

冥王星の大気の崩壊が急速に進行している可能性を示唆 — 星を隠す瞬間の観測によって初解明 —

概要

有松亘 理学研究科研究員を中心とする研究グループは、ハワイ・ハレアカラ山頂の東北大学 T60 望遠鏡を使用して、2019 年 7 月に冥王星によって恒星が隠される「掩蔽（えんぺい）」とよばれる現象の観測に成功しました。掩蔽観測データを詳細に解析した結果、掩蔽観測時の冥王星の大気圧が 2016 年の観測結果と比べて約 20%低下したことを発見しました。1988 年に冥王星の大気が発見されて以来、その大気圧は単調に上昇しつづけてきましたが、本結果はこれまでの観測傾向とは真逆の変化を示しています。今回発見された急速な大気圧の低下は理論モデルでも予測されておらず、現在の冥王星では予想外のペースで大気の主成分である窒素ガスが表面に凝結して凍りつき、大気の崩壊が進んでいる可能性があります。今後も恒星掩蔽を継続的に観測することで、いまだ謎の多い冥王星の大気特性と今後の運命が明らかになると期待されます。

本成果は、2020 年 6 月 15 日にヨーロッパの国際学術誌「Astronomy & Astrophysics」にオンライン掲載されました。なお本論文は掲載論文のなかでも特に注目すべき論文として、同誌編集者が選ぶハイライト論文に選出されました。



1. 背景: 謎につつまれた冥王星の大気

冥王星は太陽系外縁部『カイパーベルト』に存在する、直径 2400 km 程度の準惑星です。地球と同じ太陽系のメンバーでありながら、地球と太陽との距離のおよそ 30 倍(約 50 億 km)も離れた軌道を公転している冥王星は、永らく謎に包まれた、太陽系に残された人類未到のフロンティアでした。

冥王星の大きな謎のひとつに、不思議なふるまいをする大気が存在があります。冥王星の大気は、窒素を中心とした地表を覆う氷の昇華によって生成されると考えられています。冥王星が太陽のまわりを回る軌道は他の惑星に比べるとおおきくひしゃげているため、表面に入射する日射量は季節によって大きく変化し、冥王星表面にある氷の昇華と凝結のバランスは季節によって大きく変わると考えられていました。冥王星の大気圧は、1989 年以降冥王星が太陽から遠ざかりはじめているにもかかわらず、1988 年に大気が発見されて以来、2016 年まで単調に上昇し続けていました。この謎の解明に大きく貢献したのが、2015 年 7 月に史上初めて冥王星への直接探査に成功した NASA の惑星探査機ニューホライズンズでした。ニューホライズンズは、大気の供給源である窒素の氷がスプートニク盆地と呼ばれるハート状の領域に大量に貯留されていることを発見したのです。過去 30 年近く観測されてきた大気圧の上昇傾向は、このスプートニク盆地の日射量が増えてきたことで、表面の氷が昇華して大気に供給されたことが原因だと考えられるようになりました。

ニューホライズンズの探査結果から、冥王星の大気が今後どのような運命をたどるのかについてさまざまな仮説が提唱されてきました。いくつかの理論モデルでは、2015 年以降、スプートニク盆地での日射量の減少に伴い、気圧の上昇が止まるかゆるやかに低下すると予測されていました。しかし、これまでの観測結果では気圧の上昇傾向にはっきりとした変化はみられず、さらなる観測による検証が求められていました。

2. 研究手法・成果: 星が隠される瞬間をとらえて今の冥王星を知る

そもそも冥王星の大気はどのように観測されてきたのでしょうか。天文学者は探査機を送る以前から、冥王星が背景の恒星を覆い隠す、「掩蔽(えんぺい)」とよばれる現象を地上から観測し、大気の研究を行ってきました(図 2)。掩蔽される恒星の光は冥王星表面にさえぎられる直前と直後に、大気による屈折の影響をうけて折れ曲ります。そのため恒星の光は掩蔽のさいには瞬間的に明滅することなくゆっくりと光が増減し、その増減のゆるやかさ具合を計測することで、大気圧を知ることができるのです。

2019 年 7 月 17 日に、冥王星によるいて座の恒星(見かけの明るさ 13.0 等)の掩蔽イベントが発生すると予報されました。そこで我々の研究グループでは東北大学惑星プラズマ・大気研究センター、ハワイ・ハレアカラ観測所の惑星大気観測専用望遠鏡、T60 望遠鏡(口径 60cm)を使用してこの掩蔽イベントの観測を実施しました。観測によって得られた恒星の光度変化(図 3)を解析した結果、冥王星の大気圧は地表付近(半径 1215 km)で約 0.52 Pa(地球の表面気圧のおよそ 20 万分の 1)と、直前の観測結果である 2016 年の観測気圧と比較しておよそ 21%低下したことを発見しました(図 4)。今回の観測結果からは、冥王星の大気圧は 2015 年から 2016 年、ちょうどニューホライズンズが最接近したところにピークを迎え、その後 1 年間あたりおよそ 7%のペースで急速に低下していると考えられます。

3. 本研究成果のインパクト、今後の予定

今回の研究成果は、これまで知られてきた冥王星の大気の常識を覆すものです。先述のとおりこれまでの理論モデルでは、スプートニク盆地での日射量の減少に伴い大気圧が低下に転じることは予想されていたものの、低下のペースはせいぜい 1 年間あたり 1%程度と予想されていました。今回発見された急速な気圧低下(1 年間あたりおよそ 7%)は理論モデルでも予測されておらず、現在の冥王星では予想外のペースで大気の主成分であ

る窒素ガスが表面に凝結し、大気の崩壊が進んでいる可能性があります。

冥王星の大気がどのような運命をたどるのか、その解明のために今後も恒星掩蔽観測を継続的に実施する予定です。

4. 研究プロジェクトについて

本研究プロジェクトは有松 亘(ありまつ こう) 京都大学理学研究科附属天文台・研究員を筆頭著者とし、京都大学、岡山大学などに所属する下記の7人の研究者によって実施されました。

- ・有松亘 (京都大学)
- ・はしもとじょーじ (岡山大学)
- ・坂野井健 (東北大学)
- ・鍵谷将人 (東北大学)
- ・笠羽康正 (東北大学)
- ・大澤亮 (東京大学)
- ・浦川聖太郎 (日本スペースガード協会)

本研究は日本学術振興会科学研究費助成事業(科研費)番号 15J10278、16K17796、および 18K13606 の補助を受けて行われました。

<研究プロジェクト代表者、有松亘 理学研究科研究員のコメント>

本研究結果は冥王星が数年間で劇的に変化していることを示唆するもので、いち研究者としてあまりに予想外なことで驚きました。今後も国内外の望遠鏡を利用しながら恒星掩蔽の観測を続け、この太陽系の果てにありながら最も劇的な変動をとげる冥王星の描像と今後の運命を明らかにします。

<論文タイトルと著者>

タイトル：Evidence for a rapid decrease in Pluto's atmospheric pressure revealed by a stellar occultation in 2019 (2019年の恒星掩蔽観測によって明らかになった、冥王星の大気圧の急激な低下の証拠)

著者：K. Arimatsu, G. L. Hashimoto, M. Kagitani, T. Sakanoi, Y. Kasaba, R. Ohsawa, S. Urakawa

掲載誌：Astronomy & Astrophysics DOI：10.1051/0004-6361/202037762

<参考図表>



図1. 急速な大気の崩壊が進んでいる可能性がある冥王星の想像図。(左)ニューホライズンズ(図中左より)が最接近した2015年および2016年と比較して、(右)本研究で掩蔽観測に成功した2019年には大気圧が急速に低下していたと推定される。

Credit: 有松亘/AONEKOYA

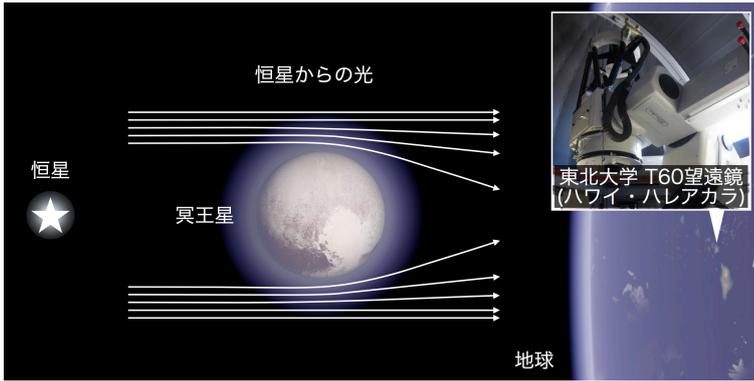


図 2. 本観測の概略図。冥王星が恒星を覆い隠す「掩蔽」時に恒星からの光が冥王星の大気を通過すると、大気がレンズのような役割をはたして屈折し、冥王星の内側にまわりこむ。この掩蔽の瞬間を、東北大学ハワイ・ハレアカラ観測所の T60 望遠鏡を使用して観測した。

Credit: 有松亘/AONEKOYA
(枠内画像 Credit: 東北大学)

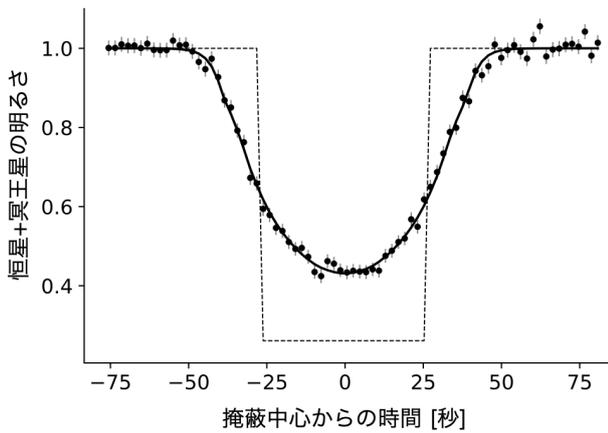


図 3. T60 望遠鏡によって観測された、掩蔽の際の恒星 (+冥王星)の明るさの時間変動。観測点を誤差棒つきの黒丸で示している。大気が存在しない場合には恒星の明るさが潜入時と出現時に瞬間的に変化するため、点線のような明るさの変化をするが、大気屈折の効果によって、実際にはよりなだらかな明るさの変動が観測される。黒曲線は大気屈折の効果を検討したシミュレーションで、観測結果をよく再現している。このシミュレーションと観測値との比較によって、掩蔽観測から冥王星の地表付近の気圧を測定する。

Credit: Arimatsu et al. Astronomy & Astrophysics, 2020 を改変

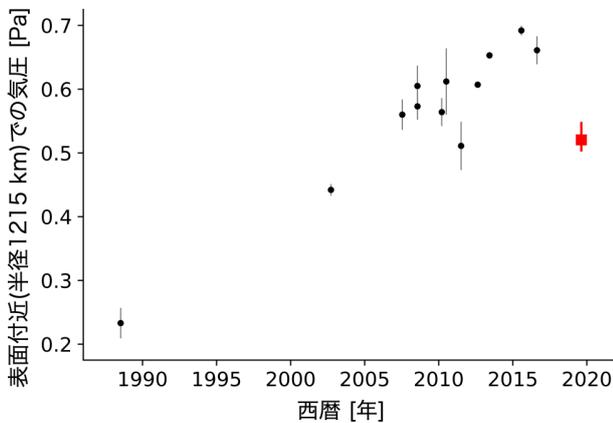


図 4. 過去の掩蔽観測(誤差棒つき黒丸)および本研究(誤差棒つき赤四角)から判明した、冥王星の表面付近(冥王星中心からの半径 1215 km)での大気圧の時系列変化。大気の発見された 1988 年から 2015-2016 年にかけて、ばらつきはあるもののほぼ単調に大気圧が上昇している。本結果は過去の観測結果と異なり、2016 年の観測結果と比較しておよそ 21% 気圧が低下したことを示している。

Credit: Arimatsu et al. Astronomy & Astrophysics, 2020 を改変