

S001-34

A 会場 : 11/5 PM2 (15:45-18:15)

15:55~16:10

X線天文衛星を用いた地球超高層大気密度鉛直構造の測定～長期トレンドの調査～

#勝田 哲¹⁾, 榎戸 輝揚²⁾, Lommen Andrea³⁾, 森 浩二^{4,7)}, 望月 優子²⁾, 中島 基樹⁵⁾, Ruhl Nathaniel³⁾, 佐藤 浩介¹⁾, Gunter Stober⁶⁾, 田代 信^{1,7)}, 寺田 幸功^{1,7)}, Wood Kent⁸⁾

(¹ 埼玉大学, (² 理化学研究所, (³ ハベフォード大学, (⁴ 宮崎大学, (⁵ 日本大学, (⁶ ベルン大学, (⁷ 宇宙航空研究開発機構, (⁸ コロラド在住

Measuring vertical density profiles of the Earth's upper atmosphere using X-ray astronomy satellites

#Satoru Katsuda¹⁾, Teruaki Enoto²⁾, Andrea Lommen³⁾, Koji Mori^{4,7)}, Yuko Motizuki²⁾, Motoki Nakajima⁵⁾, Nathaniel Ruhl³⁾, Kosuke Sato¹⁾, Stober Gunter⁶⁾, Makoto Tashiro^{1,7)}, Yukikatsu Terada^{1,7)}, Kent Wood⁸⁾

(¹Saitama University, (²RIKEN, (³Haverford College, (⁴University of Miyazaki, (⁵Nihon Universtiy, (⁶University of Bern, (⁷ISAS/JAXA, (⁸Colorado,⁹

We present new measurements of the vertical density profile of the Earth's atmosphere at altitudes between 70 and 200 km, based on atmospheric occultations of the Crab Nebula observed with X-ray astronomy satellites. We established the method by using recent Japanese X-ray astronomy satellites Suzaku and Hitomi (reference 1). After that, we investigated long-term density trends of the Earth's upper atmosphere at altitudes between 71 and 116 km, based on atmospheric occultations of the Crab Nebula observed with X-ray astronomy satellites, ASCA, RXTE, Suzaku, NuSTAR, Hitomi, and NICER. The period covered by our analysis ranges from 1994 to 2022. We take into account variations due to a linear trend and the 11-yr solar cycle using linear regression techniques. We find a negative density trend of roughly -5 %/decade at every altitude. This is in reasonable agreement with inferences from settling rate of the upper atmosphere. In the 100–110 km altitude, we found an exceptionally high density decline of about -12 %/decade. This peak may be the first observational evidence for strong cooling due to water vapor and ozone near 110 km, which was first identified in a numerical simulation by Akmaev et al. (2006, *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.*, 68(17), 1879).

References:

1) Katsuda et al. 2021, *JGR: Space Physics*, 126(4), e28886

2) Katsuda et al. 2022, *JGR: Space Physics*, under review

X線天文衛星による地球超高層大気密度計測について紹介する。多くのX線天文衛星は地球低軌道を固定姿勢で周回しており、全観測時間の3割ほど、視線が地球に遮られている。天体が地面に沈む瞬間と地面から出る瞬間、天体からのX線は大気減光を受ける(大気掩蔽現象)。大気密度は地表から上空に向け指数関数的に減少するため、天体が地表に近づくにつれX線の減衰が激しくなる。我々は、この減衰の様子から、地球超高層大気(高度70–200 km)の密度プロファイル測定することに成功した。手始めに、日本のX線天文衛星「すざく」「ひとみ」がカニ星雲を観測した際の大気掩蔽データを使って、密度計測を行い、観測手法を確立した。この解析で得られた密度プロファイルは、概ね標準的な大気密度モデルと一致していたが、高度100 km付近で測定値がNRL-MSISE-00モデルの予想値より数割低いことが判明した。密度モデルを構築する際に参照された観測データが数十年前に取得されたことを踏まえると、地球温暖化に伴う超高層大気の寒冷化・低密化によって、データ(2010頃)とモデル(1970-1980年ごろ)に食い違いが生じたのかもしれない。

そこで我々は、超高層大気密度の長期変動を調査するため、1993年打ち上げの「あすか」衛星から、現在も稼働しているX線天文衛星「NuSTAR」「NICER」まで、合計6つの衛星に搭載された8つの観測機器のデータを包括的に解析した。背景X線源としては、カニ星雲を選定した。カニ星雲はX線天文衛星の標準的な較正用ターゲットであり、全てのX線天文衛星が多数のデータを取得しているため、長期トレンドを追うには打ってつけの天体である。このデータから過去30年間にわたる大気密度の時間変動を調査した結果、上空70-120 kmのほとんどの領域で、0.5%/年のペースで密度が減少していることが明らかになった。この密度低下率は、温室効果ガスの増大に伴う超高層大気の寒冷化・収縮の最新のモデルで説明可能である。さらに我々は、高度100-110 kmにおいて密度減衰率が-12%/10年まで増大することを発見した。この密度減衰ピークは、Akmaev et al. (2006, *J. Atmos. Sol. Terr. Phys.*, 68(17), 1879)らのシミュレーションで最初に指摘された水蒸気とオゾンに起因する構造と考えられる。以上の結果は2本の論文にまとめられている:

1) Katsuda et al. 2021, *JGR: Space Physics*, 126(4), e28886

2) Katsuda et al. 2022, *JGR: Space Physics*, under review

