

## 25aA05

### 大型レーザーを用いた宇宙物理実験：無衝突衝撃波生成 Laboratory astrophysics experiments using large-scale laser systems : Collisionless shock generation

坂和洋一, H.-S. Park<sup>1</sup>, G. Gregori<sup>2</sup>, A. Spitkovsky<sup>3</sup>, F. Fiuza<sup>4</sup>, C. Huntington<sup>1</sup>, J. S. Ross<sup>1</sup>,  
D. D. Ryutov<sup>1</sup>, B. B. Pollock<sup>1</sup>, B. Remington<sup>1</sup>, S. V. Weber<sup>1</sup>, D. P. Turnbull<sup>1</sup>, J. Meinecke<sup>2</sup>,  
M. C. Levy<sup>2</sup>, A. B. Zylstra<sup>5</sup>, C. K. Li<sup>5</sup>, H. Rinderknecht<sup>5</sup>, A. Zylstra<sup>5</sup>, R. Petrasso<sup>5</sup>, N. L. Kugland<sup>6</sup>,  
R. P. Drake<sup>7</sup>, C. Kuranz<sup>7</sup>, D. H. Froula<sup>8</sup>, S. Regan<sup>8</sup>, M. Rosenberg<sup>8</sup>, D. Lamb<sup>9</sup>, P. Tzeferacos<sup>9</sup>,  
N. Woolsey<sup>10</sup>, M. Koenig<sup>11</sup>, 原由希子, 下河原浩志, 森田太智<sup>12</sup>, 富田健太郎<sup>12</sup>, 松清修一<sup>12</sup>,  
山崎了<sup>13</sup>, 蔵満康浩<sup>14</sup>, 森高外征雄<sup>14</sup>, 加藤恒彦<sup>15</sup>, 佐野孝好, 高部英明  
Y. Sakawa, H.-S. Park<sup>1</sup>, G. Gregori<sup>2</sup>, A. Spitkovsky<sup>3</sup>, F. Fiuza<sup>4</sup>, et al.

阪大レーザー研, LLNL USA<sup>1</sup>, Oxford U UK<sup>2</sup>, Princeton U USA<sup>3</sup>, SLAC USA<sup>4</sup>, MIT USA<sup>5</sup>,  
Lam Research Corp USA<sup>6</sup>, U Michigan USA<sup>7</sup>, LLE USA<sup>8</sup>, U Chicago USA<sup>9</sup>, York U UK<sup>10</sup>,  
LULI France<sup>11</sup>, 九大総理工<sup>12</sup>, 青山学院大<sup>13</sup>, National Central U Taiwan<sup>14</sup>, 広大学理<sup>15</sup>  
ILE Osaka U, LLNL USA<sup>1</sup>, Oxford U UK<sup>2</sup>, Princeton U USA<sup>3</sup>, SLAC USA<sup>4</sup>, MIT USA<sup>5</sup>,  
Lam Research Corp USA<sup>6</sup>, U Michigan USA<sup>7</sup>, LLE USA<sup>8</sup>, U Chicago USA<sup>9</sup>, York U UK<sup>10</sup>,  
LULI France<sup>11</sup>, Kyushu U<sup>12</sup>, Aoyamagakuin U<sup>13</sup>, National Central U Taiwan<sup>14</sup>, Horoshima U<sup>15</sup>

近年、大出力・高強度の大型レーザーを用いて、宇宙でしか観測されないような高温・高エネルギー密度、超高速流プラズマを実験室内に実現し、プラズマ物理学や宇宙物理の理解を深めていくことを目指す「レーザー宇宙プラズマ物理研究」が注目されている。我々は、その中でも、宇宙線の加速に重要な役割を果たしていると考えられている、無衝突衝撃波の生成に着目して研究を行って来た。本講演では、ワイベル不安定性によって生成される乱流磁場中の非相対論的な無衝突衝撃波生成実験について報告する。

1999年に Medvedev & Loeb がガンマ線バーストにおける相対論的衝撃波において、ワイベル不安定性によって強磁場が生成される事を示し、その後多くの相対論的粒子 (PIC) シミュレーションが行われた。2008 年に加藤と高部は 2 次元 PIC シミュレーションを用いて、超新星爆発によって発生する 1,000-10,000 km/s の非相対論的高速プラズマにおいても二流体系でワイベル不安定性を励起し、発生した強い自己磁場によって粒子軌道が曲げられ、実効的なエネルギーの散逸がおきて無衝突ワイベル衝撃波が形成される事を示した。我々は、米国の Omega および NIF レーザーを用いて非相対論的な無衝突ワイベル衝撃波生成実験を行った。

2014-2015年度のNIF実験では、56 - 104本の Drive beam (3 $\omega$ , 総エネルギー 300 - 500 kJ, 5

nsのフラットトップパルス)を6-10 mm間隔の double-planeターゲットに照射して(各ターゲットに28 - 52本, 150 - 250 kJ) 対向プラズマを生成した。ターゲットとして、CD/CDとCD/CHの double-planeとCDの single-plane ターゲットを用いた。計測は、DD核融合生成中性子計測とプロトンイメージング、X線のスペクトルおよびイメージング、等を行った。

250 kJ/foilのショットでは、 $4.4 \times 10^{10}$ 個のDD核融合中性子が5 nsパルス幅のレーザー照射終了となる、 $t \sim 5.5$  nsに計測された。また、2つのターゲット間の中央部に $t \sim 5.5$  nsで強度が最大となるX線発光が観測された。DD核融合プロトン強度分布は、X線の分布と一致した。これらことから、衝撃波によって加熱された高温プラズマからDD中性子・プロトンとX線が生成されたものと考えられる。誘導ラマン散乱スペクトルから求めた電子密度は  $\sim 7 \times 10^{20}$  cm<sup>-3</sup>となった。

NIFを用いた本研究は、2016-2017年度まで継続して行われる事になった。これまで計測器の準備ができておらず、実施できなかった協同トムソン散乱やD-<sup>3</sup>He核融合反応生成陽子によるプロトンバックライト計測も2016年度には使用できる予定である。今後、プラズマ密度・温度等のパラメータやワイベル不安定性の成長とフィラメント状磁場の時間発展、および無衝突衝撃波の生成を明らかにして行く。