

平成 21 年 6 月 5 日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18740342
 研究課題名（和文） 氷およびクラスレートハイドレートの強誘電性
 研究課題名（英文） Ferroelectricity in ice and clathrate
 研究代表者
 深澤 裕（FUKAZAWA HIROSHI）
 日本原子力研究開発機構・量子ビーム応用研究部門・研究副主幹
 研究者番号：30370464

研究成果の概要：氷およびクラスレートハイドレートの水素原子の配置を中性子回折および散乱の実験で研究した。水素が秩序化する温度と圧力の条件を新たに明らかにした。また、結晶内部の拡散と秩序化の機構を原理的に解明した。これらの結果に基づき、宇宙に強誘電体の氷が広く存在するとの仮説を発表し、その実証に向けた実験と観測計画を提案した。

交付額

（金額単位：円）

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|--------|-----------|
| 2006年度 | 1,600,000 | 0 | 1,600,000 |
| 2007年度 | 1,000,000 | 0 | 1,000,000 |
| 2008年度 | 300,000 | 90,000 | 390,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 2,900,000 | 90,000 | 2,990,000 |

研究分野：地球惑星科学

科研費の分科・細目：岩石・鉱物・鉱床学

キーワード：中性子 強誘電体 惑星 氷

1. 研究開始当初の背景

氷中の水素原子の配置が如何なるメカニズムで秩序化するののかについて 1930 年代に L. Pauling が問題提起して以来長い議論が続いている。当初、英仏で実施された中性子回折、散乱の実験では、水素秩序化の程度が低いとの結果が得られていた。このことは、純粋な氷では水素秩序化が発生しないことを示唆しており、熱力学第 3 法則に反する意外な結果ともいえるので議論となっていた。

2. 研究の目的

本研究では、東海村およびオークリッジの最先端の中性子ビーム利用技術を用いて、氷

の粉末中性子回折の精密な分析を実施することにより、氷中の水素配置の秩序化の程度、温度圧力条件を明らかにするとともに、水素欠陥の発生と秩序化の過程を原理的に理解することを目的とした。

3. 研究の方法

水酸化物、酸のドーブ、ガンマ線の照射等により氷結晶中に欠陥を発生させた試料を生成し、水素が拡散して秩序化する過程を、中性子回折の時間分割測定により原子座標の微視的変移として精密に捉えることに成功した。

本研究費により中性子用のトップローデ

リング式冷却装置を製作し、中性子を測定しながら試料を作成することを可能にした。また、中性子回折の時間分割測定には大強度の中性子ビームが必要であり、オークリッジ国立研究所の世界最大級の研究用原子炉にて高感度な粉末中性子回折装置(図1)を整備した。連続測定が可能な測定系プログラムを新たに開発し、時間分割実験を可能にした。



図1 オークリッジの粉末中性子回折装置

4. 研究成果

本研究の実施により、氷結晶に0.001 M 程度の水素欠陥(H⁺及びOH⁻)を導入することで、50 K から70 K の温度範囲、大気圧下から1.5 GPa の圧力範囲において、一週間程度の時間経過後に水素の配置が秩序化した構造が圧力に応じて4種類発生し、さらにその秩序構造領域が数週間以上成長し続けることがわかった。数ヶ月後に結晶全体の大半が水素序構造に変化しており、この結果から純粋な氷結晶でも数万年という長い時間の経過によって水素秩序化が発生すると予測される。

また、氷と似た性質を持つクラスレートハイドレートでも同様の水素秩序化が見られた。

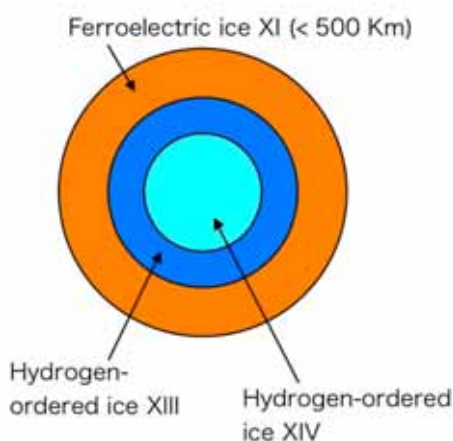


図2 冥王星の構造モデル

水素はマイナスの電荷を帯びているのでこれが秩序化すると強誘電体となる。強誘電体の氷は強いクーロン力を持つのでこれが

宇宙に存在すると惑星形成や物質進化に深く影響する。上記の温度圧力条件は太陽系外縁で広く実現するもので、例えば、冥王星には3~4種類の水素秩序構造が存在すると推定される(図2)。そこで、宇宙で強誘電体の氷を発見する為に必要な赤外線の特長を明らかにし、発見に向けた探査や観測の重要性を提案した。

本研究で提唱した宇宙における強誘電体の氷の存在は、米国天文学会誌、米国サイエンス誌を始めとして、国内外の新聞、テレビ、インターネットで広く報道され、社会の関心を集めてきたと考えている。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計19件)

Hiroshi Fukazawa, Akinori Hoshikawa, Yoshinobu Ishii, Bryan C. Chakoumakos, and Jaime A. Fernandez-Baca: Existence of ferroelectric ice in the Universe, *Astrophysical Journal*, 652, L57-L65, 2006, 査読有り

Hiroshi Fukazawa, Akinori Hoshikawa, Bryan C. Chakoumakos, and Jaime A. Fernandez-Baca: Existence of Ferroelectric Ice on Planets, *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research, A* 600, 279-281, 2009, 査読有り

[学会発表](計27件)

深澤 裕, 宇宙における強誘電体の氷の存在 宇宙氷の謎を中性子で探る, 日本地球惑星科学連合2007年大会, 2007年5月21日, 千葉市(招待)

Hiroshi Fukazawa, Akinori Hoshikawa, Bryan C. Chakoumakos, and Jaime A. Fernandez-Baca: Nucleation and Growth of ice XI, XXI Congress and General Assembly of the International Union of Crystallography 2008, Aug 23, Osaka (Invited)

[その他]

原子力機構プレス発表
(<http://133.188.30.70/02/press2006/p06122201/index.html>)

2007年7月10日東京新聞(24面)「太陽系の起源解明、がん治療・・・強い中性子で夢の成果？」

2007年2月20日朝日新聞(夕刊7面)「極限水」中性子で探る 惑星形成の解析に光？」

2007年1月19日科学新聞(1面)「宇宙に強誘電体の氷 中性子回折実験で存在提唱

原子力機構」

2007年1月12日常陽新聞(3面)「宇宙に強誘電体の氷が存在 惑星誕生の謎解く鍵に 原子力機構研究員が提唱」

2007年1月5日 Science誌 Editor's Choice (p.18)「Capturing Ferroelectric Ice」

テレビ番組「サイエンスチャンネル,アトム of 剣と挑戦者たち 第10話 宇宙に強誘電体の氷」(2008年8月初回放送)

日立第一高等学校ホームルームセミナー(2008年10月18日)での依頼講演(若いときの夢はかなえられる-中性子ビームで宇宙の謎を解く-)

6. 研究組織

研究代表者 深澤 裕 (FUKAZAWA HIROSHI)

日本原子力研究開発機構・量子ビーム応用

研究部門・研究副主幹

研究者番号: 30370464