

二、非地震訊號的季節變化

從頻譜圖中可看出，屬於冬季的 Sol 707 與其他三天 Sol 184（春）、362（夏）Sol 539（秋）的縱軸強度明顯不同。沙塵暴強的秋冬夜晚也會出現強震動訊號，相對嘈雜，而秋天又比冬天還要強。

三、未來展望

釐清湍流是如何作用，才能導致 Sol 707 夜晚風比白天強勁，並研究是否能以其他方法找出湍流的存在。

柒、參考文獻資料

- 一、 SavasCeylan, John F. Clinton, Domenico Giardini, Maren Böse, Constantinos Charalambous, Martin van Driel, Anna Horleston, Taichi Kawamura, Amir Khan, GuenoléOrhand-Mainsant, John-Robert Scholz, Simon C. Stähler, Fabian Euchner, William B. Banerdt, Philippe Lognonné, Don Banfield, Eric Beucler, Raphaël F. Garcia, Sharon Kedar, ...,Clément Perrin.(2021). Companion guide to the marsquake catalog from InSight, Sols 0 – 478: Data content and non-seismic events.Physics of the Earth and Planetary Interiors, Volume 310, 106597.
From<https://doi.org/10.1016/j.pepi.2020.106597>
- 二、 M. Hobiger, M. Hallo, C.Schmelzbach, S. C. Stähler, D. Fäh, D. Giardini, M. Golombek, J. Clinton, N. Dahmen, G. Zenhäusern, B. Knapmeyer-Endrun, S. Carrasco, C. Charalambous, K.Hurst, S. Kedar&W. B. Banerdt. (2021). The shallow structure of Mars at the InSight landing site from inversion of ambient vibrations. Nat Commun, 12, 6756. From<https://doi.org/10.1038/s41467-021-26957-7>
- 三、 A. Chatain, A. Spiga, D. Bandield, F. Forget, N. Murdoch. (2021). Seasonal VariabilityoftheDaytimeandNighttimeAtmospheric Turbulence ExperiencedbyInSightonMars.Geophysical Research Letters,48(22). From https://www.researchgate.net/publication/355592056_Seasonal_Variability_of_the_Daytime_and_Nighttime_Atmospheric_Turbulence_Experienced_by_InSight_on_Mars
- 四、 Nikolaj L. Dahmen, GéraldineZenhäusern, John F. Clinton, Domenico Giardini, Simon C. Stähler, SavasCeylan, Constantinos Charalambous, Martin van Driel, Kenneth J. Hurst, Sharon Kedar, Philippe Lognonné, Naomi Murdoch, Robert Myhill, Mark P. Panning, William T. Pike, Martin Schimmel, Cédric Schmelzbach, John-Robert Scholz, Alexander E. Stott, ..., William B. Banerdt.(2021). Resonances and Lander Modes Observed by InSight on Mars (1 – 9 Hz). Bulletin of the Seismological Society of America, 111 (6), 2924 – 2950.
From<https://doi.org/10.1785/0120210056>
- 五、 Temperature and Wind Sensor for InSight (TWINS) and Pressure Sensor (PS) - Certified. (2022). The Planetary Data System (PDS).
Fromhttps://atmos.nmsu.edu/data_and_services/atmospheres_data/INSIGHT/insight.html#Citing

六、J.A. Rodriguez-Manfredi, et al. (2019). InSight APSS TWINS Data Product Bundle. NASA Planetary Data System, from <https://doi.org/10.17189/1518950>

七、D. Banfield, et al. (2019). InSight APSS PS Data Product Bundle. NASA Planetary Data System, from <https://doi.org/10.17189/1518939>

捌、附錄

```
import numpy as np
from numpy.linalg import inv
from obspy import UTCDateTime
from obspy.clients.fdsn import Client
from obspy.imaging.spectrogram import spectrogram
import matplotlib.pyplot as plt
import matplotlib.mlab as mlab
import os
import pandas as pd
from matplotlib.pyplot import psd
```

圖四十六、載入指令

```
# Where to download seismic data from
client = Client("IRIS")
# The time InSight landed
sol0_utc = UTCDateTime("2018-11-26T05:10:50.336037Z")
# The length of a Mars day
s_p_sol = 88775.243971

# Calculate sol from UTC time
def utc2sol(utc_time, sol0_utc=sol0_utc):
    sol_number = np.floor((utc_time - sol0_utc)/s_p_sol)
    return sol_number

# Transfer waveform data from UVW to ZNE coordinate
def uvw2zne(U, V, W, azi=np.array([135.1,15.0,255.0]), dip=np.array([-29.4,-29.2,-29.7])):
    azi = np.radians(azi)
    dip = np.radians(dip)
    A = ([[ -np.sin(dip[0]), np.cos(dip[0])*np.cos(azi[0]), np.cos(dip[0])*np.sin(azi[0]) ],
          [ -np.sin(dip[1]), np.cos(dip[1])*np.cos(azi[1]), np.cos(dip[1])*np.sin(azi[1]) ],
          [ -np.sin(dip[2]), np.cos(dip[2])*np.cos(azi[2]), np.cos(dip[2])*np.sin(azi[2]) ]])

    X = np.vstack((U,V,W))
    Y = np.matmul(inv(A),X)
    Z = Y[0,:]
    N = Y[1,:]
    E = Y[2,:]
    return Z, N, E

# Pack up spectrum data
def spectrogram(data, sample_rate=20, wlen=80, overlap=0.6):
    p, f, t = mlab.specgram(data, NFFT=wlen, Fs=sample_rate, noverlap=wlen*overlap)
    return p, f, t
```

圖四十七、定義與運算指令

```

cha = "BH*"
startt = UTCDateTime("2019-06-04T00:00:00.0Z")
endt = UTCDateTime("2019-06-05T00:00:00.0Z")

# Download seismic data
st = client.get_waveforms(network="XB", station="ELYSE", location="02",
                          channel=cha, starttime=startt, endtime=endt, attach_response=True)
resp = client.get_stations(network="XB", station="ELYSE", location="02",
                            channel=cha, starttime=startt, endtime=endt, level="response")

df0184 = pd.read_csv('./twins_calib_0184_02.csv')
df0185 = pd.read_csv('./twins_calib_0185_02.csv')
pf0184 = pd.read_csv('./ps_calib_0184_01.csv')
pf0185 = pd.read_csv('./ps_calib_0185_01.csv')

twins = pd.concat([df0184 ,df0185], ignore_index=True)
ps = pd.concat([pf0184 ,pf0185], ignore_index=True)

```

圖四十八、定義與讀取指令

```

# Remove system response, filter and rotate waveform
st[:].remove_response(inventory=resp)
st.filter('highpass', freq=1.0, zerophase=True)
wf_z, wf_n, wf_e = uvw2zne(st[0], st[1], st[2])
wf_t = st[0].times("utcdatetime")
for r in range(len(wf_t)):
    wf_t[r] = wf_t[r].datetime

# Calculate spectrum data
p, f, t = spectrogram(wf_z)
fmin = 0.02
fmax = 10.
bol = np.array((f>fmin, f<fmax)).all(axis=0)

# Extract wind speed data
at_t = twins.UTC.to_numpy()
for r in range(len(at_t)):
    at_t[r] = UTCDateTime(at_t[r]).datetime
at_ws = twins.BMY_HORIZONTAL_WIND_SPEED
at_ts = twins.BMY_MID_ROD_TEMP

bt_t = ps.UTC.to_numpy()
for r in range(len(bt_t)):
    bt_t[r] = UTCDateTime(bt_t[r]).datetime
bt_ps = ps.PRESSURE

```

圖四十九、濾波與定義指令


```

fig = plt.figure(figsize=(10,8))
ax1 = plt.subplot(511)
ax2 = plt.subplot(512)
ax3 = plt.subplot(513)
ax4 = plt.subplot(514)
ax5 = plt.subplot(515)

plot_spec = ax1.pcolormesh(t, f[bol], 10. * np.log10(p[bol,:]), vmin=-200, vmax=-150, cmap= plt.colormaps[('plasma')])
cbar = fig.colorbar(plot_spec, ax=ax1, location="top")
cbar.set_label("PSD [dB]")
ax1.set_ylabel("Frequency [Hz]")
ax1.set_xlim(0,endt-starttt)
ax1.xaxis.set_visible(False)

plot_z = ax2.plot_date(wf_t, wf_z, "k-", linewidth=0.5, label="BHZ")
ax2.set_ylabel("Velocity [m/s]")
ax2.legend(frameon=False)
ax2.set_xlim(starttt,endt)
ax2.set_ylim(-2.5e-7,2.5e-7)
ax2.xaxis.set_visible(False)

ax22 = ax2.twinx()
ax22.plot_date(bt_t, bt_ps, "g-", linewidth=1)
ax22.set_xlim(starttt,endt)
# ax22.set_ylim(730,740)
ax22.set_ylabel("Pressure [Pa]",color='green')

```

圖五十、繪圖指令

```

plot_wt = ax3.plot_date(at_t,at_ws,"b-",linewidth=1,label = "windspeed")
ax3.set_ylabel("Windspeed [m/s]")
ax2.legend(frameon=False)
ax3.set_xlim(starttt,endt)
# ax3.set_ylim(0,10)

ax32 = ax3.twinx()
ax32.plot_date(at_t, at_ts, "r-", linewidth=1)
ax32.set_xlim(starttt,endt)
# ax32.set_ylim(200,260)
ax32.set_ylabel("Temperature",color='red')

plot_n = ax4.plot_date(wf_t, wf_n, "k-", linewidth=0.5, label="BHN")
ax4.legend(frameon=False)
ax4.set_xlim(starttt,endt)
ax4.set_ylim(-2.5e-7,2.5e-7)
ax4.xaxis.set_visible(False)

plot_e = ax5.plot_date(wf_t, wf_e, "k-", linewidth=0.5, label="BHE")
ax5.set_xlabel(starttt)
ax5.legend(frameon=False)
ax5.set_xlim(starttt,endt)
ax5.set_ylim(-2.5e-7,2.5e-7)
plt.tight_layout()

plt.savefig("2019 06 04~5.jpg",dpi=150)

```

圖五十一、繪圖與儲存圖片指令

```

cha = "BH*"

startt = UTCDateTime("2019-06-04T00:00:00.0Z")
endt = UTCDateTime("2019-06-05T00:00:00.0Z")
st1 = client.get_waveforms(network="XB", station="ELYSE", location="02",
                           channel=cha, starttime=startt, endtime=endt, attach_response=True)

startt = UTCDateTime("2019-12-04T00:00:00.0Z")
endt = UTCDateTime("2019-12-05T00:00:00.0Z")
st2 = client.get_waveforms(network="XB", station="ELYSE", location="02",
                           channel=cha, starttime=startt, endtime=endt, attach_response=True)

startt = UTCDateTime("2020-06-03T00:00:00.0Z")
endt = UTCDateTime("2020-06-04T00:00:00.0Z")
st3 = client.get_waveforms(network="XB", station="ELYSE", location="02",
                           channel=cha, starttime=startt, endtime=endt, attach_response=True)

startt = UTCDateTime("2020-11-22T00:00:00.0Z")
endt = UTCDateTime("2020-11-23T00:00:00.0Z")
st4 = client.get_waveforms(network="XB", station="ELYSE", location="02",
                           channel=cha, starttime=startt, endtime=endt, attach_response=True)

```

圖五十二、定義四天資料指令

```

tr1=st1[0]
x1 = tr1.data
Pxx1, freq1= psd(x1, NFFT=1024, Fs=20)

tr2=st2[0]
x2 = tr2.data
Pxx2, freq2= psd(x2, NFFT=1024, Fs=20)

tr3=st3[0]
x3 = tr3.data
Pxx3, freq3= psd(x3, NFFT=1024, Fs=20)

tr4=st4[0]
x4 = tr4.data
Pxx4, freq4= psd(x4, NFFT=1024, Fs=20)

```

圖五十三、定義四天資料指令

```

plt.figure(figsize=(8,4))

plt.plot(freq1,10*np.log10(Pxx1),'b-',label="2019/6/4")
plt.plot(freq2,10*np.log10(Pxx2),'r-',label="2019/12/4")
plt.plot(freq3,10*np.log10(Pxx3),'g-',label="2020/6/3")
plt.plot(freq4,10*np.log10(Pxx4),'c-',label="2020/11/22")

plt.xlim(0.1,9)
# plt.xscale("log")
# plt.yticks(range(-30,90,5))

plt.xlabel('Frequency(Hz)',fontsize=15)
plt.ylabel('Amplitude',fontsize=15)
plt.title('All',fontsize=15)

plt.ylim(30,60)

plt.grid()
plt.legend(fontsize=14)
plt.savefig("psd_days.jpg",dpi=150)

```

圖五十四、繪製 PSD 圖指令

【評語】 051905

利用最近之火星探測資料以及聲震頻譜分析技術，以探討火星長期之環境震動特性，以辨識非地震訊號之特性，可以加強地震訊號與非地震訊號特徵與差異之分析說明。火星各種訊號或變數之季節變化以及日變化特性，建議加強探討與解釋。特別是氣象的風、溫度與氣壓的日變化特性，以及其間之互動關係可以和地球上之特性比較。研究主題與目標應更清楚，火星上之氣象特性，氣象因子與沙塵事件對震動之影響可以再深入分析。

作品海報



洞察號探索

InSight

火星非地震訊號分析

摘要

洞察號自2018年登陸火星，累積了大量的震動訊號也高頻率採集持續性的天氣資料。本研究以分析非火星內部地震引發的震動訊號為主，找出天氣變化對非地震訊號的影響，或其他可能引發非地震訊號的因素。以Python進行資料分析後顯示無論白天或黑夜，2~7 Hz頻率範圍會出現數個峰值，比對風逐時變化得知除2.4 Hz的訊號外，大多數是地表以上的風引起登陸器或太陽能面板搖晃導致。在季節變化方面，SEIS於火星夏季夜晚記錄到的震動訊號相對白天少，應該是夏季白天受熱對流旺盛使擾動多，導致非地震訊號頻率頻繁。而火星冬季受沙塵影響，夜晚的非地震訊號與白天差不多，甚至超越白天，同樣在2~7 Hz出現數個峰值，但強度不同。

研究動機

火星一直以來都是人類最感興趣的星球，有許多與地球相似之處。而我們感興趣的是非火星內部地震所引發的訊號，而是其他也可能引發地震儀偵測到的地動訊號，比如天氣環境變化、外來隕石撞擊等，應該也會引發地震儀的紀錄，既然洞察號也同時偵測天氣，那麼日夜變化、四季變化或者大型的沙風暴對地震儀的影響到底如何？我們想釐清這些非地震訊號所代表的意義，引發我們進行進一步的探討。

研究目的

- 一、探討火星上非地震訊號的日夜變化特徵
- 二、探討火星上非地震訊號的季節變化特徵
- 三、釐清風、溫度與壓力對震動訊號的影響關係

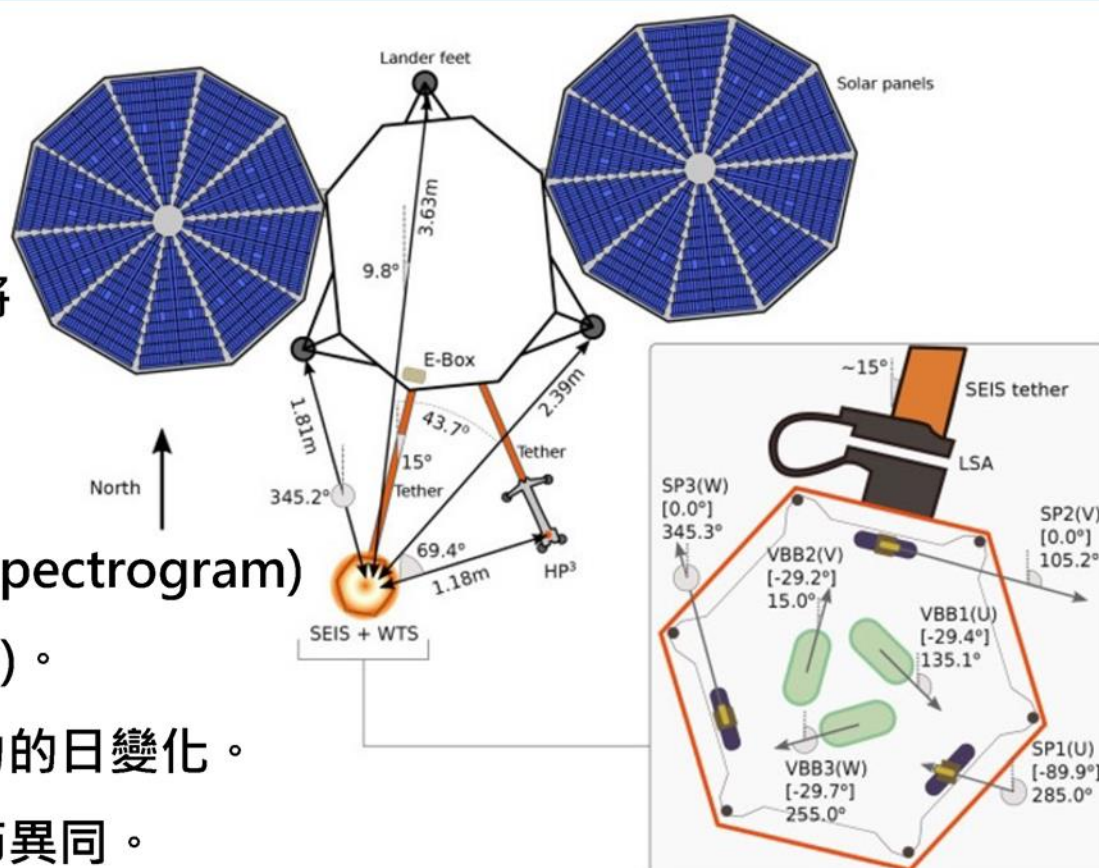


研究器材

- | | |
|---|---|
| <p>一、研究工具：</p> <ol style="list-style-type: none">1. 電腦2. 軟體：(1)Anaconda Navigator – Jupyter Notebook
(2)Python-ObsPy | <p>二、資料來源：</p> <ol style="list-style-type: none">1. InSight Archive Page – Twins data , PS data2. IRIS – URL Builder: dataselect v.1 |
|---|---|

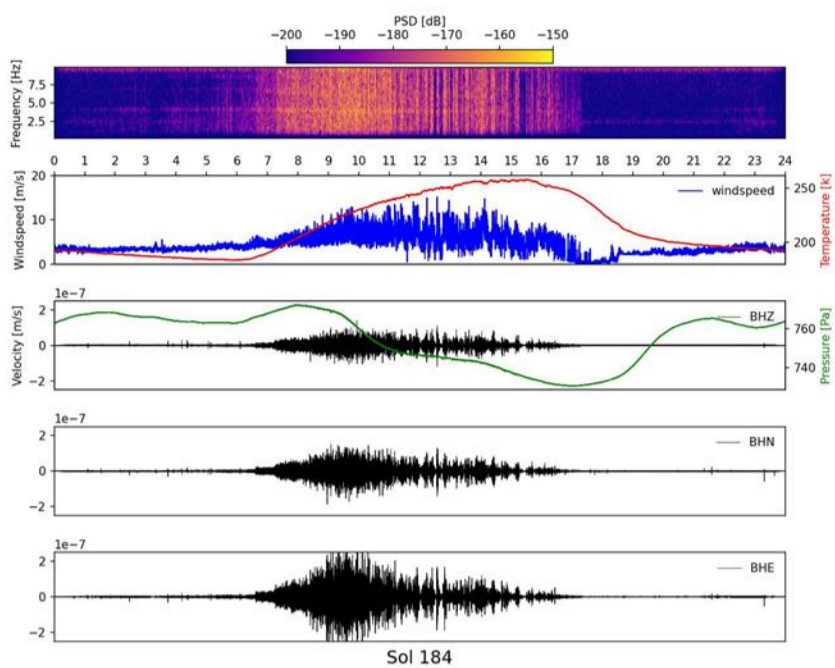
研究方法

1. 載入並定義分析工具與資料。
2. 以ObsPy去除地震資料的儀器響應，並將觀測資料做方位轉換。
3. 讀取天氣資料進行分析。
4. 將震波資料進行傅立葉轉換得到時頻圖(spectrogram)與頻譜圖(Power Spectral Density, PSD)。
5. 找出非地震訊號的波動與風、溫度和壓力的日變化。
6. 擷取不同季節的上述各項資料，探討季節異同。

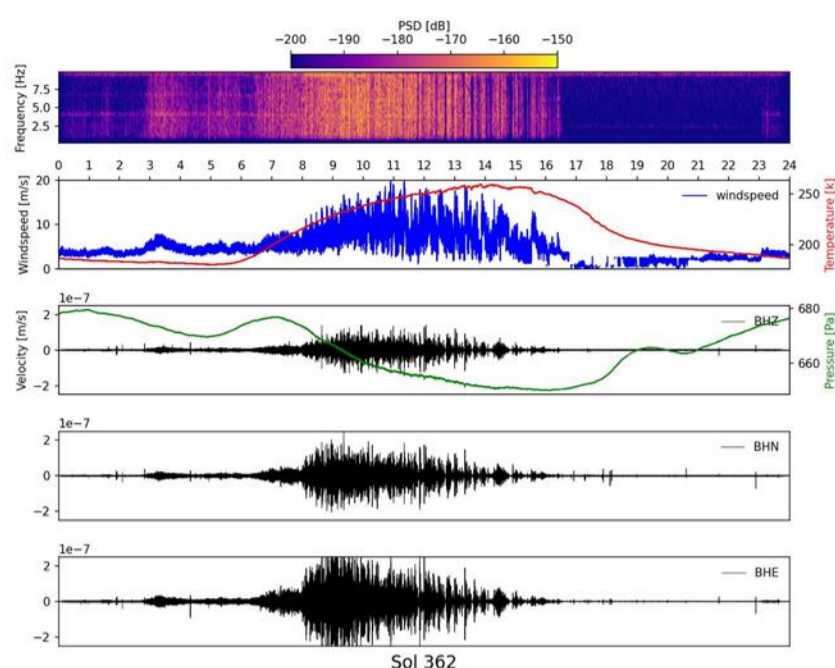


研究結果

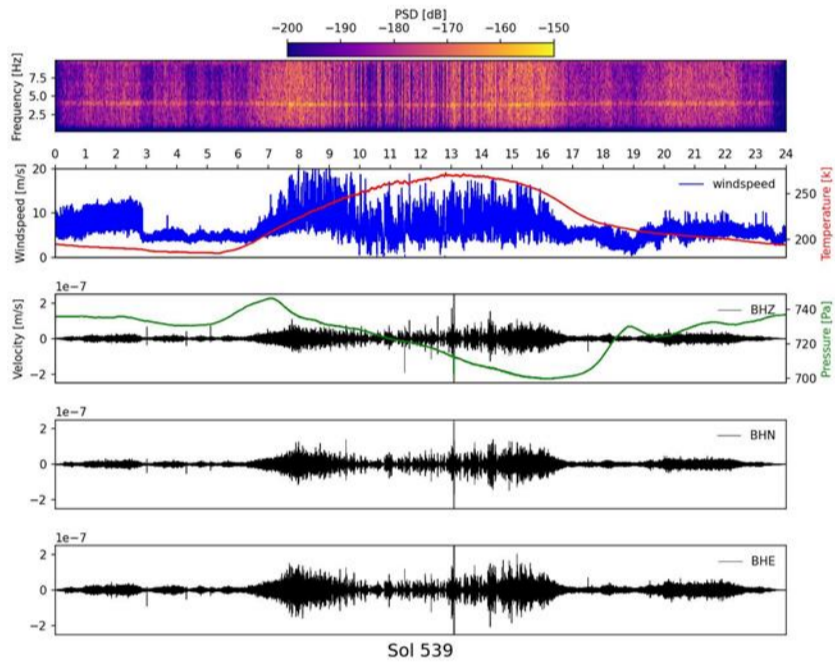
一、溫度、風與壓力對震動訊號的影響



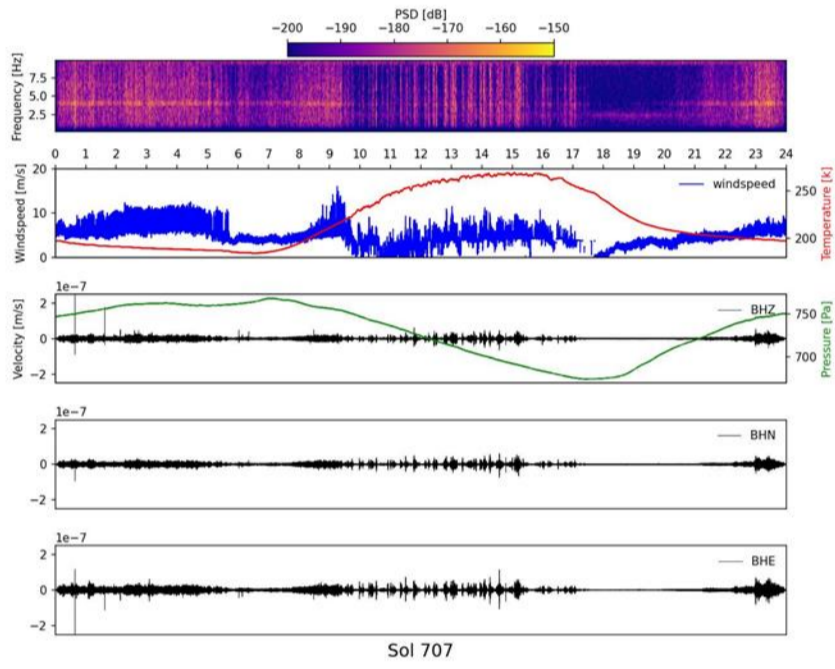
圖一、火星日184



圖二、火星日362

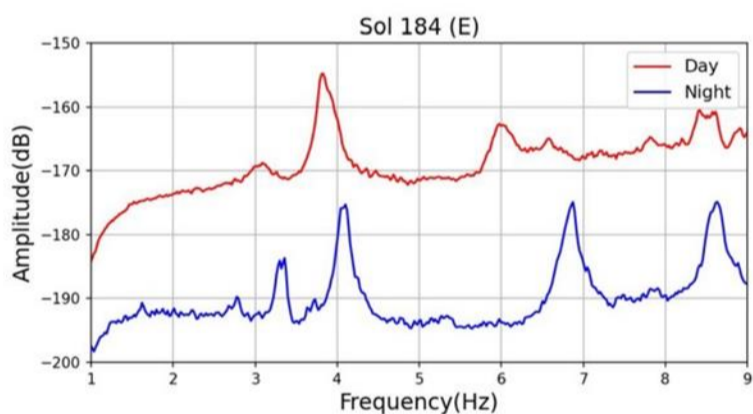


圖三、火星日539

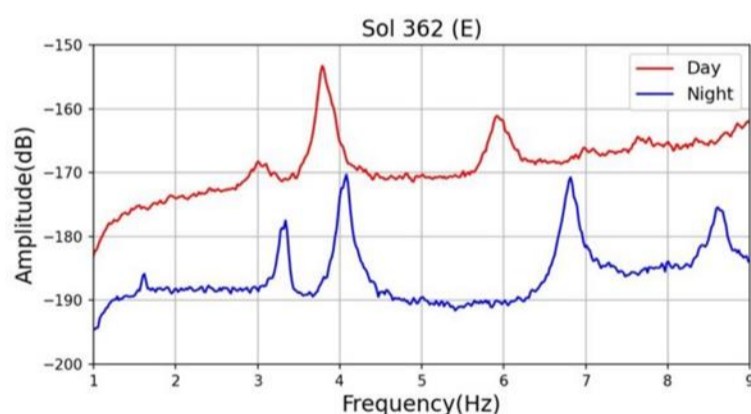


圖四、火星日707

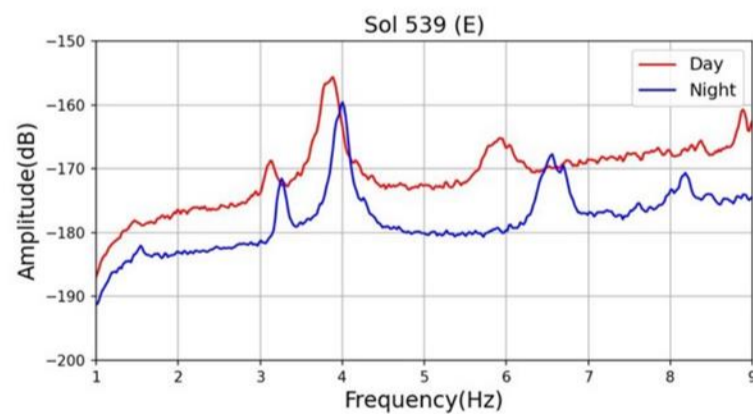
二、日夜主頻分析比較



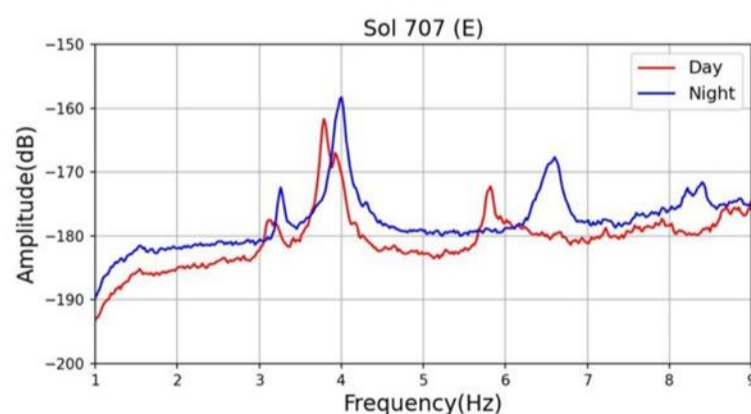
圖五、火星日184 E軸日夜頻率



圖六、火星日362 E軸日夜頻率



圖七、火星日539 E軸日夜頻率

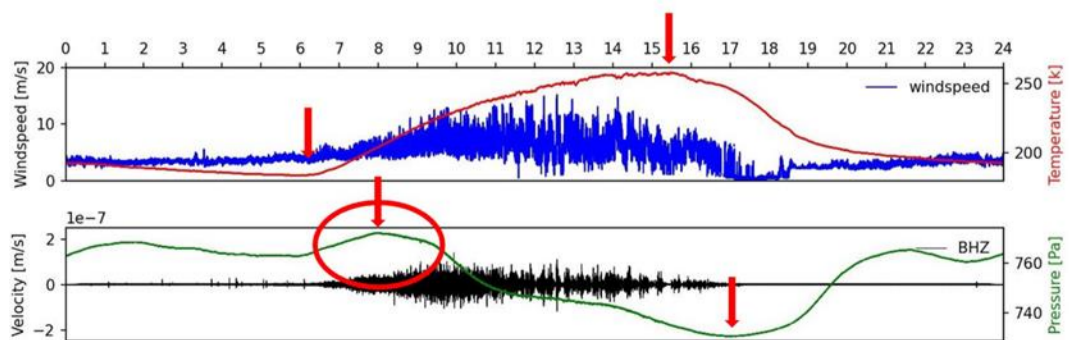


圖八、火星日707 E軸日夜頻率

討論

一、溫度、壓力、風的時變化

壓力波動與溫度波動相反，我們認為這應該是地表受熱後，上層空氣受熱膨脹上升，導致壓力變低。不過在溫度上升最初時間，壓力沒有立刻下降，我們稱之壓力突起（如右圖紅圈），而且代表不同季節的四天都一樣有這樣的現象。另外，溫度最高點總是領先壓力最低點，我們稱之壓力延遲效應。



圖九、火星日184 壓力突起

討論

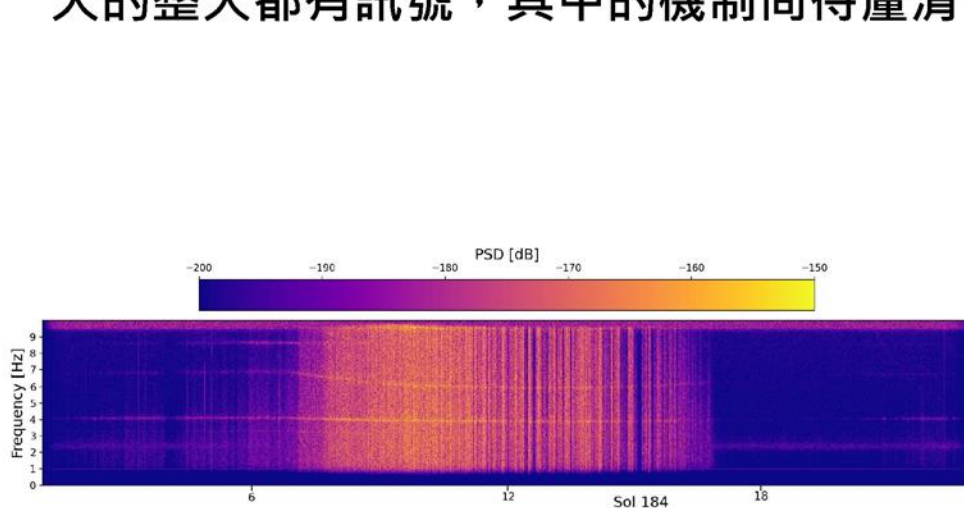
二、非地震訊號的主頻率分析

(一)日夜變化

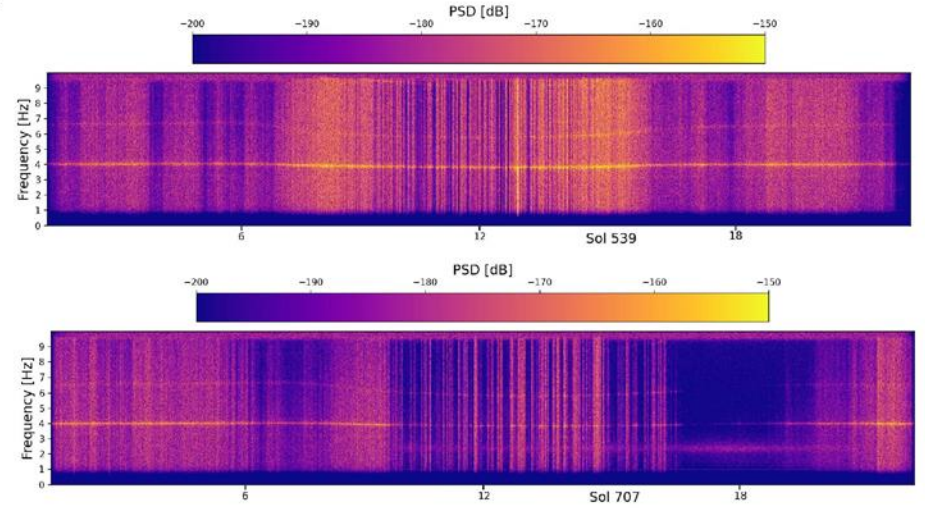
無論日夜都在2~7Hz頻率範圍出現數個峰值，其中1.6、3.3、4.1、6.8 Hz科學家歸屬於洞察號登陸器因風所引發的頻率(Hobiger et al., 2021)，但頻率2.4Hz峰值的出現則是在風勢小或者說是較寧靜的夜晚環境下才會顯現(時頻圖中藍紫色區間，圖十)，表示頻率2.4 Hz很可能不是風引發的共振頻率，目前似乎認為是來自InSight所處位置的淺層結構造成。

(二)頻譜的季節變化

似乎存在季節波動，在火星日539及707的時頻圖中，夜晚也很嘈雜。又火星日550至700多左右是沙塵暴的時節，顯示秋冬夜晚嘈雜與沙塵暴有關，而與冬天相比，秋天的整天都有訊號，其中的機制尚待釐清。



圖十、火星日184時頻圖



圖十一、火星日539(上)、707(下)時頻圖

三、溫度、風與壓力對震動訊號的影響，孰為主？

單看風與震動訊號，不管溫度、壓力低或高，只要有風，就可以觀察到震動訊號，可以認為風的影響力較其他因素還要大。而溫度與壓力的部分，溫度越高、壓力越低，震動訊號越強烈，但是我們認為這個現象是溫度、壓力所造成風的影響。

結論

一、溫度、壓力、風的時變化

溫度剛開始上升時，火星上的大氣還未膨脹，而是地面加熱上方空氣到一定程度後，氣體開始膨脹，壓力才下降，所以出現氣壓延遲現象。而高溫引發的熱對流，使風勢加大引發震動訊號，而這些震動訊號在3~4和6~7 Hz之間出現峰值，實為登陸器受風引發共振頻率(登陸器共振頻率在1.6、3.3、4.1、6.8 Hz)。

二、非地震訊號的季節變化

從頻譜圖中可看出，屬於冬季的Sol 707與其他三天Sol 184(春)、362(夏)Sol 539(秋)的縱軸強度明顯不同。沙塵暴強的秋冬夜晚也會出現強震動訊號，相對嘈雜，而秋天又比冬天還要強。

三、未來展望

釐清湍流是如何作用，才能導致Sol 707夜晚風比白天強勁，並研究是否能以其他方法找出湍流的存在。

參考資料

- Savas Ceylan, John F. Clinton, Domenico Giardini, Maren Böse, Constantinos Charalambous, Martin van Driel, Anna Horleston, Taichi Kawamura, Amir Khan, Guenolé Orhand-Mainsant, John-Robert Scholz, Simon C. Stähler, Fabian Euchner, William B. Banerdt, Philippe Lognonné, Don Banfield, Eric Beucler, Raphaël F. Garcia, Sharon Kedar....(2021). Companion guide to the marsquake catalog from InSight, Sols 0–478: Data content and non-seismic events. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, Volume 310, 106597. From <https://doi.org/10.1016/j.pepi.2020.106597>
- Hobiger, M., Hallo, M., Schmelzbach, C. et al.(2021). The shallow structure of Mars at the InSight landing site from inversion of ambient vibrations. *Nat Commun*, 12, 6756. From <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26957-7>
- A. Chatain, A. Spiga, D. Bandfield, F. Forget, N. Murdoch. (2021). Seasonal Variability of the Daytime and Nighttime Atmospheric Turbulence Experienced by InSight on Mars. *Geophysical Research Letters*, 48(22). From https://www.researchgate.net/publication/355592056_Seasonal_Variability_of_the_Daytime_and_Nighttime_Atmospheric_Turbulence_Experienced_by_InSight_on_Mars
- Nikolaj L. Dahmen, Géraldine Zenhäusern, John F. Clinton, Domenico Giardini, Simon C. Stähler, Savas Ceylan, Constantinos Charalambous, Martin van Driel, Kenneth J. Hurst, Sharon Kedar, Philippe Lognonné, Naomi Murdoch, Robert Myhill, Mark P. Panning, William T. Pike, Martin Schimmel, Cédric Schmelzbach, John-Robert Scholz, Alexander E. Stott....(2021). Resonances and Lander Modes Observed by InSight on Mars (1–9 Hz). *Bulletin of the Seismological Society of America*, 111 (6), 2924–2950. From <https://doi.org/10.1785/0120210056>