

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23540259

研究課題名(和文) 分子光球の探求—晩期型星における水分子の系統的探査

研究課題名(英文) Systematic search for MOLsphere

研究代表者

田辺 俊彦 (Tanabe, Toshihiko)

東京大学・理学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：90179812

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円、(間接経費) 1,140,000円

研究成果の概要(和文)：通常水分子は温度が 3000 K 以下の恒星大気にしか存在しないと考えられているが、これより温度の高い星に見つかったことから、我々はどのような星に水分子が存在するのかを明らかにするために、水分子の系統的な探査を行った。通常サイトでは地球大気中の水分子の吸収のため天体の水分子の観測は困難であるが、我々が 1m 望遠鏡を建設した標高 5640m では観測が可能となる。その結果、大小マゼラン雲中の M 星巨星については、低温になるほど水分子が多くなるという傾向は見られるものの、低温でも水分子を示さないものが存在することが明らかとなった。高温の星では水分子を示すものが 1 星見つかった。

研究成果の概要(英文)：Although water molecules are believed to be present only in stars whose surface temperatures are less than 3000 K, they are discovered in rather high-temperature stars. In order to clarify in which stars do water molecules exist, we made a systematic search for water molecules. Observations of water molecules in celestial objects are rather difficult from normal observational sites because of the absorption of water molecules in the Earth's atmosphere. Observation becomes possible at 5640m altitude where we have built a 1m telescope. We found that for the M giant stars in the Large Magellan Cloud the tendency that the presence of water molecules is increased as the temperature becomes lower but not all low-temperature stars show water molecules. We also found that water molecules are present in one high-temperature star.

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：天文学

キーワード：天文学 赤外線天文学 恒星大気 低温度星 恒星進化

1. 研究開始当初の背景

辻ら^[1]は、赤外スペース天文台 ISO による観測で、早期 M 型巨星 Peg (M2II) の 2.7 μm 帯に H₂O による吸収を見出した。標準光球モデルにおいては、3 原子分子である水分子はスペクトル型 M6 以降、大気温度 3000K 以下の星にしか予測されず、また、中間赤外域では水分子の輝線スペクトルが観測されたことにより、辻は、これが光球起源ではなく、光球の上層部に「暖かい分子の雲」が存在するとして「分子光球 MOLsphere」と名付けた。辻は他の ISO データの解析から、早期 M 型巨星、超巨星、さらには晩期 K 型巨星にも水分子による分子光球の存在を明らかにした^[2]。その後 VLT などによる赤外干渉計により、星の周りの広がった分子光球が直接とらえられ、多くの M 型の巨星、超巨星、ミラ型変光星、不規則変光星に分子光球の存在が明らかとなった^{[3]-[9]}。

しかし分子光球はまだその存在が明らかになったばかりであり、これがいかにして形成され維持されているのか、またそもそもどのような星に存在するのかなど判っておらず、分子光球の研究にはその系統的探査が必要である。

他方、我々東京大学グループは平成 21 年、南米チリ・アタカマサイトの標高 5640m、チャナンツール山山頂に 1m 望遠鏡を建設した。この目的の 1 つは、波長 1.875 μm Paschen 輝線を観測することであり、そのために Paschen 狭帯域フィルター (波長 1.8754 μm , 以後 Pa) 及び Paschen-off 狭帯域フィルター (波長 1.910 μm , 以後 Pa-off) を搭載した近赤外撮像装置 (Atacama Near InfraRed camera, ANIR) を開発した。この 1.9 μm 波長帯は、水分子 ν_2 -band の吸収が強く標高の低いところでは観測できないが、2 つのフィルターは共にこの吸収バンド内にあり、1m 望遠鏡+ANIR による観測で、恒星大気の水分子の吸収が観測可能となった。

[1] Tsuji, T. Ohnaka, K., Aoki, W., Yamamura, I., 1997 A&A 320, L1-L4.

[2] Tsuji, T., 2001 A&A 376, L1-L4.

[3] Tsuji, T., 2006 ApJ 645, 1448-1463.

[4] Mennesson, B. et al., 2002 ApJ 579, 446-454.

[5] Ohnaka, K., 2004 A&A 421, 1149-1158.

[6] Ohnaka, K., 2004 A&A 424, 1011-1024.

[7] Perrin, G. et al., 2004 A&A 418, 675-685.

[8] Perrin, G. et al., 2004 A&A 426, 279-296.

[9] Perrin, G. et al., 2005 A&A 436, 317-324.

2. 研究の目的

南米チリ・アタカマサイトの標高 5640m、チャナンツール山山頂に新設された東京大学 1m 望遠鏡を用い、他のサイトでは観測不可能な 1.9 μm 帯の観測により、恒星大気中の水分子バンドの有無を可能な限り様々な星について系統的に調べ、最近存在が明らかになった「分子光球」がどのような星に存在するのかを明らかにするのが本研究の目的である。

3. 研究の方法

スペクトル型、光度階級が確実に判っている M 型の矮星、巨星、AGB 星を選び出し、スペクトル型に沿って系統的に、近赤外 J, H, Ks バンドと同時に Pa フィルター、Pa-off フィルターによる観測を行う。この 2 つのフィルターは標準フィルターではないため独自のキャリブレーションが必要であるが、同視野内の星々のカラーの比較を行うことでできる。キャリブレーションの後、恒星大気に水分子による吸収があれば、1.9 μm におけるフラックスは下がり、等級としては暗くなる。従って例えば、1.9 μm 等級と Ks 等級の差は、水分子吸収が存在しない星よりも大きくなり、水分子吸収の有無を示す「水指標」となる。様々なスペクトル型の星を系統的に観測することでどのような星に水分子の吸収が存在するのかを明らかにすることができる。

4. 研究成果

本研究ではまず 2 つの狭帯域フィルターのキャリブレーション方法を確立した。まず、視野内の 2MASS 星を使って、J, H, Ks 等級の原点を定め、それをもとに視野内の全ての星の J, H, Ks 等級を決定した。次にこの H, Ks 等級を内挿して Pa, Pa-off 等級を求め、視野内の 2MASS 星の機械等級とこれらの等級との差を求めた。その結果多くの星ではこの差はほぼ同じ値になること、つまり多くの星でこの 2 つのフィルターの波長に輝線も吸収線もないことが分かり、この差のメジアン値を等級の 0 点と定めた。これにより水分子吸収の指標である「水指標」としては Pa 等級 - Ks 等級や Pa-off 等級 - Ks 等級が使えることが期待され、また Pa 輝線の有無を知る「Pa 指標」としては、Pa 等級 - Pa-off 等級や Pa 等級 - Ks 等級が使えることが期待される。

次に、標高 5640m のサイトで波長 1.9 μm 帯がどの程度透明で観測可能なのを見るために古典的 B 型輝線星 (Be 星) の観測を行った。Be 星は可視域水素バルマー線が輝線となっている星で、非常に高速で自転しているために星の外側にディスクが形成され、そこから輝線が放出されていると考えられている星であり、バルマー線と Paschen

線の強度比はほぼ一定であることから Paschen が輝線となつてきていることが期待できる星である。このため小マゼラン雲に存在する NGC330 の観測を行った。NGC330 は若い星団で、90年代になって Be 星が数多く発見され、1 回の観測で多くの Be 星を観測できることが期待された。その結果、Be 星は主系列星であるためマゼラン雲の距離にあつてはそれほど明るくはなく、miniTAO 1m 望遠鏡及び狭帯域フィルターでは、既存の Be 星でも Pa フィルターの撮像観測で受からなかったものもあるが、受かった明るい Be 星は全て Pa 指標が他の星と異なる値を示し、Pa 輝線を出していることが判った。地上からの観測による Be 星からの Pa 輝線の検出は、高分散分光観測以外では世界で初めてである。このことは、標高 5640m のサイトは、確かに地球大気の水分子による吸収が弱く、この波長域の観測が可能であることを示しており、また ANIR に搭載された Pa_β, Pa_γ-off フィルターは、Pa 輝線を検出するのに有効であることを示している。

本研究の目的である水分子の探査においては、できるだけ多くの星を観測する予定であったが、3 年間の期間中、落雷、発電機の不具合、悪天候により 6 回予定していた観測ランのうち 3 回のランで観測ができず、特に銀河中心方向の星の観測ができなかったため、観測サンプルは金属量の少ない大小マゼラン雲の巨星に限られてしまった。

本研究では、大小マゼラン雲中の約 70 のスペクトル型が分かっている M 星巨星を近赤外で観測し、データ解析を行い、水指標を導出した。その結果、確かに M6 より低温の晩期な星に水指標の大きいものが存在することが分かった。しかしながらまた、M6-M8 でも指標が小さいものが見られるということが明らかとなった。当初の予想では M6 より晩期の星では全てに水分子による吸収が見られると考えられたが、このような低温の星の大気では現在のモデル光球に取り入れられていない別のパラメータが存在するのかもしれない。あるいは、マゼラン雲は金属量が少ないためこのような結果になるのかもしれない。本研究の主目的である高温の星の水分子の有無については、M 型の早期の星に 1 例、M1 型の星に水指標が有意に大きいものが見つかった。このような高温の星においては光球に水分子は存在できないことから、恐らく辻が提唱した分子光球であると思われ、確かに分子光球が存在することが明らかとなった。しかし検出は 1 例であることから、本研究から得られる結論は、全ての巨星に分子光球が存在する訳ではなく、その存在は特別な星に限られる、というものである。

これまで分子光球の存在が明らかにされたのは銀河系内の星である。今回は残念ながら観測が金属量の少ないマゼラン雲の星、

しかも巨星に限られてしまい、様々な星の系統的探査という意味では目的は達成できなかった。しかしながら本研究では、他のサイトでは観測できない水分子が標高 5640m からは観測できることを示し、観測することができれば分子光球の探査が行えることを示せた意義は大きいと考える。上記の結論が金属量の多い銀河系内の星やまた、巨星以外の主系列星や進化の進んだ AGB 星についても同様に当てはまるのかはこれからの課題であり、さらなる観測に期待したい。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 1 件)

Tanabe, T., Motohara, K., Tateuchi, K., Matsunaga, N., Ita, Y., Toshikawa, K., Konishi, M., Kato, N., and Yoshii, Y., "Paschen Observations of Be stars Toward the SMC Cluster NGC330", 2013, Publ. Astron. Soc. Japan 65, 55, DOI: 10.1093/pasj/65.3.55, 査読有。

[学会発表](計 1 件)

田辺 俊彦, 本原 顕太郎, (東京大学), 板由房 (東北大学), 松永 典之, 小西 真広, 利川 興司, 大澤 亮, 越田 進太郎, 宮田 隆志, 酒向 重行, 中村友彦, 浅野 健太郎, 加藤 夏子, 峰崎 岳夫 (東京大学), 米田 瑞生 (東北大学), 半田 利弘 (鹿児島大学), 田中 培生, 川良 公明, 土居 守, 河野 孝太郎, 吉井 讓 (東京大学), 「Paschen Observations of Be stars toward SMC cluster NGC330」, 日本天文学会 2011 秋季年会, 鹿児島大学 (2011/09/19 -- 09/22)

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:

番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田辺 俊彦 (TANABE, Toshihiko)
東京大学・大学院理学系研究科・助教
研究者番号：90179812

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

本原 顕太郎 (MOTOHARA, Kentaro)
東京大学・大学院理学系研究科・助教授
研究者番号：90343102
松永 典之 (MATSUNAGA, Noriyuki)
東京大学・大学院理学系研究科・助教
研究者番号：80580208
小西 真広 (KONISHI, Masahiro)
東京大学・大学院理学系研究科・特任助教
研究者番号：50532545