

あかつき搭載 LAC による雷放電発光観測の戦略

高橋幸弘、今井正堯、佐藤光輝
北大・理

1. 背景

金星大気で放電現象、すなわち雷放電が存在するかについては、研究者の間で 30 年以上の論争が続いている。地球では雷放電を引き起こす電荷分離機構は、積乱雲中の激しい上昇気流の中に生成する氷晶が、落下する雹（ヒョウ）との衝突することによる摩擦静電気だと考えられている。しかし、金星において水は単独では存在せず濃硫酸の形になっている。またごく上層部分を除き、対流が活発な高度領域では液相であると想像されている。さらに、現状では、地球の積乱雲のような強力な上昇気流の存在は確認されていない。こうしたことから、地球での経験に基づいた理論では、放電を起こすような電荷分離が十分起きているとは考えにくい。観測的には、光学及び電波観測によって、雷放電を示唆するパルス的な時間変動が、複数の探査機や地上望遠鏡による観測で記録されている。しかし、同じデータに対しても見解が別れ、電磁波のパルス的な時系列データについて、雷放電起源と考える研究者がいる一方、プラズマ不安定でも生成が可能と主張するグループもある。地上望遠鏡を使った光学観測で、金星の夜面に雷放電発光を認めたとする論文があるが、その後同等以上の望遠鏡を使った他のグループによる検証では、肯定的な結果は得られていない。また最近では、Venus Express の赤外線データでも雷放電発光の兆候を掴む試みが行われたが、存在を示す積極的な証拠は見つかっていない。これまで、Nature や Science をはじめ論文誌に多くの論文が掲載されてきたが、雷放電の存在に肯定的な結果と否定的な結果はほぼ同数で、中には同じ著者がその両方を別の論文誌に載せているケースもある。表 1 に過去の観測のまとめを示す。

表 1. 過去の金星雷放電観測のまとめ

光学観測		電磁波観測	
ベネラ 9号 / 10号	P	ベネラ 11号/12号 着陸機	P
パイオニアビーナス	N	パイオニアビーナス	P & N
ベガ 気球	N	ガリレオ探査機	P
ガリレオ探査機	N	カッシーニ探査機	N
アリゾナ大 地上観測	P	ビーナスエクスプレス	P

P:肯定的結果, N:否定的結果

このように、その存在さえ謎に包まれた金星での放電現象だが、もし発見されれば、大気科学への大きな貢献も期待される。地球における雷放電研究は長い歴史があるが、電磁気学的な側面以外に、大気力学過程などの理解に雷放電が有効であるという認識は、最近 15 年くらいで広がってきた。豪雨時に、雨量や上昇気流強度と放電頻度に高い相関が見られたり、雷放電の情報をデータ同化することで、翌日の気象予測が大幅に改善されるなどの報告がある。また一般に困難とされる台風の強度予測にも、雷放電データが有効であることが示されている。惑星探査は地球の気象観測に比して極端に情報量が乏しいが、雷放電発光はたった 1 台の観測器で惑星スケールのカバーが可能であり、他の手段で計測が難しい鉛直対流に関する情報が得られるという期待がある。もし金星で雷放電活動の分布が把握できれば、全球規模の大気循環に関する手がかりになるであろう。

2. 雷放電発光の検出に向けた戦略

金星におけるこれまでの観測的研究が、雷放電の存否に決着がつけられない理由のひとつは、人工的あるいは雷放電以外の物理過程によって生じるパルス状の記録と、雷放電をはっきりと区別することのできる、専用の観測器が使われていないことにある。あかつきに搭載された雷・大気光カメラ LAC では、放電発光を約 30kHz という高速測光をすることで 1 回の放電の間の時間変動を捉え、宇宙線などによる他の要因によるパルスと区別する。ただし、連続的に高速度記録を続けるとデータ量が膨大になってしまうので、雷発光があった時にそれを自動的に判断し、前後のデータのみを残すトリガー記録方式を採用している。図 1 でトリガーをかけるために設定するパラメータを説明する。

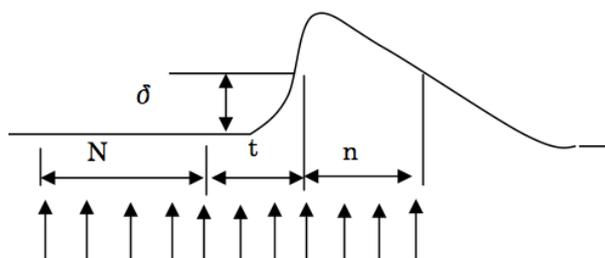


図 1. LAC のトリガー設定パラメータ (本文参照)

保存するデータ長さは、 2.048 msec, 16.384 msec, 131.072 msec, 2.096 sec から選択

する。背景レベルの決定のために平均化する区間 N は 32 usec, 512 usec, 2.048 msec, 8.192 msec、その区間から t [msec](0.512, 2.048, 4.096, 8.192, 32.768, 262.144)の間をおいてから、 n/t : 1, 2, 4, 8 で設定される n [ms]区間の平均値が δ (2 dig, 4 dig, 8 dig, 32 dig) だけ大きな場合に、データを保存する。こうした4つのパラメータを適切に選ぶことにより、未だ計測されたことのない多様な雷発光強度変化に対応してトリガーをかけ、かつ保存するデータ量を最小に抑えることができるよう設計されている。

3. 装置の概要

図2にLACのセンサー部の模式図を示す。開口部の先端には計測に用いない波長範囲を反射し、過大な太陽光入力からセンサーを保護するフィルターが取り付けられている。入射した光線は、1枚の非球面レンズで結像される。雷や大気光の観測に用いる狭帯域干渉膜フィルターは、検出器であるアバランシェフォトダイオード (APD) アレイに直接接着されている。こうすることで、フィルターターレットを使う場合に比べて重量とサイズを大幅に軽減している。APDアレイは2mm角の素子が8x8のフォーマットで並べられたものだが、雷観測にはその半分である4x8の領域が使われる。金星の雷放電発光は、CO₂を使った室内放電実験などから輝線OI 777.4nmが最も顕著であると予想されており、その波長を透過するフィルターが使われている。残る半分の4x8領域には、夜間大気光用の3種類のフィルターが短冊状に貼られており、探査機自体を短冊の短辺方向に回転させることで、金星面を掃引して2次元の画像を得る。APDの感度は印加する逆電圧で変えることができ、観測対象に応じて調整する。

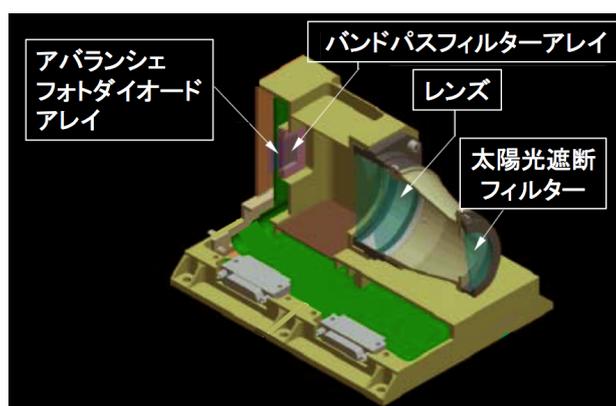


図2. LAC センサー部の模式図