

衝撃波圧力の減衰：数百GPaからHELまで

永木恵太（阪大・理），門野敏彦（産医大・医），境家達弘（阪大・理），近藤忠（阪大・理），弘中陽一郎（阪大・レーザー研），重森啓介（阪大・レーザー研），荒川政彦（神大・理）

衝撃波の減衰に関する実験的研究を行った。過去に行われた衝撃波減衰の実験的研究はKato et al. (2003), Nakazawa et al. (2002), Shirai et al. (2008)などがあるが、これまでに計測された圧力領域は30 GPa（衝突速度で5 km/s）以下であり、これより高圧領域での衝撃波の減衰の実験的な計測は行われていない。

われわれは大阪大学の高出力レーザーを使って数百GPaの圧力を発生させ、試料中の衝撃波の伝播・減衰を調べるため次の三種類の実験・計測を行った：（１）厚さを変えた幌満かんらん岩薄片試料（50 $\mu$ mから250 $\mu$ m）を使って試料裏面の自由表面速度をVISARによって計測、

（２）（１）と同じ厚さを変えたかんらん岩試料を使って衝撃波が試料の裏面に到達する時刻を計測、（３）3 mm角の天然オリビン単結晶立方体試料に衝撃波を伝播させて回収し、衝撃波によって生じたメルト・クラック分布を計測。

（１）および（２）の実験では、衝撃波は試料の裏面に到達する前に、レーザー照射後（2.5 ns 後）にスタートする希薄波に背面から追いつかれる。つまり減衰しつつある衝撃波を計測することになる。レーザー照射スポットの外側からも希薄波が発生するが、衝撃波に追いつくのはレーザー照射面（初期圧力発生面）からの深さがスポット径と同程度以遠であり、この実験では試料裏面に衝撃波が到達した時にはまだ追いついていない。すなわち、この実験の中心線付近での衝撃波は1次元の平面波と見なすことができる。（１）の計測により、初期高圧力発生（レーザー照射）位置からの距離の関数として粒子速度が求められ、このデータを基にして距離の関数として衝撃波速度・圧力の減衰する様子が得られた。圧力は距離  $r$  の-1.9乗で減衰していた。

（２）の計測により、距離と到達時刻の関係が得られた。このデータをべき乗則でフィットし、得られた式を時間で微分することにより衝撃波速度と距離の関係を求めた。衝撃波速度は（１）で求めたものとよく一致していた。（１）のVISARによる自由表面速度の計測と（２）の衝撃波到達時刻の計測は独立であり、お互いのデータが矛盾無く一致しているということはそれぞれの計測が信頼できることを示している。

（３）回収試料を薄片にすることにより、衝撃波伝播の痕跡を調べた。薄片の透過光強度を距離の関数として調べることにより、メルトやクラックの数密度を反映した分布が得られ、メルト境界とHEL（ユゴニオ弾性限界）の位置（初期圧力発生位置からの距離）を決定することができた。メルト圧力とHELの値を仮定して圧力と位置の関係をプロットしたところ過去に数値計算により求められた弾丸衝突での圧力プロファイルとよく一致した。初期圧力の発生条件はレーザー照射と弾丸衝突で異なるが、今回の（３）の実験ではレーザーのパルス幅が長く（20 ns）、背面からの希薄波でなく、レーザー照射スポットの脇から発生した希薄波が衝撃波を減衰させていると考えられる。これはアスペクト比 $\sim 1$ の弾丸衝突と同じ過程であり、そのため、それぞれの圧力プロファイルが一致したと考えることができる。

（３）の回収試料におけるメルトとHELの位置から求めた距離  $r$  に対する圧力の減衰率は2.1 $\sim$ 2.4であり、同じ圧力範囲にもかかわらず（１）の平面衝撃波よりも急な減衰を示している。両者の減衰率の比は $\sim r^{-1.9}/r^{-(2.1-2.4)}\sim r^{(0.2-0.5)}$ となる。（３）のような減衰の過程は、衝撃波の伝播が軸対称系で起こっていると考えることができるため、（１）と（３）の減衰率の差は幾何学的効果によるものであろう。

今後、減衰率における幾何学的な効果をより定量的に評価するためには軸対称系または球対称系における衝撃波波形（プロファイル）の時間変化を詳細に調べる必要があるだろう。

#### 参考文献

Kato et al. (2001), *J. Geophys. Res.*, 106, 17567-17578.

Nakazawa et al. (2002), *Icarus*, 156, 539-550.

Shirai et al. (2008), *J. Geophys. Res.*, 113, doi: 10.1029/2008JE003121.