



岡山大学記者クラブ

文部科学記者会

科学記者会

御中

令和 2 年 12 月 23 日

岡 山 大 学

氷の衛星の表面と内部の氷の正体を理論的に特定！

◆発表のポイント

- ・ 極低温や低圧で、気体と水が存在する場合に、氷とガスハイドレート¹⁾のどちらが生じるのかを理論的に予測する方法を発見しました。
- ・ その結果を用いて、水が豊富に存在している極低温の天体の表面や内部における、水の状態を明らかにしました。
- ・ 外惑星の衛星や冥王星における、内部海²⁾の存在や地殻から大気へのガス放出についての原因解明に役立つと期待されます。

岡山大学異分野基礎科学研究所（理学部）理論化学研究室の田中秀樹教授、矢ヶ崎琢磨特任講師（現 大阪大学大学院基礎工学研究科 特任准教授）、松本正和准教授は、太陽系の外惑星とその衛星等に豊富にある水が、低温かつ他の天体構成物質が存在する環境下で、どのような状態であるのかを理論的に突きとめました。

本研究成果は 12 月 17 日、アメリカ天文学会の国際科学雑誌「*Planetary Science Journal*」オンライン版に掲載されました。

外惑星系天体の表面のみならず内部液体の水に至るまでの水の状態の解明は、これらの天体や彗星における水の存在の程度とその役割を研究するための基盤となります。

<業績>

岡山大学異分野基礎科学研究所（理学部）理論化学研究室の、田中秀樹教授、矢ヶ崎琢磨特任講師、松本正和准教授の研究チームは、土星の衛星タイタンや木星の衛星エウロパ、ガニメデ、また準惑星の冥王星について、表面から内部海に至るまでの地殻をなす水の状態を、理論的に特定することに成功しました。

<背景>

低温で、一定の圧力の存在下において、気体と水と一緒に凍結したガスハイドレートが生じることがあります[1]。また、太陽系の外惑星から太陽系外縁にいたる極低温の環境には、水が大量に存在することがわかっており、一部の水は窒素やメタンなどの気体と接してガスハイドレートになっている可能性があります。しかし、どのような条件のもとでハイドレートが存在しうるのが不明でした。



PRESS RELEASE

<内容>

この研究では、大量の気体分子を取り込むことの出来るガスハイドレートが、さまざまな温度・圧力条件および組成比（気体と水の割合）において生成できるかどうかを理論的に正確に予測する方法を初めて考案し、これを外惑星の天体に適用しました。それによれば、木星の衛星エウロパやガニメデのように希薄な酸素大気と水とが接触している場合には、通常の氷が生じると予想されます。一方、大気圧が高く温度の低い土星の衛星タイタン、および極めて温度の低い冥王星では、大気の成分である窒素とメタンを含むガスハイドレートのみが生じ、通常の氷は存在できないことを突きとめました。また、タイタンの氷の地殻の下には液体の水で満たされた内部海があると考えられていますが[2]、この研究によるとタイタンの地殻には、表面から内部海に接する底面にいたるまで、ガスハイドレートが通常の氷とともに、あまねく存在すると予想されます。

<見込まれる成果>

土星最大の衛星タイタンは、地球以外で唯一、液体が地表に存在することが確認されています。タイタンの大気の大部分は窒素で、残る 1.4% を占めるメタンが凝結し、雨となって降りそそぎ、溪谷を刻み、湖沼に流れこんで地球そっくりの地形を生み出していることが、ESA（欧州宇宙機関）のホイヘンス探査機の調査（2005 年）で明らかになっています。タイタンには大量の液体メタンが存在することから、一部では生命の存在も期待されています。しかし、本来メタンは光化学反応で変化しやすく、補給がなければ数千万年ほどでほかの物質に変換されると考えられます。そのため、メタンが地底からどのように補給されているかが大きな謎とされてきました。従来は、氷の火山の噴火等でメタンが地表に供給されると考えられていましたが、今回の研究は、タイタンの地殻中から大気にいたるまでのどの深さでもメタンが存在できること、そしてそのために内部海からの水の直接の噴火によることなく、地底からメタンがもたらされうることを示しました。

また、冥王星はその表面が極低温であるにもかかわらず、内部には液体の水をたたえた内部海があると考えられています。その原因は、通常の氷と比べて極めて熱を伝えにくいガスハイドレートの層が、毛布のような役割をしているためだという説が 2019 年に北海道大学の研究チームにより提示されました[3]。今回の研究によれば、もし冥王星表面が水に覆われてから十分時間が経過しているなら、表面には通常の氷はなく、ガスハイドレートのみが存在できます。このことは、表層付近のガスハイドレートの影響により、深部の水が凍らないという説を強く支持します。

■論文情報

論文名：On the Occurrence of Clathrate Hydrates in Extreme Conditions: Dissociation Pressures and Occupancies at Cryogenic Temperatures with Application to Planetary Systems

Planet. Sci. J. 1: 80 (13pp) (2020)（オープンアクセス）

掲載紙：*Planetary Science Journal*

著者：Hideki Tanaka, Takuma Yagasaki and Masakazu Matsumoto

DOI：10.3847/PSJ/abc3c0



PRESS RELEASE

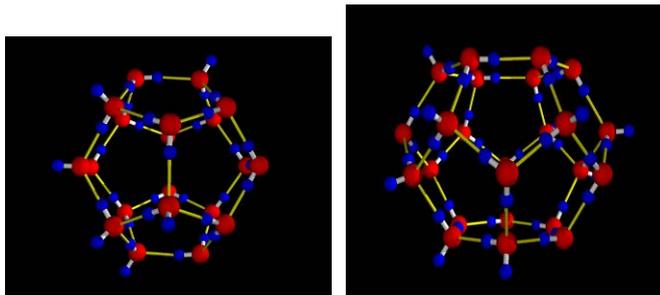
<用語解説・参考文献>

1) ガスハイドレート

水と油は混ざらないものの代名詞ですが、実際、油と同じく疎水性分子であるメタン、エタン、プロパンなどは液体状態の水に対する溶解度が非常に低く、分子数の比でいえば 10,000 分の 1 以下しか溶けません。ところが、温度を下げるとこれらの気体は水に対して 15% もの割合で取り込まれてガスハイドレート結晶になります。ガスハイドレートの中では、水分子は通常の氷と同じように、水素結合で隣同士緊密につながりあいつつ、ゲスト分子を収容する空洞を形作っています（図 1）。

通常の氷は、圧力をかけると融解しますが、ガスハイドレートでは逆にガスの圧力を下げるとガスハイドレートが分解しやすくなるので、温度を下げるまたは加圧することでガスハイドレートが生成しやすくなります[1]。さらに、このガスハイドレートはその主な成分が水であるにもかかわらず、熱の伝導率が通常の氷の 20% 程度であり、保温効果が非常に大きい物質です。

(a)



(b)

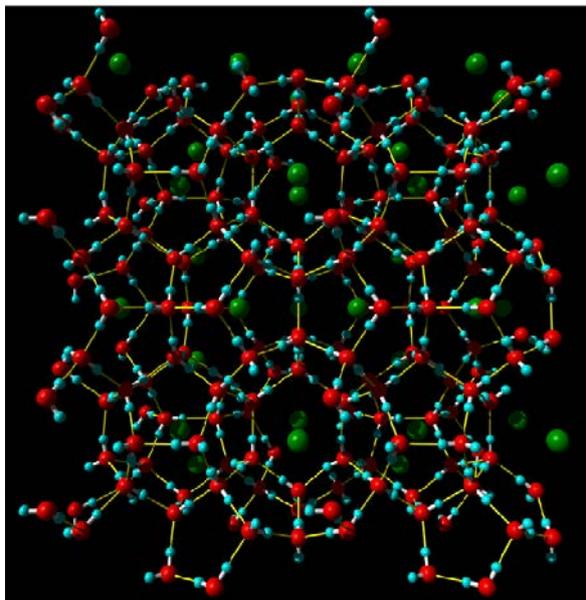


図 1

- (a) ガスハイドレートを形作る、水分子（赤の酸素と青の水素の球）が水素結合（黄色の線）で結ばれた 12 面体と 14 面体。このカゴ状の多面体の中に、ガスから取り込まれたゲスト



PRESS RELEASE

分子が一個ずつ入る。

- (b) ガスハイドレートの結晶。(a)の多面体が組みあわさって骨格をなし、それぞれにゲスト分子（緑の球）が1つずつ入っている。

2) 内部海

木星や土星の衛星は多量の水を有し、タイタンを例に挙げれば図2のように、大気の下に氷（今回の研究によればガスハイドレートを含む）の地殻があります。その地殻は水のマントルに浮いていて、水にはアンモニアや二酸化炭素の他にメタンなどの炭化水素もわずかに溶けていると考えられています。さらに下には、液体の水よりも密度の高い氷（氷VI）が沈んでいます[2]。このように、液体の海は上下を構造の異なる氷で囲まれていることとなります。中心部は岩石質であって、メタンの供給源がこの岩石にあるともいわれています。

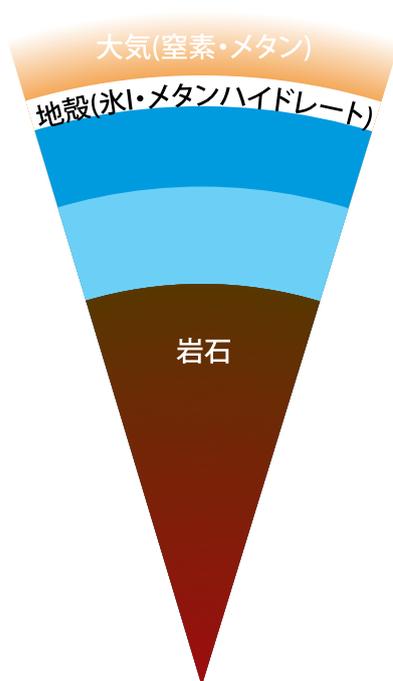


図2 タイタンの大気と内部の物質[2]。

3) 参考文献

- [1] H. Tanaka and M. Matsumoto, Statistical mechanical approach to the thermodynamic stability of clathrate hydrates. *Adv. Chem. Phys.* **152**, 421 (2013).
- [2] G. Tobie, J. I. Lunine, and C. Sotin, Episodic outgassing as the origin of atmospheric methane on Titan *Nature*, **440**, 61(2006).



PRESS RELEASE

- [3] S. Kamata, F. Nimmo, Y. Sekine, K. Kuramoto, N. Noguchi, J. Kimura & A. Tani, Pluto's ocean is capped and insulated by gas hydrates, *Nature Geosci.* **12**, 407 (2019).

<お問い合わせ>

岡山大学異分野基礎科学研究所（理学部）

理論化学研究室

教授 田中 秀樹

（電話番号）086-251-7769

（URL）<http://theochem.chem.okayama-u.ac.jp>



岡山大学
OKAYAMA UNIVERSITY



岡山大学は持続可能な開発目標（SDGs）を支援しています。