

数値シミュレーションに基づく水星ナトリウム大気の Local Time 依存性の検証

園部 彩 [1]; 三澤 浩昭 [1]; 森岡 昭 [2]; 岡野 章一 [3]

[1] 東北大・理・惑星プラズマ大気; [2] 東北大・理・惑星プラズマ大気; [3] 東北大・理

Investigations of the Local Time dependence of Mercury's sodium exosphere based on a numerical simulation

Aya Sonobe[1]; Hiroaki Misawa[1]; Akira Morioka[2]; Shoichi Okano[3]

[1] PPARC, Tohoku Univ.; [2] Planet. Plasma and Atmos. Res. Cent., Tohoku Univ.; [3] PPARC, Tohoku Univ.

Mercury has the surface bounded exosphere similar to that of the moon. So far six atmospheric species are identified by space and ground-based observations: one of them, sodium, was discovered by the ground-based optical observation as the most prominent component [Potter and Morgan,1985]. According to several ground-based observations, various characteristics about the spatial and temporal distribution of Mercury's sodium exosphere have been identified. One of these has been called as local-time (LT) dependence (dawn-dusk asymmetry or diurnal variation, etc.) of Mercury's sodium exosphere [Sprague et al.,1997; Barbieri et al.,2004; Schleicher et al.,2004]. This is sodium exosphere's non-uniformity for LT at low-latitude regions, for example, it is suggested that sodium column density at the dawn side region is larger than that at the dusk side region and amount of sodium exosphere is largest at not the noon but morning region. In addition, it is inferred that the LT dependence is affected by sodium atoms having low release velocity because the dependence is identified near Mercury's surface. Some explanations for this dependence are proposed; thermal desorption, depletion of sodium atoms at Mercury's dayside surface, the affection of solar radiation acceleration, the effect of recycling, and so on [Sprague et al.,1992; Hunten and Sprague,2002; Leblanc and Johnson,2003; Potter et al.,2006]. However, so far, there have been few researches that quantitatively discuss causalities of the LT dependence.

We have investigated the origin of Mercury's sodium exosphere based on a numerical simulation. This time, we have focused on the local-time dependence of Mercury's sodium exosphere in order to understand production and loss processes of low release velocity component of the exosphere. As a concrete method of the investigation, we compare a model sodium exosphere simulated from the Monte Carlo method with observation results [Sprague et al.,1997].

In this simulation study, the motion of atmospheric atom is resolved as the restricted three-body problem (Sun, Mercury, and a sodium atom) and time evolution of atoms released from Mercury's surface is calculated using the four-order Runge-Kutta method. Release speed of sodium atoms is determined according to the velocity distribution function of each release mechanism (e.g. desorption, sputtering, etc.) and release direction is determined with the Monte Carlo method. As an initial step of this investigation, we adopted the photon-stimulated desorption process as the release mechanism, because released sodium atoms by the process have low-velocity and the dominant component in the dayside atmosphere near Mercury's surface according to precedent studies [McGrath et al.,1986]. Moreover, we assumed that amount of sodium atoms supplied to Mercury's surface always exceeds that of released atoms from the surface. As the result of comparison between a model exosphere calculated based on these assumptions and observed results, the model could not meet with the observations. It is suggested that, therefore, some additional mechanisms or effects, especially balance of supply and release for sodium atoms, should be considered. Following these results, we have investigated the LT dependence further by adopting new models considering non-uniformity of sodium atoms supplied to Mercury's surface and thermal desorption which is one of release mechanisms causes increase of sodium column density at dawn side region [Sprague et al.,1992; Hunten and Sprague,2002].

水星については、その直接探査は1970年代に行なわれた米国のMariner 10によるフライバイ観測による3度のみであり、また、地上からの光学観測も地球大気のゆらぎや見かけサイズの小ささのために困難である。ゆえに、現在も水星に関してはあまり多くのことが知られていない。しかし、近年、MessengerやBepi-Colombo等による直接探査が実行・計画されており、水星は、現在大変注目を集めている惑星の一つである。

水星に関する限られた知見の中で、大気については、大気に含まれるナトリウム(Na)の発光により地上観測が可能であることから比較的研究が進んでいる。水星大気は月大気と同様、地表面が「外圏底」となる非常に希薄な状態にあり、大気は惑星表面・磁気圏との相互作用により保持されていると考えられている。Na大気については、これまでの観測により空間分布や時間変動に関して数々の特徴が示されている。しかし、水星表面からの大気放出機構については、いくつかの提案があるものの、放出率・放出領域などの詳細はまだ解明されていない。

観測された水星Na大気の空間分布の特徴的なものの一つとして「Local Time(LT)依存性(朝夕非対称性、diurnal variation)」が挙げられる(Sprague et al.,1997、Barbieri et al.,2004、Schleicher et al.,2004)。これはNa大気量にLT方向の非一様性が存在するというもので、夕側LTよりも朝側LTでNa大気量が多いことや、昼ではなく朝側で大気量が最も多くなることなどが示唆されている。また、これは水星ディスク付近で確認されている現象であることから、低速で水星表面から放出されるNa原子が影響していると考えられている。LT依存性を生み出す原因として、これまでに朝側での急速な熱脱離(蒸発)や表面Na原子の枯渇、太陽放射圧加速度の影響、sodium photo ion recyclingの効果などが挙げられている(Sprague et al.,1992、Hunten and Sprague,2002、Leblanc and Johnson,2003、Potter et al.,2006)。しかし、これらの効果を

モデル化し観測結果と比較することで定量的に議論している研究は未だ少ないのが現状である。

我々は、水星 Na 大気生成過程の解明に焦点を当て、主に数値シミュレーションを用いた研究を行っている。本研究では、水星 Na 大気の LT 依存性を引き起こすメカニズム・効果を検証することで、Na 大気の低速成分生成の理解を目指している。具体的な検証の手法として、我々の数値シミュレーションによる Na モデル大気と Sprague et al.(1997) による観測結果の比較を行なっている。

本研究で用いた数値シミュレーションでは、大気原子の運動は太陽・水星・Na 原子間の制限三体問題として解き、4 次のルンゲ・クッタ法を用いて水星表面から放出した原子位置の時間発展を求めた。原子の放出速度は速度分布関数に従うように与え、放出方向はモンテカルロ法を用いて決定する方式とした。検証の第一段階として、水星表面への Na 原子供給は常に表面からの放出量を上回るとし、放出機構としては、先行研究から量的に最も多く比較的低速 ($\sim 1\text{km/s}$) で Na 原子を放出させるといわれている光脱離を採用した。以上の仮定に加え、観測時の大気シーイング条件による観測結果 (Sprague et al.,1997) に含まれる smearing 効果も考慮した Na モデル大気と観測結果を比較した。このモデル計算では、大気の放出過程として光脱離、消失過程として光電離と水星表面での粒子吸着のみを考慮したため、モデルとして朝夕非対称は生じず、昼部分と朝夕部分との間の非対称が生じることが予想される。従って、今回のモデル計算は特に昼部分と朝夕部分とに生じている LT 依存性の原因を探ることを目的として実施したものである。

結果として、以上の条件だけでは観測結果を良く再現することはできず、加えて他のメカニズム・効果、特に Na 原子の供給・放出のバランスを考慮する必要性を示唆する結果となった。この結果を受け、我々は特に朝側 LT での大気量増加の大きな要因とされる熱脱離や水星表面への Na 原子供給・消失の LT 依存性などをモデル化することで観測結果の再現を目指し、LT 依存性を引き起こすメカニズム・効果の検証を進めている。