

高速衝突過程における衝撃波材料のレーザープラズマによる研究

—閉じ込め型レーザープラズマ照射による炭素生成—

ケドヴェッシュ ミクロシュ (理工学・三浦 保範)

研究の目的

ダイヤモンド炭素を含んだ隕石物質がしばしば衝突孔付近に発見され、その起源として衝突前に形成されたものであるとか、隕石のグラファイト炭素が衝撃変成を受けたと考えられていた。しかし炭素を含むターゲット岩石(石灰岩)に衝突すると、炭酸塩鉱物から炭素を遊離して、衝突変成物質中にダイヤモンド炭素が形成されて残ったと考えられることが最近の当研究室などの研究で分かってきた。今回の私たちの実験では、炭素物質が高圧・高温条件下で炭酸塩鉱物から形成する事を示すことが主目的である。そしてこの重要な応用展開として、炭素物質(ダイヤモンドを含めて)を安価で多量に生成する技術開発である。

超高速衝突(HVI)現象は実験的に多くの研究装置で応用されているが、今回の実験では新たにレーザー照射強度を高くすることによって容易で安価な生成物が得られることを調べた。高照射強度レーザーを固体表面に衝突させると、その表面物質からプラズマと高圧衝撃波を発生して、HVIと同じ反応となることが分かってきた。ターゲット物質を透明物質で覆ってプラズマを閉じ込めることによって、発生する衝撃波を制御して、目的の衝撃物質を完全に回収できる。今回はこの方法を、天然の炭素含有鉱物物質(方解石)の衝撃物質転移に適用してみた。

今回の実験では、山口県秋吉産とデンマーク国ステフンス・クリント産石灰岩試料の二種類を使用し、パルスNd:YAGレーザーと透明閉じ込め媒体(石英/ガラス板と水)を導入して新たな工夫を行った。この実験では、いろんなパラメーター(レーザーパルス強度、焦点スポットサイズ、パルス時間、継続照射数、ターゲット物質、収束物質など)を変えて実験した。生成した物質は、分析走査電子顕微鏡、X線光電子分光法(XPS)、X線回折装置、マイクロラマン分光分析計などで観察測定した。

研究成果

照射したターゲット岩とカバー透明板の分析の結果、高照射強度と短パルス照射の場合に炭素の物質の遊離と形成が見られた。プラズマ閉じ込めをしない実験では、炭素物質は形成できていなかった。形成炭素量とレーザー強度の最適条件が炭素形成の最適形成条件を与えることが分かった。炭素形成には石灰岩ターゲットと閉じ込め媒体が重要な要因を持っていることが分かった。レーザー照射強度が5-10 GW/cm²の場合数倍の量と10μmサイズが得られた(図1)。

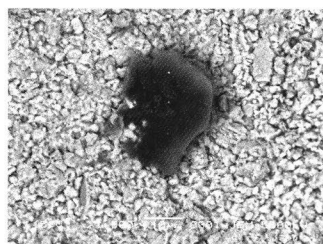


図1. 秋吉石灰岩ターゲットと水に閉じこめてレーザー照射して得られた炭素のASEM写真。中央の黒色部が炭素からなっている形成物。周囲は変質石灰岩。

この結果は、レーザー照射条件(レーザー強度、パルス時間)が同じであれば、別の実験でも同じ反応過程が予想できることを示している。レーザープラズマは高温なので、照射ターゲット物質は完全な原子化と一部のイオン化が起こり、炭素原子が原子状態で残ってくる。ここでターゲット試料をカバーした媒体の役目は、発生したレーザープラズマの閉じ込めと、その化学組成を制御するものである。これらの実験結果が、炭素が高温高圧でターゲット岩から発生した閉じ込めプラズマで形成できるというアイデアを支持している。

さらにいろんな分析装置で、これら形成された炭素の構造状態を解明しなければならない。しかしここで明確になったことは、純粋炭素物質が高温・高圧条件下であれば炭酸塩鉱物が炭素元素相のソースであることである。さらに固体・気体・液体・固体(SVLS)の最適条件下でこの炭素がダイヤモンド構造に結晶化し、いわゆるグラファイト?ダイヤモンド転移をしたことと同じになることが分かりました。レーザープラズマ衝撃照射では、多段階でダイヤモンド相が形成されるため、炭酸塩鉱物試料からいったん低結晶度相が形成され、さらにそれがダイヤモンドに転移することが必要になります。

新しい実験として、ターゲット石灰岩に鉄粉を混入してレーザー照射しました。ここで鉄粒は触媒と急冷の役目であり、炭素の結晶化とダイヤモンドの転移を促進している。このアイデアは鉄隕石が衝突した場合を詳細に応用したもので、レーザー照射だけでは実現できないことです。この展開実験では、さらに鉄と炭素からなるスフェール(球粒)などが得られ、現在炭素元素分析などを行っています。

まとめとして、閉じ込めレーザープラズマ法によって、純粋炭素物質がカルシウム炭酸塩鉱物(方解石)から高温・高圧条件下で形成できることが分かりました。この結果は、別の石灰岩試料や閉じ込め媒体でも、炭素相が見られます。今回の研究成果は、炭酸塩物質から衝突で炭素(ダイヤモンド)がある適切な条件下でできることを実証し、それが地球における炭素元素循環システムの中で隕石衝突プロセスの役目の重要性を指摘し、さらに炭素生成の実験室と工業化技術の応用において貴重な情報を提供しています。

産業技術への貢献

閉じ込めプラズマ照射の技術は、工業的に非常に重要で固体表面に極局所衝撃プロセスをする唯一の方法である。閉じ込めプラズマ照射の技術と形成炭素層を最も安く手軽に入手できる物質(石灰岩)とを組み合わせると産業技術への期待がことが大いに期待できる。

研究発表

- 1) M. A. Kedves and Y. Miura: Laser-Based Experimental Studies of Hypervelocity Impact Effects on Carbon-Bearing Targets; Int. Symp. on Planetary Impact Events and their Consequences on Earth (PIECE'99), p 41, 1999.09.27-30.
- 2) Y. Miura, M. A. Kedves, H. Kobayashi and A. Gucsik: Carbon Source from Limestone Target by Impact Reaction at the K/T Boundary; Lunar and Planetary Science XXX, Abstract #1522, Lunar and Planetary Institute, Houston (CD-ROM).
- 3) M. A. Kedves and Y. Miura: Hypervelocity Impact Effects on Limestone Rocks - Laser-Based Experimental Modelling; submitted for publication in Meteor. Planet. Sci.
- 4) Y. Miura, S. Fukuyama, M.A. Kedves, A. Yamori, M. Okamoto and A. Gucsik: Chemical Separation of Fe-Ni Particles After Impact; Adv. Space Res. 25, 285-288 (2000).
- 5) M. A. Kedves and Y. Miura: Carbon Formation from Akiyoshi Limestone Target by Laser Shock Experiments; Int. Symp. on Investigations of the Earth (IFIE'00), p. 28-29, 2000.11.24.
- 6) 三浦保範, Miklos Kedves, 矢守章: 衝突衝撃波による単純元素生成-炭素レーザー生成・鉄隕石の鉄粒子生成-; スペース・プラズマ研究会報告書(文部科学省宇宙科学研究所), 平成11年度, p. 10-14, 2000.3

グループメンバー

氏名	所属	職(学年)
三浦 保範	理工・地球科学	助教授
ケドヴェッシュ ミクロシュ	理工・地球科学	PDF

連絡先

電話 083-933-5746 (ダイヤルイン)
FAX 083-933-5768 (学部事務室)
E-mail: yasmuira@po.cc.yamaguchi-u.ac.jp