

一番星へ行こう!

日本の金星探査機の挑戦 その33

~金星雷の搜索は続く~

高橋 幸弘¹, 今井 正堯¹, 佐藤 光輝¹

(要旨) 金星に雷はあるか? この課題に決着をつけるべく、世界初にして唯一の惑星雷放電発光観測装置 LACは金星周回軌道で観測を継続しています。2018年1月末現在、まだ雷の信号は捉えていませんが、先行研究との十分な比較を行うためには、もうしばらくデータの蓄積が必要です。

1. 金星に雷はあるか

金星大気中で、地球のような雷放電現象があるかについては、30年にわたって議論が続いていますが、まだコンセンサスには至っていないのが現状です。しかしながら、金星の雷への関心は依然として高く、2014年にケンブリッジ大学出版から出された金星の専門書[1]の表紙は、稲妻が描かれた金星地表の想像図が飾っています。また、2018年1月に開催された米国電波科学会議(UNSC-URSI meeting)の惑星を扱うセッションで、金星の雷観測について紹介したいとコンピナーから私たちに依頼がありました。そのセッションでは、雷の存在を強く信じる大物の一人であるカリフォルニア大学ロサンゼルス校のChristopher T. Russell教授[2]と、最近雷の存在に否定的な立場をとっている、こちらも電波科学の大御所であるアイオワ大学のDonald A. Gurnett教授[3]の二人を呼んでの議論を予定していました。しかし健康上の理由でGurnett教授が辞退し、彼が代わりに私(高橋)を指名したためにお鉢が回ってきたという経緯です。私たちは現時点では、積極的に雷が無さそうであるという主張はしておらず、むしろ存在したら興味深い研究が展開できると考えていますので、やや複雑な心境ではありましたが、せっかく著名な先生のご指名でしたので、講演をお引き受けした次第です。実は、2018年1月末

現在で、LACによる雷発光と思われる現象は記録されていませんが、この時点で雷放電の存否についてある程度確定的な意見を述べるには早すぎると考えています。ともあれ、セッションではRussell教授の熱の籠もった弁舌を聞き、アイオワ大学のスタッフも交えた建設的な討論を楽しむことができました。Russell教授の情熱は衰えることはないようで、これからも担当する学生を一人充てて、過去の衛星のデータ解析を継続するというものでした。ただどちらにしても証拠は不十分で、今後のLACの結果に期待がかかっていることは肌で感じることができました。

雷放電の存否に関する議論が決着しない理由の一つが、これまで、惑星における雷を観測する専用の装置がなかったことにあります。雷放電は強い発光や電波放射を伴うので、それらを捉えることが目標になりますが、どちらのケースでも、人工的原因あるいは宇宙線などによるパルス的なノイズやプラズマ不安定といった他の現象との判別が難しいのです。あかつき搭載の雷・大気光カメラLACは、地球以外の惑星の探査機としては初めて、高い時間解像度で雷放電発光の時間変化を観測することで、紛らわしいノイズと明確に区別をすることのできるように設計された計測器です[4]。あかつきは2度目の金星軌道投入に成功し、観測を開始しました[5]。LACも長期の休眠状態から慎重を期して高压電源を昇圧し、現在は定常的な観測を行っている状態にあります。毎回の観測では宇宙線に起因するパルスを“正常に”記録しています(この副産物

1. 北海道大学・大学院理学院・宇宙理学専攻
yukihiro@sci.hokudai.ac.jp

である宇宙線の観測については別の機会に紹介したいと思います)。しかし当初予定していた軌道から大きく変わった結果、雷観測を実施できる時間の割合は、1/20程度に減っています。つまり、当初計画で半年の間に得られた観測時間を達成するのに、10年がかかる計算になります。先行研究と比較して議論を精密化するためには、もうしばらく時間がかかりそうなのですが、現時点で私たちがどのような想像をしているか、少しご紹介したいと思います。

2. まだ見つからない理由

LACは、4 x 8に並んだ都合32の画素(チャンネル)を持ち、1秒間に3万2千回の高速測光を行うことができます。全てのチャンネルで連続記録するとデータ量が膨大になってしまうため、雷放電に伴うパルス状の光が短時間入射すると、それをアルゴリズムで自動判別してトリガーをかけ、そのチャンネルのみ前後短時間のデータを記録する仕組みになっています[4]。雷の存在が確認されていない金星では、その雷発光強度の高速時間変化は不明なので、まずは地球の通常の落雷と同じタイプの時間変動を持つと想定し、増光時の変化率などのトリガーの条件をそれに合わせて観測を開始しました。これまでに延べ約4時間にわたって観測を行ってきました。センサーの内部では、宇宙線によって電気的に発生するパルスが時々発生し、それらのうち、トリガー条件を満たすものは、そのパルスの時間変動が記録されています。最初にその時間変動波形を見た時は、LACチーム一同、雷を捉えたのではないかと一瞬色めき立ちましたが、その立ち上がりが雷放電発光ではあり得ないほど急峻であったこと、減衰するときの時定数がアナログ電気回路のそれに一致したことなどから、宇宙線であると分かりました。私たちの期待をよそに、これまで雷と思われる信号は一つも記録されていません。LACの典型的な観測条件のもとでは、地球の落雷発光の1/20程度の強さのものまでトリガーがかかる計算ですが、それ以上の強度の発光は検出されていないことになります。また、典型的なLACの雷観測の視野は、金星全表面積の1/500程度です。

この観測結果をどう捉えるか、仮に雷放電が存在していた場合の、現時点での可能性と解釈を考えてみま

す。

2.1 地球の雷放電発光よりは圧倒的に少ない

定量的な詳細は別の機会に紹介しますが、これまでの観測時間と検出感度を考慮しますと、上空から観測される地球の雷放電発光に比べて、1/100程度かそれ以下の頻度と計算されます。ただし、これはあくまで全球を均した場合の話であって、地球の場合でもそうありますように、雷放電発生地域に極端な偏りがあることもありえます。その場合、現状の狭い視野と足し合わせてもまだまだ短い観測時間を鑑みますと、統計的に観測にかからない可能性は小さくないかもしれません。現在、仮に地球での雷放電活動の地域的な偏りと同程度であった時、検出確率がどの程度になるかを推定する作業を行なっています。

2.2 大規模な放電現象しか起きない

金星の雷の規模の分布が似たものであると仮定しますと、大規模発光のみを観測できる地上望遠鏡を使って行われたアリゾナ大学による先行研究の結果[6]からは、規模が地球での平均程度の小規模の現象まで含めた頻度はかなり高くなると想像できます。しかし、この想定は妥当でないかもしれません。つまり、金星では地球規模の雷放電発光はほとんど無く、その100倍以上、つまり地上望遠鏡で観測できるような規模の発光だけが起きているという可能性もありうるということです。雷放電は大気の放電現象(絶縁破壊現象)ですが、その発生に要する電場の大きさは、大気成分が同じであれば大気密度に比例します。また、雲底高度が40 km以上あることも、落雷を起きにくくしています。このように、金星で落雷を起こすためには地球に比べ何桁も大きな電荷の集積が必要と予測されます。しかし、一旦放電が開始されれば、その大きな電荷が一気に消失するので、放電の規模は大きくなります。もしこの想像が正しければ、金星で起きている全ての雷を足しても、アリゾナ大学が観測した程度の頻度ということになるかもしれません。LACの観測から推定した頻度の上限は、いまだアリゾナ大学の観測頻度よりも大きく、その先行研究を検証しようと思えば、あと3年間くらいの観測継続が必要です。

2.3 雲が光を通さない

下方で起きた放電発光を上空で観測するためには、光子が雲層を抜けて上方に届かなければなりません。その確率が予想よりも低い可能性があります。これは平均的な雲の光学的な厚さではなく、放電を起こす雷雲やその周辺の状況に依存します。地球の場合でも、雲が厚い場合には、雲の縁が放電発光で照らされるのみで、大きく減光するケースがあります。

2.4 発光の時間スケールが違う

先に述べましたように、1回の放電中の発光強度の時間変化について、私たちは地球の通常の雷放電と似ているという仮定でトリガーの条件を設定していました。地球においても、中層・超高層大気で発生するスプライトやブルージェットと呼ばれる放電現象は、通常の落雷に比べ、10倍から100倍程度の時間をかけて発光強度を変化させることがあります。もし金星の雷がそのようなタイプの放電であった場合は、それに合わせたトリガー条件を設定する必要があります。2018年2月から開始する観測シーズンでは、1回の金星夜面通過時に、これまでの観測モードに加え、こうした時定数の長い現象に対応できる観測モードを組み合わせて運用する計画になっています。

2.5 雷活動の時間変動が大きい

土星の雷放電を含むストームは、何ヶ月も続いた後に、今度は数カ月、あるいは年単位で活動を完全に停止してしまいます。金星の大気も、肉眼で望遠鏡を覗いた印象とは正反対に、振幅の大きな長期の変動がある可能性も否定できません。金星の夜間大気光を地上望遠鏡で発見した研究者が、時期を隔てて同様の観測をしても、見つかることができなかったという例もあります。そうだとすると、長期間粘り強く観測を続ける以外に、観測の方法はありません。

3. 今後の展開

あかつきの運用期間が無事延長されてさらに数年間の観測ができれば、少なくともアリゾナ大学などの先行研究に対する定量的な検証が可能になります。また、トリガー条件の工夫によって、予想していなかったタ

イプの発光が見つかるかもしれません。さらに、あかつきの観測に連動して、アリゾナ大学の観測をバージョンアップした地上望遠鏡による同時観測も検討中で、専用の装置の設計を始めています。見つかるにしても、そうでないにしても、今後の金星雷観測にご注目いただければと思います。

参考文献

- [1] Taylor, F. E., 2014, The scientific exploration of Venus (Cambridge University Press).
- [2] Russell, C. T. et al., 2006, Nature 450, doi:10.1038/nature05930.
- [3] Gurnett, D. A. et al., 2001, Nature 409, 313.
- [4] Takahashi, T. et al., 2008, Space Sci. Rev. 137, 317.
- [5] 中村正人ほか, 2016, 遊星人 25, 4.
- [6] Hansell, S. A. et al., 1995, Icarus 117, 345.