

科学研究費補助金研究成果報告書

平成24年 5月15日現在

機関番号：11301
 研究種目：基盤研究 (B)
 研究期間：2008～2010
 課題番号：20403010
 研究課題名 (和文) 光学観測適地での高空間分解観測に基づく水星外圏大気生成起源の探査
 研究課題名 (英文) Investigations of origin of Mercury's exospheric atmosphere based on the optical observations with high spatial resolution at optimum observation sites
 研究代表者
 三澤 浩昭 (MISAWA HIROAKI)
 東北大学・大学院理学研究科・准教授
 研究者番号：90219618

研究成果の概要 (和文) : 未解明の水星外圏大気生成起源の探査を行うために、海外光学観測適地で水星ナトリウム大気の高空間分解観測を行った。また、モンテカルロ法を用いた水星外圏大気粒子生成をモデル化した数値計算を行い、観測結果との照合に基づき外圏大気生成過程の考察を進めた。

研究成果の概要 (英文) : In order to investigate origin of unknown Mercury's exospheric atmosphere, ground-based optical observations have been made for Mercury's sodium atmosphere with high spatial resolution at optimum observations sites, the island of Maui, Hawaii and Alice Springs, Australia. Generation processes of Mercury's exospheric atmosphere have been examined by comparing the observation results with modeled atmospheres which have been calculated using the numerical simulation code originally developed by Tohoku University.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	3,400,000	1,020,000	4,420,000
2009年度	3,300,000	990,000	4,290,000
2010年度	5,100,000	1,530,000	6,630,000
年度			
年度			
総計	11,800,000	3,540,000	15,340,000

研究分野：数物系科学 (惑星磁気圏物理学)

科研費の分科・細目：地球惑星科学・超高層物理学

キーワード：水星、外圏大気、光学観測、大気生成機構、モデリング

1. 研究開始当初の背景

水星は地球型惑星の中で最も未知の惑星である。水星に対する探査は、1970年代に実施されたマリナー10探査機のフライバイによる短時間の直接観測と、地上からの光学観測等による限られたものだが、これらは固体惑星科学的にも超高層物理学的にも水星の

特異性を伝えており、サイエンス・ターゲットとして水星は興味深い惑星となっている。水星大気は地表付近でも数密度が 10^6 /cc程度の極めて希薄なものであり、“外圏大気”の状態にある。水星大気の起源として、水星が太陽に近い軌道を周回するために高温となる惑星表面の粒子の熱脱離過程、太陽光に

よる惑星表面粒子の光脱離過程の他に、地球等の濃い大気の場合とは異なり、惑星間空間の微小隕石や太陽風プラズマ等の外来粒子による惑星表面からの叩き出し過程等の放出過程が候補とされる。それぞれの過程で大気粒子の放出速度や放出領域が異なると考えられることから、水星大気には放出過程により特徴的な大気分布が形成されると考えられる。一方、水星表面からの大気放出は水星の太陽からの距離変化に伴う太陽光、太陽風密度、微小隕石衝突確率や水星表面温度等の変化により放出量が影響を受けるとともに、大気粒子源である水星表面に非一様な大気粒子密度分布を生じさせる可能性が示唆されている。また、太陽紫外線による大気粒子の電離により生じるイオンが、水星表面へ空間的・非一様に降込む可能性も示唆されている。これらの非一様性は大気放出量に影響するため、結果として、放出過程毎の特徴的な大気分布に、表面大気粒子密度やイオン降下の空間的・非一様性に起因した変調が加わった分布となることが予想される。これらの変調効果の重要性は、当研究グループ等による水星大気生成・消失のシミュレーション計算に基づき近年提唱されてきたことである。以上を鑑み、水星の外圏大気の生成起源を実証的に解き明かすには、現段階では未だ情報が限られている大気の空間分布特性や放出粒子の速度分布特性、および、それらの時間変動特性について、連続的に、また、様々な水星-太陽間距離の条件について系統的に観測を行うことにより定量的に導出することが重要である。

現在まで、水星外圏大気の直接観測については、上述したマリナー10探査機の水星フライバイ時に2度の機会があったが、これらは短時間の観測であり、得られた大気の情報も成分等に関するごく限られたものであった。水星には水星周回探査機による直接観測が複数行われつつあるが(NASAのMessenger探査機(水星到着済)、ESA/JAXAのBepiColombo探査機(開発中))、詳細な水星観測は今後であり、地上からのリモートセンシングは現在でも有力な観測手法である。しかし、従来、水星大気を観測しうる高空間分解分光観測に関しては、マシンタイムの限られた大型特殊光学観測装置を用いた、テンポラルな観測についての報告が殆どであった。この結果、大気起源を解明する上で重要と考えられる、様々な太陽・水星・地球位置での大気発光分布のデータは限られており、本研究グループで進めてきた大気生成・消散のシミュレーション計算から予想される複数の大気生成過程の寄与仮説を実証してゆくには、観測データが不十分である。この原因は、従来の観測が場当たりの観測による発見的な大気の特徴の検出に力点がおかれ、大気起源考察の

ための系統的な観測を意図したものではなかったことによると考えられる。系統的な観測実現に必要な、十分な高空間分解・高分散分光観測を十分な時間実現することが必要となるが、本研究グループでは、そのための主要な装置の準備(高速撮像装置、高分散観測装置)を今まで行ってきており、その有効性を確認してきた。また、木星イオ起源ガス・プラズマの発光観測を通して、高空間分解での光学連続観測では、シーイングが良好で高い晴天率の光学観測適地での実施が極めて有効且つ重要であることを確認してきた。実際、世界的な光学観測最適地である蒙州中央砂漠地帯で1997~1999年に、ハワイ・ハレアカラ山頂で2000年以降、年約1ヶ月以上の木星観測を継続して実施し成果を上げてきている。本研究は、これらの実績に立ち、マシンタイムの制約のない自主開発の惑星大気観測専用装置を用いて、必要な空間分解能での観測を可能とする光学観測適地で系統的な水星大気観測を世界に先駆けて行ってゆくことを主内容として計画された。

2. 研究の目的

水星には、大気密度が極めて希薄なため惑星表面が外圏界面となる大気(外圏大気)が存在する。この外圏大気の起源として、高温の水星表面からの大気粒子の光脱離や熱脱離、惑星間微粒子や太陽風粒子の惑星表面への衝突による蒸散やスパッタリングが想定されている。更に、これら素過程の他に、惑星表面組成の不均一や、衝突粒子の不均一な降下が大気放出を変調させていると考えられる。本研究は、光学観測適地での高シーイング性を活かした高空間分解光学観測に基づく大気の空間分布および速度分布の詳細調査、及び、観測結果と数値シミュレーション計算との比較により、水星の外圏大気の生成起源を実証的に解き明かすことを目的として実施された。

3. 研究の方法

水星大気の特徴として、その希薄さとともにナトリウム(Na)の存在比が大きいことが上げられる。Na大気は太陽光の共鳴散乱により可視域で比較的明るい発光を示すが、本研究では、このNa大気発光を対象とした以下の方法による大気起源の探査・究明が予定された。

- 1) 視直径の小さい水星の、Na大気2次元発光分布を検出する、既存の高分散分光系と光学望遠鏡系を組み合わせた高空間分解観測用光学装置の開発。
- 2) 視直径が小さく、地球大気シンチレーションによる空間分解能低下の影響がおきやすい水星大気観測のため、ベストなシーイング条件が得られ、且つ、連続観測に適した

晴天率を持つ光学観測適地での、様々な水星-太陽-地球位置に対する観測に基づく、水星外圏大気空間分布特性の導出。

3) 観測・解析結果と水星外圏大気放出に関する数値シミュレーション計算との比較に基づく大気起源の考察。

4. 研究成果

本研究課題の実施期間において、3で記した研究内容の(1)と(2)を実施、(3)は継続中である。以下、主な成果を記す。

1) 水星外圏大気の観測：高分散分光系を備え2次元発光分布が観測可能なハワイ・マウイ島ハレアカラ山頂の東北大学ハワイ観測所(北半球サイト)と、本研究で開発した装置を備えた豪州中央砂漠帯アリススプリングスのニューサウスウェールズ大学構内設置の観測点(南半球サイト)の2観測点による水星大気観測が企画された(両観測点はともに世界有数の光学観測最適地である)。水星観測時期は、特に水星の太陽離角が大きい時期が選ばれ、朝方～昼半球、または、夕方～昼半球の水星ディスク付近の発光について、様々な水星経度の条件下でのデータ取得が試みられた。

2) 数値シミュレーション計算との比較による水星大気生成起源の考察：東北大学グループで過去に開発された、各種の外圏大気放出機構(光脱離、熱脱離、微隕石衝突、イオンスパッタリング)を考慮した数値シミュレーションコードに、水星の様々な表層状態と太陽紫外線照射・太陽風変化に対応して放出領域と放出効率の変化を組み入れた、機能追加版コードを作成した。1)の観測から得られた大気分布と、観測実施時に水星で想定される太陽・太陽風状態を考慮した数値シミュレーション結果との比較を行い、特に水星の朝-午-夕面での大気放出率の特徴的な差異：地方時依存性と、地方時依存性では説明のつかない成分～局所依存性の導出を現在も継続して実施中である。局所依存性は、過去に米国の研究者らにより提唱されてきたが(Sprague et al., Icarus, 1998 等)、その評価も含め、これら二つの依存性の究明を慎重に進めている。

以上、本研究グループは、水星外圏大気生成起源について、観測装置の開発と観測、数値解析に基づく研究を step by step で進めてきた。観測結果と、地方時依存性と局所依存性を含めた数値解析との比較による詳細な考察は継続課題となったが、本研究の目的である水星外圏大気生成過程の全容究明に向け、研究完遂を目指す。

尚、本研究で支援したハワイの光学観測では水星以外の惑星や衛星の外圏大気観測も時期を同じくして実施され、水星と類似の外圏大気を持つ月や木星のイオ衛星、また、土

星のエンケラドス衛星から放出される外圏大気についても生成起源研究に繋がる成果が得られた。5の論文発表・学会発表には、これらについての研究成果も一部掲載する。

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計5件)

- ① 兒玉晋洋, 鍵谷将人, 岡野章一, 地上望遠鏡を用いたエンケラドストラスOI 630nm 発光の観測, 第11回惑星圏研究会集録, 11, 153-156, 2011. (査読無し)
- ② 米田瑞生, 鍵谷将人, 三澤浩昭, 岡野章一, 木星ナトリウム雲の10年, 第10回惑星圏研究会集録, 10, 151-154, 2010. (査読無し)
- ③ Yoneda, M., H. Nozawa, H. Misawa, M. Kagitani and S. Okano, Jupiter's magnetospheric change by Io's volcanoes, Geophys. Res. Lett., 37, L11202-1~5, 2010. (査読有り)
- ④ Yoneda, M., M. Kagitani, and S. Okano, Short-term variability of Jupiter's extended sodium nebula, Icarus, 204, 589-596, 2009. (査読有り)
- ⑤ Misawa, H., A. Sonobe, A. Morioka and S. Okano, Investigation of local time dependence of Mercury's sodium exosphere based on a numerical simulation, Planet. Space Sci., 56, 1681-1687, 2008. (査読有り)

[学会発表] (計9件)

- ① 鈴木大志, 鍵谷将人, 岡野章一, Haleakala40cm 望遠鏡による月 Na 希薄大気生成の月面地域依存性の観測, 第130回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 神戸, 2011年11月4日
- ② Yoneda, M., H. Nozawa, H. Misawa, M. Kagitani and S. Okano, Do enhancements in Io's volcanic activity weaken Jupiter's magnetospheric activity?, European Geosciences Union General Assembly 2011, Wien, Austria, Apr. 7, 2011.
- ③ Kaneko, K., M. Kagitani and S. Okano, Numerical Simulation on the Sodium/Potassium Ratio in Mercury's Exosphere, International Symposium on Planetary Science 2011, Sendai, Mar. 9, 2011.
- ④ Kaneko, K., M. Kagitani and S. Okano, Simulation on the ratio of sodium to potassium in the exosphere of Mercury, American Geophysical Union, Fall meeting 2010, San Francisco, USA, Dec. 13, 2010.
- ⑤ 金子奏瑛, 鍵谷将人, 岡野章一, 水星外圏大気中ナトリウム・カリウム存在比の数値シミュレーション, 第128回地球電磁気・地球惑星圏学会講演会, 那覇, 2010年

11月1日

- ⑥金子奏瑛, 鍵谷将人, 岡野章一, 水星外
圏大気中ナトリウム・カリウム存在比の数
値シミュレーション, 日本地球惑星科学連
合2010年大会, 千葉, 2010年5月28日
- ⑦金子奏瑛, 鍵谷将人, 岡野章一, 水星外
圏大気中ナトリウム・カリウム存在比の数
値シミュレーション, 第126回地球電磁
気・地球惑星圏学会講演会, 金沢, 2009年
9月28日
- ⑧深澤宏仁, 鍵谷将人, 岡野章一, 水星ナ
トリウムテール中のNa原子速度空間分布と
その変動に関する研究, 日本地球惑星科学
連合2009年大会, 千葉, 2009年5月19日
- ⑨深澤宏仁, 鍵谷将人, 岡野章一, ハレア
カラ観測所での水星ナトリウムテールの分
光観測-II, 第124回地球電磁気・地球惑星
圏学会講演会, 仙台, 2008年10月11日

[その他]

ホームページ等 (本研究グループ総合サイ
ト)

<http://pparc.gp.tohoku.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

三澤 浩昭 (MISAWA HIROAKI)
東北大学・大学院理学研究科・准教授
研究者番号: 90219618

(2) 研究分担者

岡野 章一 (OKANO SHOICHI)
東北大学・大学院理学研究科・教授
研究者番号: 10004483
土屋 史紀 (TSUCHIYA FUMINORI)
東北大学・大学院理学研究科・助教
研究者番号: 10302077
野澤 宏大 (NOZAWA HIROMASA)
鹿児島工業高等専門学校・一般教育科理
系・准教授
研究者番号: 60398914