

「はやぶさ」リエントリーの地上観測

石原吉明（国立天文台）・山本真行（高知工科大）・平松良浩（金沢大）

古本宗充（名古屋大）・藤田和央（宇宙航空研究開発機構）

2003年5月9日に打ち上げられた「はやぶさ」は7年に渡る60億キロの旅を終え、2010年6月13日に地球に帰還し、オーストラリアのウーメラ立ち入り制限地域（WPA）上空でリエントリーしカプセルを地上に送り届け、本体は火球となって散った。

隕石の落下や大火球出現時には、流星物質の超音速飛行によって励起された衝撃波によると考えられる「ドーン」という衝撃音を聞いたという証言が多数報告されることがある（例えば2010年8月7日17時過ぎの東海地方で広く聴かれた爆音）。近年では日本国内の稠密な地震観測網によって、固体地球とのカップリングにより衝撃波が励起したと考えられるシグナルが検出されており、その到達時刻を用いた落下経路決定（例えば Ishihara et al., 2004）や、地動振幅を用いた流星物質のサイズおよびアブレーション過程の研究が行われてきた。しかしながら、地動振幅のみに基づく議論では、カップリング過程などでの仮定が大きく、推定結果の信頼性には問題があった。

我々は、JAXAにより編成されたカプセル回収オペレーションの地上観測部隊の一員として現地に赴き、カプセル落下地点推定の補助、および、「はやぶさ」のリエントリーを隕石落下レベルの大火球のアナログと見立てた理学観測を実施するため、WPA内部および周辺に複数の観測点を設置し、待ち受け観測を行った。

地上観測部隊の観測項目には、リエントリーカプセルの落下経路を追跡する為の光学観測や、流星発光の素過程に迫る為の分光観測などの多角的な光学観測とともに、リエントリーに伴う衝撃波を検出する為のインフラサウンド・地震動計測が含まれている。カプセルの素材、サイズや重量は厳密に分かっており、また、落下経路については、同時に光学観測によって精密に決定される。衝撃波をインフラサウンドセンサーで大気圧変動として、地震計で地動として計測することで、固体地球とのカップリングに関する仮定や、流星物質サイズの推定に用いていた衝撃過剰圧と流星物質サイズとの関係式（ReVelle, 1976）の妥当性について、観測データをもとに検証可能である。

図1に示すように、非常にクリアな衝撃波シグナルが観測では得られ、現在種々の解析を進めている。現在までの初期解析により、各地点で記録された衝撃波の衝撃過剰圧は、理論式で予想された過剰圧の半分弱であること、衝撃波の到来方向はアレー解析および三成分地震計の記録を用いたパーティクルモーション解析から、最終予報軌道から想定される到来方向と一致することがわかった。また、衝撃波により励起された地動はパーティクルモーション解析結果から、レイリー波であると考えられる。

謝辞：本観測にあたり、京都大学防災研究所地震予知研究センターよりデータロガー

LS8200SD・4.5Hz 上下動地震計 20 セット、名古屋大学大学院環境学研究科附属地震火山・防災研究センターよりデータロガーLS70003 台および 4.5Hz3 成分地震計 2 台の借出しを受けた。記して感謝いたします。本研究は科学研究費補助金 課題番号: 22403005 基盤研究 (B) (海外学術調査)「はやぶさ地球帰還時の大気圏再突入衝撃波による可聴下音波及び励起地震動の精密観測」(代表: 平松良浩) の助成を受けたものである。

○参考文献

Ishihara, Y. et al. 2004, The 2003 Kanto large bolide's trajectory determined from shockwaves recorded by a seismic network and images taken by a video camera, *Geophys Res. Lett.*, 31, L14702.

ReVelle, D. O. 1976, On Meteor-Generated Infrasound, *J. Geophys. Res.*, 81(7), 1217-1230.

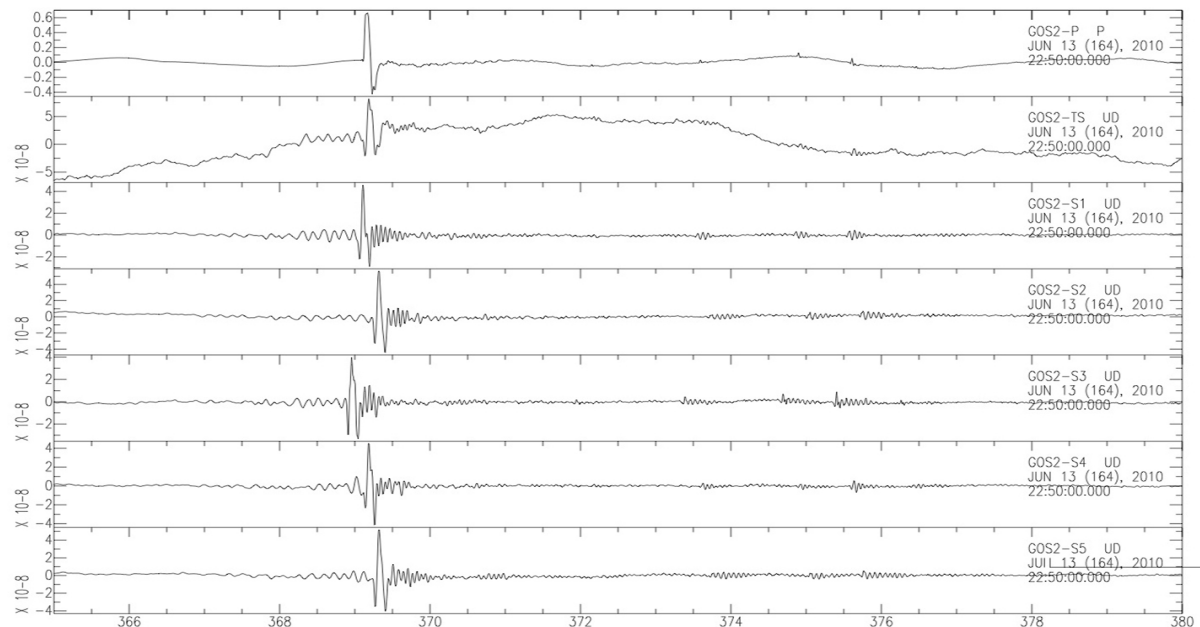


図 1. GOS2 観測点において観測された「はやぶさ」リエントリーに伴う衝撃波。横軸は、2010 年 6 月 13 日 22 時 50 分 (日本標準時) からの経過時間 (秒)。最上段はインフラサウンドセンサーで記録された大気圧変動 (縦軸単位は Pa)、2 段目以下は地震計で記録された上下動変位 (縦軸単位は m) である。カプセルによる衝撃波の大きなパルス (メインパルス) の後にも、「はやぶさ」本体の破片によると思われる振幅の小さなパルスが見て取れる。また、地動では、メインパルスの到達前から、センサーの極近傍で励起されたと考えられる表面波の到達が見て取れる。