

4.6 1999年獅子座流星群極大期の月面からの 衝撃波の観測

大崎 裕生^{*1} 大久保 寛^{*1} 小山 泰弘^{*2}

4.6 Observing Electromagnetic Radiation by Leonid Impacts on the Moon

By

Hiro OSAKI, Hiroshi OKUBO, and Yasuhiro KOYAMA

An observation of the electromagnetic radiation associated with Leonid meteorite collisions with the moon was attempted around the 1999 Leonid maximum on November 18. The Kashima 34-m radio telescope was pointed at the moon and the x-band signal was recorded on November 15, 16, and 18. Optical "flash" events caused by the meteorite impacts were observed during this Leonid maximum.⁽¹⁾⁽³⁾ Although the data around the flash events were studied, none of the events was accompanied by x-band radiation. The reason why radiation was not observed is supposedly that the antenna was observing the lunar center, though the flash events were observed near the edge of the moon.

This result suggests that we may have to wait for another such good observational chance, as the lunar-shadow region was bombarded by meteorites when the Leonid reached its maximum. It is also advisable to track the lunar-shadow region where the flashes are expected to be observable, instead of the lunar center.

[キーワード] 獅子座流星群, 月

Leonid meteorite, The moon

1. は じ め に

獅子座流星群は例年11月18日前後に現われる天文現象である。この流星群の出現数は、ほぼ33年の周期で変動していることが知られている。1999年の11月18日は33年毎の出現数の極大に当たっていたので、この機会を狙って様々な学術観測が行なわれた。その中のひとつとして、月面の暗い部分にビデオカメラを向け、流星が月面に衝突した際に発した光を観測することに成功している例がある⁽¹⁾⁽³⁾。我々はこの1999年の流星群極大の際に鹿島34m電波望遠鏡で月面を観測し、衝突によっ

て放射される電波を観測しようと試みた。光や電波によって月面衝突のどの時点での程度のエネルギーが放出されたかを測定することができれば、それは衝突クレーターの生成理論を検証するために非常に有用なデータを提供することになる。また、流星衝突によって月の“探鉱”を行なおうという試みもあり⁽²⁾、衝突のエネルギーを見積もるための方法の一つとして電波による衝突の観測を成功させることには大変意義があると思われる。

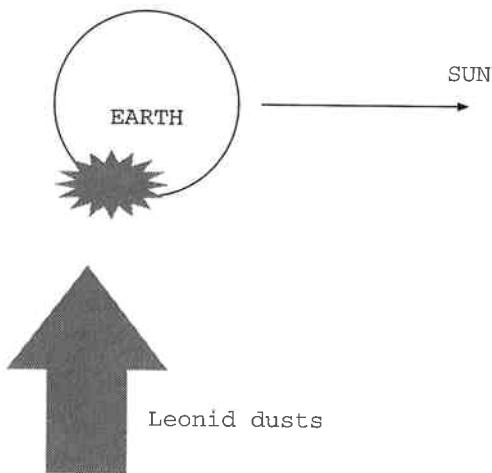
本論文第2章ではこの1999年の流星群がピークを迎えると予想された11月18日頃の、月-流星群ダスト-地球の位置関係や、予想される月面衝突の様子について述べる。第3章では、観測方法について説明する。第4章では、今回の獅子座流星群で観測された月面衝突現象について述べる。第5章では今回の観測結果について議論し、月面衝突で有用なデータを得るためににはどのような条件を選んで観測を行なえばよいかを考察する。

*1 鹿島宇宙通信センター 宇宙電波応用研究室
(科学技術振興事業団 重点研究支援協力員)

*2 鹿島宇宙通信センター 宇宙電波応用研究室
(2001年1月より内閣府技官に併任)

2. 1999年獅子座流星群ピーク時の天体の位置関係

獅子座流星群がピークを迎えた1999年11月18日には月齢が9~10であった。この時の地球と月の位置関係は第1図のようになる。ここで、地球を中心とした座標系で月と流星群ダストの運動を考えてみよう。流星群のダストは逆行軌道をとっているため、地球に対する相対速度は72km/sと非常に大きい^②。これに対し、地球に対する月の公転速度は1.0km/sである。これらから、月とダストの相対速度は 72 ± 1 km/s程度と見積もられる。従って、流星群ダストに対する月の公転運動の効果は無視することができるほど小さい。更に、このことからダストはまず地球とぶつかった後でその後を進んできた月にぶつかるというシナリオが描かれる。月と地球の距離は 3.8×10^5 kmであるので、ダストが地球近傍を通過してから月に到達するまでの時間は最大で 5.3×10^3 秒程度になると予想される。1999年の獅子座流星群のピークは地球上では11月18日の02:00UT頃だと予想されていることから、月面衝突のピークは4:00UT頃起



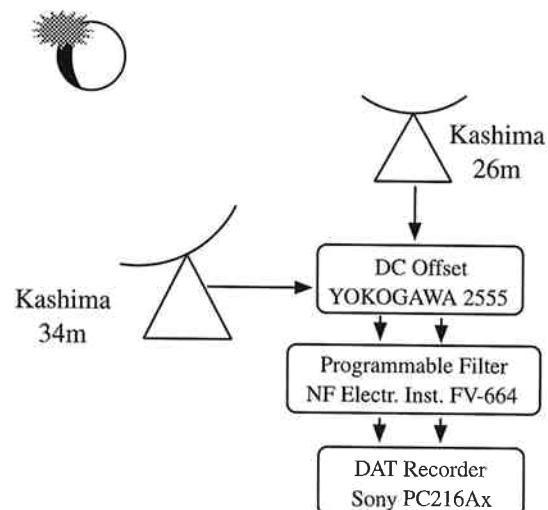
第1図 獅子座流星群極大時（1999年11月18日）の天体位置関係の概念図。獅子座流星群のダストは地球と衝突した後、そのほぼ直後から接近する月に到達する

きると考えられる。我々は11月18日の4:00UT頃から可能な限りの時間、月に34mアンテナを向け、データを記録することにした。観測装置、手法の詳細を次章に示す。

3. 観測装置及び観測手法

獅子座流星群の月面衝突を検出するために、第2図に示すような観測・記録装置を用いた。11月15日の10:34-12:00UT、16日の06:56-13:16UTの観測では鹿島34mアンテナだけを使い、月面をX-bandとS-bandで観測して、そのデータをそれぞれレコーダの1チャンネル、2チャンネルに記録した。月面衝突が起こることが予想される11月18日には05:20-15:10UTの間観測を行ない、34mアンテナのX-bandで月面を観測したデータを1チャンネル、比較のために国土地理院（GSI）の26mアンテナで天頂を見たデータを2チャンネルに記録した。また、これらの月面観測から得られるデータは月による大きなDCオフセット成分を含んでいるので、それを取り除くためにDC Offset（YOKOGAWA 2555）及びプログラマブルフィルタ（NF Electronic Instruments FV-664, 10kHz through, Gain 20dB）を使用した。観測・記録に使った装置及び観測した時間帯、物理量をそれぞれ第1表、第2表に示す。

34mアンテナで月面をトラッキングするのには、世界標準の測地VLBI観測制御ソフトであるField System 9 (FS9) を用いた。FS9には標準で月の中心をト



第2図 獅子座流星群観測・記録装置の概念図。15・16両日は鹿島34mアンテナのS-bandとX-band、18日は34mアンテナのX-bandと26mアンテナのX-band（リファレンス用に天頂を観測する）をDATで記録した

第1表 獅子座流星群観測に利用した観測装置

受信用アンテナ	鹿島 34m 電波望遠鏡 (X-band, S-band) (月面の中心)
DC Offset	鹿島 26m 電波望遠鏡 (X-band) (参照用に天頂を観測)
記録装置 (DAT)	YOKOGAWA 2555
プログラマブルフィルタ	SONY PC216Ax (48kHz サンプリング, 2 チャンネル)
	NF Electronic Instruments FV-664 (10kHz through, Gain 20dB)

第2表 観測を行なった日時と記録された物理量

観測日時	DAT Channel 1	DAT Channel 2
11月15日 10:34-12:00UT	34m X-band (月面)	34m S-band (月面)
11月16日 06:56-13:16UT	34m X-band (月面)	34m S-band (月面)
11月18日 05:20-15:10UT	34m X-band (月面)	26m X-band (天頂)

ラッキングするためのソフトウェアが用意されており、それを用いることによって容易に月の中心を追跡することができた。これらの観測の結果及び他の研究機関が行った光学観測の結果のサマリーを次章で紹介する。

4. 観測結果及びその考察

1999年11月18日の獅子座流星群のピークでは、月面衝突によって発光が起きる“flash”が複数観測されている。03:05-05:15UTの間には、3-7等級のflashが6回起きている⁽¹⁾。また11:07-13:54UTの間にも4等級程度のflashが3回起きている⁽³⁾。これらの光学観測をまとめたものを第3表に示す。

これらのflashが観測されている時間帯で、鹿島34m電波望遠鏡がどのような電波を観測しているかを調べてみた。これらのうちの6イベント⁽¹⁾では、残念ながら鹿島34mアンテナは他の観測からの切り替え中でまだ観測が始まってしまっておらず、X-bandで現象を同定することができなかった。3イベント⁽³⁾に関しては対応する時間帯に月面観測をしていたので、flashに伴った電磁波が観測されているかどうかを調べることができた。しかし、観測データにはflashに対応した現象は存在しなかった。光で観測されるほどの大きなエネルギーが解放されているのに、なぜこれらの現象が電波で観測されなかつたのであろうか。

第3図は、flashが観測された時間帯の月面を拡大して描いたものである。向かって左側が日陰部である。第3表に示された6つのイベントA-F⁽³⁾が観測された場所が、A-Fの記号で記入してある。これら6つ全てのイベントが月の端に近い所で観測されている。また、残りの3つのイベント⁽³⁾については正確な位置は与えられていないが、日陰部で観測されたことが報告されている。

月面中央付近に描かれた網のかかった小円は、34mアンテナのX-bandで月面中心部を観測した際のHalf

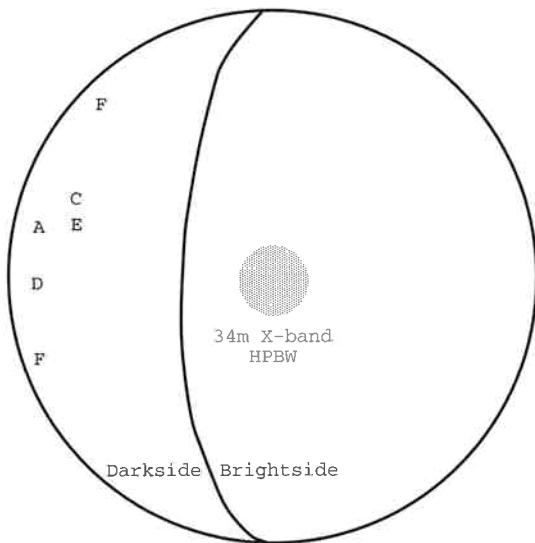
Power Beam Width (HPBW) の大きさに相当する円である。HPBWの大きさは0.073°である。この時の月の視半径は15'43"であった⁽⁴⁾。この図から、鹿島34mアンテナのX-bandは月面中央部の狭い領域だけを観測していることがわかる。この領域は日照により大変明るいので、明るくても3等級程度にしかならないflashをここで観測することは非常に困難である。また、実際のflashは34mアンテナが観測している領域から大きく外れた日陰部で観測されていることにも注意が必要である。これらのことから、今回のflashに伴った電磁波が観測できなかつた大きな原因であると思われる。このことを踏まえ、flashと電磁波の同時観測を成功させるためにはどのような条件の時を選べばよいかを考察する。

まず、衝突頻度について考える。獅子座流星群のダストが逆行軌道で、地球-月系とはほぼ正面衝突をすることから、月面のうちで地球の進行方向を向いている面での衝突頻度が高いことが予想される。次に、観測する月面の暗さについて考える。flashは日照面に比べると相当微弱な光なので、地球から日陰面が大きく広がって見える時の方が観測条件がよい。特に、中央付近が十分暗いことが望まれる。この衝突頻度と暗さの両方の条件を満たすような時期は、三日月の頃である。従って、三日月の前後に獅子座流星群がピークを迎えるような時期が最大の観測好機であることが指摘できる。

また、今回のように月の中央が明るい場合でも、アンテナのトラッキングの際に適当にオフセットを与えてやることにより、端に近い暗い部分を追尾することが可能である。獅子座流星群の極大は33年に1度しかない現象なので、その中で更に三日月前後に極大がくるようなチャンスを待っていると、チャンスは数百年に1度程度になってしまう。このような追尾方法によってflashとの同時観測を行なうチャンスが増え、衝突によるエネルギーの解放過程の解明に役立つデータを提供できること

第3表 観測された flash⁽¹⁾⁽³⁾ のサマリー。Magnitude は相当する天体の明るさの等級を示す

Event ID	Discover	Event UT (Nov.18)	Magnitude	Selenographic Long.	Lat.
F ⁽¹⁾	D. Palmer	3:05:44.2	5	65W	40N
D ⁽¹⁾	D. Palmer	3:49:40.4	3	68W	3N
E ⁽¹⁾	D. Palmer	4:08:04.1	5	78W	15S
A ⁽¹⁾	B. Cudnik	4:46:15.2	3	71W	14N
B ⁽¹⁾	P. Sada	5:14:12.9	7	58W	12N
C ⁽¹⁾	P. Sada	5:15:20.2	4	58W	20N
(3)		11:07:46(±2)	4	(Dark side)	
(3)		13:54:25(±2)	4	(Dark side)	
(3)		14:14:30(±2)	4	(Dark side)	



第3図 flash の観測された場所 (A-F) と 34m アンテナ X-band の Half Power Beam Width (HPBW)。

が期待される。

5. ま と め

1999年11月18日の獅子座流星群極大時に、流星が月面に衝突するのを鹿島34mアンテナで観測しようとした。X-bandで月面中心部を観測しつづけている時間帯に3つのflash⁽³⁾が起ったが、月面衝突に由来する電磁波は確認されなかった。その原因是、flashが観測された場所とアンテナが実際に観測していた場所が離っていたことにあると思われる。

光学観測では実際に複数のflashが見つかっているので、電波でも同様な現象が観測されることは十分に期待できる。このような観測は、観測に有利な時期（三日目の頃に流星群の極大がある）を待つか、または月をトラッキングする際に単純に月面の中心を見るのではなく、アンテナに適当なオフセットをかけて、日陰面に電波望遠鏡を向けることによって可能になると思われる。

謝 辞

今回の観測にあたって鹿島26m電波望遠鏡の使用を許可して下さった国土地理院の方に感謝致します。また、獅子座流星群に関する情報を提供して下さった宇宙科学研究所の吉川真さんに感謝致します。最後に、観測のバックグラウンドを教えて下さり、観測の際にも協力して頂いた総務省通信総合研究所の関戸さんにお礼を申し上げます。

参 考 文 献

- (1) Dunham, D., Technical Summary of Lunar Impacts of 1999 November 18, 2000.
http://iota.jhuapl.edu/lunar_leonid/tchsm216.htm
- (2) Phillips, T., Leonids on the Moon, NASA Space Science News.
http://www.astrophysics.com/newhome/headlines/ast03nov99_1.htm
- (3) Yanagisawa, M., Private Communication, 1999.
- (4) 海上保安庁, 平成11年天体位置表, 1999.