

固体メタンの高温・高圧相変化と氷惑星マンツルの状態の推定

Phase Changes of Solid Methane under High Pressure and High Temperature, their Implications in Mantle of Icy Planets

小長井 敬介 [1]; # 平井 寿子 [2]; 町田 真一 [3]; 八木 健彦 [4]

Keisuke Konagai[1]; # Hisako Hirai[2]; Shin-ichi Machida[3]; Takehiko Yagi[4]

[1] 筑波大・生命環境; [2] 筑波大 地球; [3] 筑波大・生命環境; [4] 東大・物性研

[1] Life and Environmental Sci., Tsukuba Univ.; [2] Geoscience, Tsukuba Univ.; [3] Life and Environmental Sci., Tsukuba Univ;

[4] Inst. Solid State Phys, Univ. Tokyo

メタンは、固相から気相まで様々な状態で地球や太陽系惑星に存在している。特に、天王星・海王星のような氷惑星中の“氷”層には、高温・高圧のメタンが存在しており、その状態や相変化が氷惑星の内部構造や進化に関連していると考えられる。室温・高圧下でメタンは、1.6GPaで流体から結晶化し(相・fcc構造)、5.3GPaでA相(菱面体)、10~20GPaでB相(立方晶)、25GPaでHP相(立方晶)転移し、35・60GPaでも立方晶-立方晶転移することが明らかになってきた。また、A相とB相の間には準安定相が存在し、B相を経ずに加圧することで、安定相とは異なった相変化をすることが明らかになった。高温・高圧下での報告は比較的少なく、理論計算(Ancilotto et al. 1997)により100~300GPa・4000Kで分子重合すると予測がされた。一方、高温実験(10~50GPa・3000K以下、Benedetti et al. 1999)では、重合した炭化水素やダイヤモンドが生成することが報告されてきた。本研究では室温及び高温・高圧下でのメタンの相変化や分子の状態、分子解離までのプロセスを解明することを目的とし、氷惑星マンツルにおけるメタンの状態に関して検討を行った。

実験方法を以下に示す。圧力発生にはレバー式ダイヤモンドアンビルセルを用い、そこに99.99%のメタンを常温・150MPaで超臨界流体として封入した。加熱は、CO₂レーザー、Nd:YAGレーザーを用い、レーザーを試料に直接照射、あるいは試料室に封入した白金箔・微粉末に照射して加熱した。圧力は、ルビー蛍光の圧力シフトにより、温度は輻射温度計及び白熱の有無より測定した。実験は10~81GPaで行った。加熱中は光学顕微鏡による観察、冷却後は放射光(KEK PF)を用いたXRD、Raman散乱によって評価を行った。

加熱した実験は、冷却後の評価から、主にレーザー照射位置からの距離すなわち温度分布によって5つに分けることができた。このうち、領域と領域との境界では屈折率差が観察され、これより高温の領域で熔融と分子重合が起こっていると考えられる。最も低温(1100K以下・領域)の加熱(5分未満)中には、白金微粉末の移動が見られたが、冷却後のXRD・Ramanともに加熱前後で変化は見られなかった。この領域は固体ではあるが、流動性が高くなっていると考えられる。1200から1600K程度の加熱(領域)では、加熱中に周囲の固体メタンとの屈折率差が生じ、これは冷却後も残った。XRD・Ramanにより冷却後のメタンは、アモルファス化して存在することが示された。これらのアモルファス化した固体メタンは領域~にも含まれていた。1800K以上の加熱実験(領域)では、領域との屈折率差はない。冷却後のRamanによりエタンが生成したことが示された。またXRDでは、2006年西尾によって報告されたメタン-エタン分子間力化合物が観察され、エタン生成によりこの化合物が形成されることが考えられた。2200Kで比較的長時間(30分程度)加熱した試料(領域)では、XRDで新たにブロードな回折スポットが観察され、これらは、エタンより高次の炭化水素であると考えられた。また、3000K以上の最高温で比較的長時間加熱した試料(領域)では、加熱部分が黒色に変化し、冷却後のXRDではダイヤモンドの生成が観察された。これらから、固体メタンは広い圧力範囲で温度上昇によって、熔融した後、メタン\rightarrowエタン\rightarrow高次の炭化水素\rightarrowダイヤモンドと重合が進むこと明らかになった。

氷惑星マンツル、“氷”層の最上部は10GPa・2000Kと推測されている。本研究の結果よりこれは領域~に対応し、この氷層最上部は熔融していると考えられる。また、メタンだけでなく重合した炭化水素が存在していると考えられる。このような氷層最上部のメタンや重合した炭化水素が、大気層で観測される炭化水素の供給源となっている可能性がある。また、氷層深部へ向かうにつれ、高次の炭化水素が生成され、氷層中層付近ではダイヤモンドが存在している可能性が示された。