

はやぶさ2カプセル再突入 (2020年)におけるELF/VLF電波観測

#渡邊 堯¹, 小林 美樹², 加藤 泰男³, 大矢 浩代⁴, 塩川 和夫³, 鈴木 和博², はやぶさ2カプセル回収チーム⁵

(¹ 情報通信研究機構, ² 日本流星研究会, ³ 名古屋大学宇宙地球環境研究所, ⁴ 千葉大学大学院工学研究院, ⁵ 宇宙航空研究開発機構)

ELF/VLF Monitoring of the Hayabusa-2 Sample Return, 2020

#Takashi Watanabe¹, Miki Kobayashi², Yasuo Katoh³, Hiroyo Ohya⁴, Kazuo Shiokawa³, Kazuhiro Suzuki², Team Hayabusa-2⁵)

(¹NICT, ²Nippon Meteor Society, ³Institute for Space-Earth Environment Research, ⁴Graduate School Engineering, Chiba University, ⁵Japan Aerospace Exploration Agency)

Keay (1980) proposed that anomalous “sound” upon display of a very bright meteor (fireball) will be caused by the electrophonic hearing of strong ELF/VLF radio noise apparently coming from the fireball appearing in the upper atmosphere. He also proposed that anomalous hearing reported upon re-entry of spacecraft will be caused also by ELF/VLF radio noise of the descending spacecraft. No observational evidence of the radio emission was reported yet for the several re-entries of spacecraft. We planned this observational project to detect the ELF/VLF radio emission and associated anomalous sound for the re-entry of the Hayabusa-2 return capsule, taking place in the southern part of Australia on 6 December 2020 (JST). A loop antenna with a set of ELF/VLF amplifiers, a digital audio recorder (TASCAM DR-70D, 48000 samplings per sec), and a GPS time signal generator was used. The actual observation was performed by members of JAXA’s Hayabusa-2 team. The environmental ELF/VLF noise was successfully recorded for about 1 hour including the “fireball phase” of the capsule return, taking place in the interval of 02:28 - 02:29 (JST) at an altitude approximately ranged from 100 to 40 km. The linear distance of the return capsule from the observational site was ranged from 400 km to 60 km in this phase.

Several examples of weak radio bursts with a typical duration of 10 msec having a relatively flat spectrum were found in the fireball phase. The waveform and the frequency spectrum of an example are shown in Fig. 1. These radio bursts also showed a very weak dispersive nature. These characteristics suggest that the radio bursts were originated near the observational site, in a range of 100 - 200 km. Strong electric discharges of the highly charged capsule and turbulent slipstream of the ionized ablated gas formed in the fireball phase are suggested to generate observed ELF/VLF radio bursts.

Keay, C. S. L., Anomalous sounds from the entry of meteor fireballs. *Science*, 210, p 11, 1980.

Fig. 1: An ELF/VLF burst observed at 02:56 (JST) in the fire-ball phase of the Hayabusa-2 return capsule (indicated by a red box in the left-hand panel), and the spectrum of the burst (right-hand panel).

宇宙機の地球大気再突入に伴う ELF/VLF 電波放射の存在は、明るい流星（火球）に伴う異常聴音との関連で、早くから示唆されている (Keay, 1980)。しかしこれまでの宇宙機再突入に於いて試行された電波観測においては、通常の雷起源空電と異なる性質を示す電波放射の存在は報告されていない (Beech and Murray, 2005)。そこで 2020 年 12 月 6 日 02 時 (JST) に実施されたはやぶさ2カプセル再突入に関わる地上観測プログラムの一環として、ELF/VLF 電波観測を行った。しかし Covid-19 による移動制限により、観測器機はループアンテナ（単一方向）、ELF/VLF 受信機、データロガー（TASCAM DR-70、48000 サンプル/秒）、GPS 時刻信号生成器等の必要最小限の機器のみとし、JAXA カプセル回収班メンバーによる代理観測として実施された。観測地の電波環境は極めて静穏であり、再突入の火球フェイズ（02 時 28 分 48 秒～29 分 22 秒 JST）を含む約 30 分間にわたって、優れた観測データが得られた。

観測当日は観測地の北方に気圧の谷があり、オーストラリア西岸と東岸に強い温帯低気圧と前線が存在したため、これらの領域が起源と思われる空電が数多く受信されている。しかし今回は方探による直接的な空電源位置の測定は行っていないため、通常の雷活動起源の空電とは異なった特性を持つ、ELF/VLF ノイズの検出を試みた。その結果、Fig.1 左図にあるように立ち上がりか緩やかで継続性のある、弱い ELF/VLF ノイズが数個検出された。また同右図に示すように、このノイズは比較的フラットなスペクトルを持ち、当日約 1.7 kHz にあった電離層・地表導波管の遮断周波数域での強度の増加や、遠距離からの伝播を示す分散・減衰傾向も余り見られず、観測時間帯におけるカプセルの位置に相当する <200 km の、比較的近距离の発生であることが推測される。カプセルの火球フェイズでは遮熱物質のアブレーションが激しく起こっており、カプセルも秒速 10 km 近い高速で地球大気中を移動していることなどから、カプセル本体の強い帯電や飛跡中の電荷分布の偏りが発生し、カプセルとその周辺領域における断続的な放電によって、受信可能なレベルの ELF/VLF 電波が放射されたことが示唆される。

Keay, C. S. L., Anomalous sounds from the entry of meteor fireballs. *Science*, 210, p 11, 1980.

Beech, M. & Murray, I., VLF monitoring of the Genesis Sample Return Capsule re-entry, WGN, *Journal of the International Meteor Organization*, vol. 33, no. 2, p. 59, 2006

Fig. 1:(左)2016年12月6日02時54分(JST)、はやぶさ2カプセル再突入の火球フェイズに観測された ELF/VLF

継続性ノイズ波形、(右) 周波数スペクトル。横軸：周波数 (Hz)、縦軸：電波強度 (db)。

