

RIDE キャンペーン（観測ロケット S-310-46 号機実験）での熱圏下部大気圧力測定結果について

#阿部 琢美¹⁾, 森脇 岳斗²⁾, 小柳 智久²⁾, 横田 久美子²⁾, 田川 雅人²⁾, 齊藤 昭則³⁾

⁽¹⁾ 宇宙研, ⁽²⁾ 神戸大学, ⁽³⁾ 京都大学

On the result of neutral atmospheric pressure measurement by ion gauge in the lower thermosphere during RIDE campaign

#Takumi Abe¹⁾, Gakuto Moriwaki²⁾, Tomohisa Oyanagi²⁾, Kumiko Yokota²⁾, Masahito Tagawa²⁾, Akinori Saito³⁾

⁽¹⁾Japan Aerospace Exploration Agency, Institute of Space and Astronautical Science, ⁽²⁾Kobe University, ⁽³⁾Kyoto University

Sounding rocket “S-310-46” was launched from Uchinoura Space Center on July 15, 2025 with an objective of elucidating generation mechanism of the sporadic E layer. A total of seven science instruments were installed to measure the thermospheric neutral atmosphere, the ionospheric ions and electrons, electric and magnetic fields. In this presentation we will describe an initial result from pressure gauge (ion gauge) whose purpose is to estimate the neutral atmospheric density and the atmospheric flow direction on the rocket.

Charged and neutral particles co-exist in the lower ionosphere. The former tends to move in a direction different from the latter, because of a difference in those behaviors against the electromagnetic force. The ionospheric current and ambipolar electric field existing in this region are attributed to a difference in a collision frequency between ion and electron with neutral particles. Characteristic phenomena such as traveling ionospheric disturbance are significantly generated due to the diversity of the particles in this region. It is desirable to develop an instrument which provides information on local quantities about charged and neutral particles to improve our understanding of this region.

Although measurements of the atmospheric density by pressure sensor have been conducted for decades using sounding rocket and satellite since the 1950s in the world, very few were made in Japan. We started developing a pressure gauge to be installed on the sounding rocket. Our pressure gauge has two sensor elements: 1) crystal gauge for the higher-pressure region and 2) B-A (Bayard-Alpert) gauge for the lower-pressure region. The B-A gauge will be turned on under pressure below 4 Pa while the crystal gauge is responsible for the measurement at pressures above this threshold.

In 2022, our pressure gauge was first installed on sounding rocket “S-520-32”. In this measurement, two identical pressure gauges were stored in two different shaped containers. The first container was designed on the basis of Patterson probe, which is known as a closed spherical container with a long tube, from which gases flow in. In the Patterson probe, incoming gas first collides with inner wall of the tube and loses translational kinetic energy, and the pressure gauge inside can measure static pressure due to thermal motion of atmospheric particles. The second one is an open-type cylindrical container. This container was newly developed for the first experiment and has a small inlet for gas inflow. The internal structure was designed so that it can have high sensitivity in the direction of the incoming gas flow. Both sensors successfully measured the atmospheric pressure through the rocket flight. However, it was found that the gauge did not function properly below 10^{-2} Pa because of outgas from an inner surface of the container.

For the second experiment In “S-310-46” experiment, the measures taken to prevent outgassing are as follows: 1) Heat the ion gauge container to get outgas from its inner surface, while decreasing the pressure by pumping, 2) Stop heating and maintain a vacuum inside the container and install the system on the rocket, 3) Lids to keep the vacuum is automatically removed and start measuring during the rocket flight. This system successfully functioned well, and so the gauge started measuring the atmospheric pressure when it became almost the same as the background pressure.

Unfortunately, a flight performance of “S-310-46” was much different from the expected one, i.e., 1) the rocket continued flying while maintaining a large attack angle, 2) the spin rate downed below 0.1 Hz at its initial phase, 3) the apoapsis altitude was about 103-104 km, which was more than 10 km lower than predicted value. As a result of this performance, data from our pressure gauge was very different from the expectation, although the data was continuously collected all through the flight. The preliminary result from the initial analysis will be presented.

スプラディック E 層の形成メカニズムの解明を目的として観測ロケット S-310-46 号機が 2025 年 7 月 15 日に JAXA 内之浦宇宙空間観測所から打ち上げられた。この観測ロケットには熱圏中性大気、電離圏イオン・電子、電場、磁場の測定を目的として計 7 つの観測機器が搭載された。本講演では中性大気密度および機上での大気流の測定を目的として搭載された圧力計（イオンゲージ）の初期観測結果について述べる。

圧力計を用いた熱圏中性大気の圧力測定は、ロケット等の飛翔体では 1950 年代から、人工衛星では 1960 年代から行われてきたが、日本ではあまり実績が無い。熱圏下部においては大気の一部が電離しているが、電気的磁気的な力を受けるプラズマと影響を受けない中性粒子間で衝突が生じるため、この領域の粒子は複雑な運動をすることが知られている。この領域に特有の未解明の現象を理解するためには中性大気の密度や運動を正確に理解することが必要で、そのためにも測定法の確立が望まれている。

ロケットや人工衛星等の高速で飛行するプラットフォーム上での大気圧の測定は飛翔体自身の運動が引き起こす大気擾

乱や機器からのアウトガス等により大きく影響を受けるため、測定された圧力値から真の大気密度を推定するには注意が必要である。

我々は 2022 年に打ち上げた観測ロケット S-520-32 号機に初めて 2 式の圧力計を搭載した。一つはパターソンプローブで球形容器内に測定子を収納したもの、もう一つは新規設計で円筒型容器の内部に測定子を収納したものである。この圧力計はキャノン・アネルバ製で圧力に応じて 2 つのセンサが機能するように設計されており、高圧側では crystal gauge, 低圧側では B-A (Bayard-Alpert) gauge で測定を行うようになっている。圧力が 4Pa 以下になると自動的に B-A gauge に切り替わるものである。圧力計はフライト時に正常に動作し、圧力測定が行われたが、深刻な問題として容器内部に収納された測定子は容器内側表面からのアウトガスの影響により、 10^{-2} Pa 以下において圧力を精確に測定できない問題があった。

S-310-46 号機では圧力計のセンサ測定子を 3 式搭載したが、その中のセンサ B ではアウトガス対策として、1) 排気ポンプを用いて容器内部を真空中に保ちながら高温にして表面からアウトガスを出す、2) 昇温を停止し容器内部を真空中に保った状態で観測ロケットに搭載し打ち上げる、3) 観測ロケットが上空に達した後に容器内を真空中に保つ蓋を開放し測定を開始する、という方法をとった。この対策は功を奏し、ロケット打上げ時には容器内が真空状態、上空に達して容器内外の差圧がほとんど無くなった状況で蓋が外れて周辺大気の圧力測定が行われた。

観測ロケット S-310-46 号機の飛翔は当初の予定と大きく異なり、速度ベクトルとロケット機軸が大きな角度をなす状態で飛行を続け、スピンレートについては初期の段階で 0.1 回/秒を下回るようになり、最高到達高度も 103~104 km に留まった。このため、圧力計の観測データは当初の期待とは異なる結果となってしまったが、圧力値はフライトを通して取得された。本講演ではこの圧力計による取得データに関する報告を行う。