

メタン - エタン系物質の高圧相変化とタイタン内部における状態の推定

High Pressure Studies on Methane-Ethane System and Prediction of their States in the Titan's Interior

西尾 峰之 [1]; 平井 寿子 [2]; 八木 健彦 [3]

Mineyuki Nishio[1]; Hisako Hirai[2]; Takehiko Yagi[3]

[1] 筑波大・第一・自然; [2] 筑波大 地球; [3] 東大・物性研

[1] Natural Sci., Tsukuba Univ.; [2] Geoscience, Tsukuba Univ.; [3] Inst. Solid State Phys, Univ. Tokyo

<http://www.geo.tsukuba.ac.jp/life/earthevol/index.htm>

2005年1月、土星衛星タイタンに探査機ホイヘンス (ESA) が着陸し、その地表面や大気についての測定が行なわれた。それによると、タイタン地表面は水氷や炭化水素の固体に覆われており、液体として存在する物質はほとんど発見されなかった。存在が期待されていた炭化水素の海や湖は存在しないということが報告されたが、かつて液体が存在していた証拠として、乾いた河床や海岸地形等が発見されている。またタイタン大気には、窒素、メタン、水素、エタン、アルゴン等が含まれていることが報告された。しかし理論的計算によると、メタンやエタンは数千万年というオーダーで、光化学反応で他の物質へ変化してしまうことが知られている。それによると、メタンはエタン等のさらに高分子の炭化水素等に変化する。エタンも類似の反応をする。そこでタイタン深部に、エタン等を含むメタンを地表や大気に放出する大規模な供給源が存在するということが予想されている。タイタン内部圧力条件下でのメタン単相に関する状態はよく知られているが、メタン - エタン系の高圧下の状態はこれまで全く知られていない。

そこで本研究ではダイヤモンドアンビルセルを用いて、メタン - エタン系における高圧実験を室温下 0.1 MPa ~ 20.4 GPa の温度圧力条件で行った。本実験試料のメタンとエタンの初生比は、メタン : エタン = 90% : 10%、85% : 15% の 2 種類を用いた。またエタン単相についても室温下 0.1 MPa ~ 15.7 GPa の温度圧力条件で実験を行った。

流体エタンは 2.9 GPa で結晶化した。圧力誘起の固体エタンは本研究で初めて観察された。結晶化に際して、2 つの新しい C-H 振動モードと、1 つの新しい C-C 振動モードが現れた。得られた X 線回折パターンは、結晶化後類似しているが、8.0 GPa 以降では数本の新しいピークが現れた。さらに圧力に対する d 値の傾きが、12 GPa と 14 GPa で不連続に変化することが観察された。また Raman 分光においても約 8 GPa、12 GPa、14 GPa で Raman Shift の明らかな傾き変化が観察された。本研究においてこれらの固体エタンの相を、I 相、II 相、III 相、IV 相と呼ぶ。固体エタンの X 線回折パターンは 8 GPa 以下では、斜方晶系として推定され、7.0 GPa の I 相についての格子定数は $a=5.043$ Å、 $b=4.998$ Å、 $c=3.661$ Å であった。8 GPa 以上では格子定数がその斜方晶系と類似した単斜晶系として指数付けされた。これらの 4 つの相におけるエタン分子は、類似した基本構造の中で、異なる回転状態にあると考えられる。

メタン - エタン混合系において、混合流体は 5.3 GPa まで結晶化しない。結晶化に際して未知相が現れ、またそれは 10.8 GPa まで観察される。本研究において、この相を X 相と呼ぶ。この相は X 線回折と Raman 分光から、メタン分子とエタン分子からなるが、固体メタン単相とも固体エタン単相とも明らかに異なることが示された。この X 相の回折パターンは、斜方晶系として推定され、その格子定数は 6.4 GPa において、 $a=8.142$ Å、 $b=7.970$ Å、 $c=2.990$ Å であった。X 相に含まれるエタン分子の分子内振動モードは、単相の固体エタンと比べて $20 \sim 30 \text{ cm}^{-1}$ 程度低波数側にずれている。これは単相と比べて、より大きな相互作用が分子間で起こっていることを示唆している。それゆえ、この X 相は、メタン - エタン系において高圧下で形成される分子間力化合物であると考えられる。

これらの結果から、実験試料の組成比がタイタン内部の予測される存在比とは異なるが、メタン - エタン混合流体がタイタンの浅部 ~ 中部マントルにおいて存在していた、もしくは現在も存在している可能性が示唆される。現在タイタン内部の温度圧力条件ははっきりとしていないが、メタン分子とエタン分子からなる分子間力化合物がさらに深いマントル内に存在していることが推定される。それらの存在についてはまだ不明確ではあるが、エタンが含まれるということは、タイタン内部の物性に大きな影響を及ぼすと考えられる。

X線回折 メタン-エタン系(90:10) 6.4GPa

