

月の異常現象

柳澤正久¹

1. LTP観測のねらい

月の異常現象，すなはち，Lunar Transient Phenomena (以下LTP)とは，月の一部が一時的に光ったり，色が変わったり，霧がかかったようになったりする現象で，500年前から今日に至るまで1000件以上が報告されてきた。しかし，望遠鏡による眼視観測中に見つけたというものが大部分で，証拠となる写真などがほとんどなく，こうした報告を疑う者も多い。また，本当に月面上の現象であるとしても，例えば，一部の地形の特殊な散乱特性によるもの(太陽-月-地球が特定の位置関係にあるとき地球方向に強く光を散乱する)など，余り面白い問題ではなからうと考えられているのが現状である。

しかし，これから述べるようにLTPが月内部に起源をもつことを示すような観測結果もある。場合によってはガスの噴出を伴っているかもしれない。もしそうなら，地上からのスペクトル観測あるいは月着陸船に搭載した質量分析器などにより月内部のガスの組成を調べることができるだろう。

一方，確認されていないものの，ある程度の大きさをもった微小天体の衝突がLTPを引き起こすことは間違いあるまい。月震計により得られた衝突のデータを解析する際，LTPから決めた発震時刻と場所は月の内部構造を計算するのに役立つに違いない。

いったい何が光っているのか，光らせているエネルギーのものは何なのか。この謎に満ちた現象は，月の起源と進化の研究に大きく貢献する可能性がある。

2. 1985年5月23日のLTP

Cameron [1]やHilbrecht and Kuveler [2]がまとめた多くの観測者からの報告をみると一口にLTPといっても様々なものがあるのがわかる。特にその継続時間は1秒から1日以上のものであり，とて

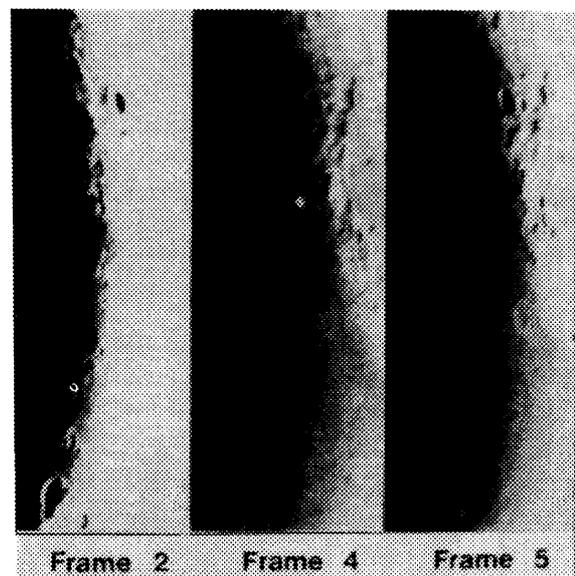


図1. Kolovosらの撮影した1985年5月23日のLTPの写真[3]。露光時間は左からFrame 2: ?, Frame 4: 0.125s, Frame 5: 0.25s。それぞれの正確な時刻はわからないが，約8秒ごとに1フレーム撮っており，Frame 4は17h41m26s±数秒(たぶん世界時)と見積もられている。

¹電気通信大学

もすべてを一つの原因で説明できるとは思えない。ここではKolovosら[3]が報告した1985年5月23日のLTPを紹介する。LTPの写真が論文としてまとめられた数少ない例の一つである。しかし、あくまで一例にすぎないことに注意してほしい。

彼等は、この晩、ギリシャ北部の離村から口径108 mm, 焦点距離1600 mmの反射望遠鏡にカメラを取り付け、月齢3.8日の三日月を撮影していた。そのうちの3枚が図1である。これが月のどの部分であるかは図2に領域Aとして示した。露光時間が3枚とも違うのでみかけは異なるが、真中の写真に光る点がはっきりと写っている。光っているのは危難の海の西にあるプロクラス・クレーター付近である。正確な撮影時間は記録されていないが、約8秒おきに1枚ずつ撮っているのだから、発光時間は16秒以下ということになる。

ちょうどこの時、DMSP F3という偵察衛星が月の前面を飛行しており、それからの反射光ではないかという説も出た[4, 5]。衛星がスピニングしているほんの一瞬だけ(例えば0.1秒以下)光って見えることがあるのである。しかし、拡大して見ると発光は広がりをもっており、その領域の形が地形の

影響を受けている。これは、発光が月面で起こった現象であることを支持している[3, 6]。

彼等は、拡大像から発光面積を530km²と見積った。また、太陽定数と月のアルベドから月の最も明るい縁の部分の単位面積あたりの明るさを計算した。そして、それを基準に、露光時間中同じ明るさで発光していたと仮定して、発光のパワーを5×10¹⁰Wと見積もった。全エネルギーは発光の継続時間がわからないと計算できないが、仮に露光時間と同じ0.125秒としても6×10⁹Jで、月が1年間に放出する地震エネルギー2×10¹³J [7]に匹敵する。

LTPが昼夜の境で起きていることに注意しよう。同様の写真が公表されている他の2例[8, 9]も昼夜の境で起きている。また、LTP全体の報告数もそれぞれの地形が昼夜の境にある時に多い[1]。これには以下のようないくつかの原因が考えられる。(a) 月面温度が激しく変化するため、地殻に熱膨張に伴うストレスがたまり、それがLTPの原因となる[3]。(b) 影がはっきりでて地形の見やすい昼夜の境を観測者が好んで観測するため発見される確率が高くなる。(c) 夜の部分にある山の頂上は日に照らされて暗闇の中で光り、それをLTPと見間違ふ。実

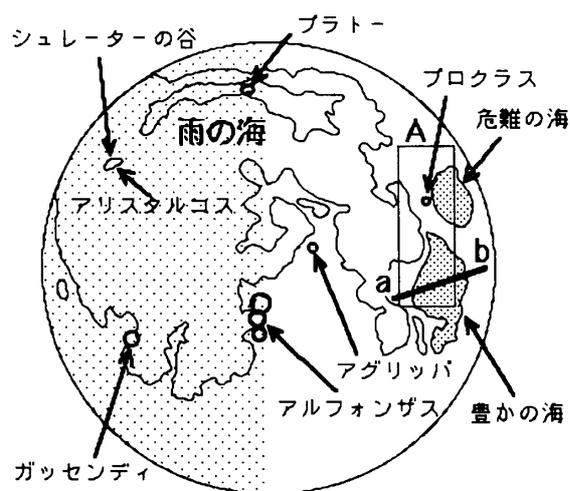


図2. Aは図1の写真の範囲を示す。abは図7のアルファ線プロファイルに対応したアポロ15、16号のパス。



図3. Cameron [1]によってまとめられたLTPの発地点。原図をわかりやすく描き直した。

際に月をビデオ観測してみると昼夜の境のわずかに夜側で光っている名もない地形がほとんどいつでも見られる。しかも明るさが30分から1時間ぐらいの間にどんどん変わっていく。月の観測に慣れていない者がこれをLTPと見間違ふ可能性は大きいだろう。しかし、Kolovosらの発見したLTPは、その明るさが非常に強いことから(c)ではなさそうである。

3. LTPの分布

Cameron [1]はそれまでに報告されたLTPの記録から信頼性の高いものを選び出し、それが起きた場所を月面図上にプロットした(図3)。LTPが海と高地の境界付近で多く報告されていることがわかる。さらに、彼女のまとめによれば、全体の60%は、アリストアルコス、ガッセンディ、プラトー、アルフォンザス、アグリッパ、プロクラス・クレーターと、シュレーターの谷の合わせて7地点(図2参照)について報告されており、そのうちの半分、つまり全体の30%がアリストアルコスで起きている。これはLTPの原因が月内部にあることを示している[1]。Moore [10]も同様の解析からLTP発生地点が月深部で起きる地震の震央と同様の分布を示すことを指摘している。

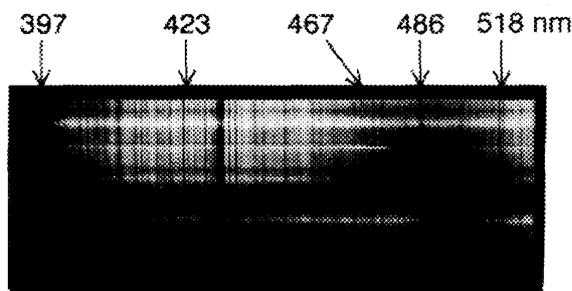


図4. アルフォンザス・クレーターで起きたLTPのスペクトル[11]. 上がLTP時、下がそうでない時。縦方向は図5に示したスリットに沿っている。

4. LTPのスペクトル

Kozyrev [11]は旧ソ連のクリミヤ天体物理観測所で、アルフォンザス・クレーターで起きたLTPのスペクトルを撮影するのに成功した。彼がそれをもとに現在の月にも地球と同じようなマグマを噴出す火山があると主張したため大きな物議をかもした。スペクトル写真そのものまで怪しいと疑がわれたが、データそのものには偽りはないようである[12]。図4にスペクトルを示す。横方向が波長、縦方向がスリットに沿った空間である。図5にスリットの位置を示す。スリットの方向が図4の空間方向と一致するよう反時計回りに90°回転し左が北になっている。図4(上)は1958年11月3日3:00-3:30(UT)露光したもので、この間、クレーターの中央丘が異常に白く、明るく光っているのがスリットを通した眼視観測でもわかったそうである。この輝きが消えるとすぐ次のスペクトル撮影に移り、3:30-3:40(UT)露光したのが図4(下)である。共に真中付近に細く横に延びているのが中央丘のスペクトル、上方の幅の広い明るい帯は日の当たっている東側のリムである。図4(上)の中央丘のスペクトルでは、467 nmと486 nmの間あたりから短波長側

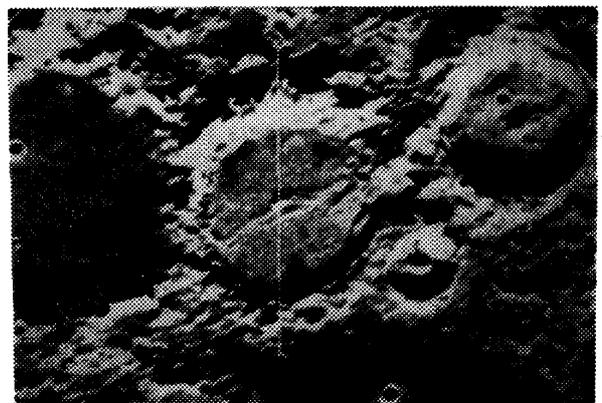


図5. 図4のスペクトルを撮ったときのスリットの位置[11]。左が北で、左から大きい順に、ブトレマイオス、アルフォンザス、アルザツェル・クレーター。

が急に強くなっている。これが C_2 のエミッション・バンドである。Kozyrevは炭素を含んだ分子が太陽紫外線で分解し C_2 ができたのではないかと考えている。

彼は、一年後の1959年10月23日2:10-2:25(UT)、ほぼ同じように太陽に照らされたアルフォンザス・クレーターのスペクトルを観測し、中央丘のスペクトルを1200-1500Kの黒体輻射で説明している[13]。そして、300 mサイズの小さな溶岩流が流れ出たのではないかと述べている。さらに、1961年11月25日、27日、12月3日(UT)にアリストタルコス・クレーターのスペクトルを撮影し、 H_2 分子の存在を主張している[14]。前者では、文献中のスペクトル写真が不鮮明だし、後者では、もとのスペクトル写真が示されていない。これらについては信憑性が定かではない。

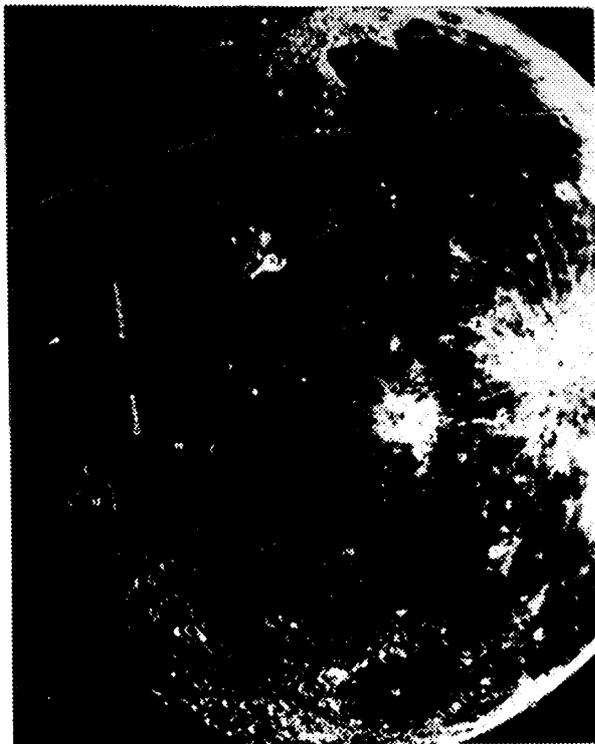


図6. アリストタルコス・クレーターを横切った ^{222}Rn の出すアルファ線カウント数のプロファイル[15]。点線がアポロ司令船のパスとカウントの0レベルを表わす。アリストタルコス上空でカウントが増えている。

5. ラドンの測定

アポロ15、16号の司令船にはアルファ線検出器が搭載され、宇宙飛行士が月面活動をしている間、軌道上から月起源のアルファ線を計測した。図6は、15号がアリストタルコス・クレーター上を飛んだ13本のパスとその時の ^{222}Rn のアルファ線の測定値の平均を示している[15]。点線で示した司令船のグラウンド・トラックがカウントの0レベルも表している。アリストタルコス上空では、カウントがバックグラウンド・レベルより有意に増加している。増加分は、月表面での ^{222}Rn の崩壊、 5×10^{-3} disintegration/cm²/sに相当している。

^{222}Rn は月内部で ^{238}U の崩壊によってできる。3.8日という短い半減期で崩壊し、21年の半減期をもつ ^{210}Pb にいったん落ち着くまでに3個のアルファ線を出す。月のごく表面の ^{238}U からできたものを除いて、普通はおとなしく内部で一生を終え、アルファ線も外には出てこない。しかし、不活性ガスであるために、地表へのガスの噴出があるとそれに乗って地表に顔を出す。そして3個のアルファ線を出す。半減期が短く、また、ガスであるため時間がたてば拡散してしまうはずだから、 ^{222}Rn のアルファ線がアリストタルコスで強いということは、つい最近あるいは現在、ガスの噴出が起きていることを示している。LTPの報告の30%がアリストタルコスについてのものであることを考えると、LTPがガス噴出を伴っている可能性は非常に強い[15]。ちなみに、アルファ線の異常をこの地域のウラン濃度が高いことで説明しようとする、月資料のウラン濃度や、ガンマ線による月軌道上からのウラン濃度の測定と矛盾する高い濃度が必要となる。

ただし、カウントが多いといっても相当するガスの量は微々たるものである。 5×10^{-3} disintegration/cm²/sの領域がアルファ線検出器の空

間分解能である $150\text{ km} \times 150\text{ km}$ に広がっており、毎秒崩壊する分だけ定常的に ^{222}Rn が内部から供給されているとすると、その量は 10^{12} $^{222}\text{Rn}/\text{s}$ となる。 ^{222}Rn を引きずって噴出するガス分子の数はその 10^5 倍あるとしても一日で 1 mol にも満たない量である。

^{222}Rn からできた ^{210}Pb は21年の半減期の後 ^{210}Po となる。そして、半減期138日でアルファ線を出しながら最終的に安定な ^{206}Pb に落ち着く。このアルファ線のカウントが海の周辺で多くなっている[16]。図7は豊かの海を横切ったのカウントの変化で、 0.01 count/s が月表面での ^{210}Po の崩壊、 $3.6 \times 10^{-3}\text{ disintegration/cm}^2/\text{s}$ に対応する。この時のアポロ司令船の平均的なパスは図2に線分abで示してある。これは21年ほどのタイムスケールで見たときに海の周辺で ^{222}Rn の噴出がたびたび起きていることを示している。LTPの報告も海の周囲で多く、LTPがガス放出を伴っているという考えを支持している。

6. LTP観測のすすめ

これまで、月の科学の表舞台には登場することのなかったLTPであるが、今日この現象を本格的に観測することは、次のような三つの点で意義があると思う。第一に、天体観測は電子技術発展の

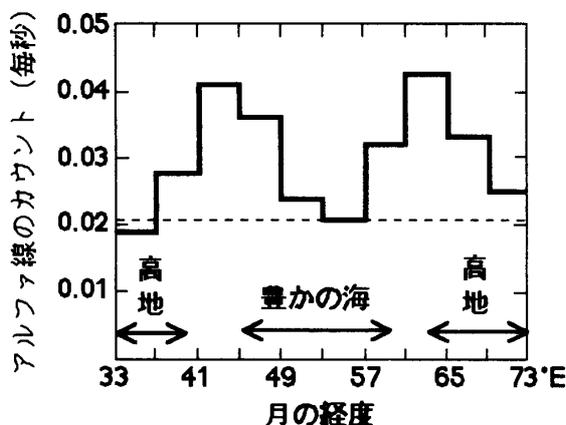


図7. 豊かの海を横切ったの ^{210}Po の出すアルファ線カウント数のプロファイル[16].

恩恵を受けて著しい進歩を遂げたが、LTPの観測に限っては、これまでのところ先端技術が応用されていない。写真に比べはるかに感度がよいCCDや赤外線検出器の利用、ロボット観測などによりこの現象についての新しい事実が次々とわかってくる可能性がある。

第二に、確認されてはいないものの、ある程度の大きさをもった微小天体の衝突がLTPを引き起こすことは間違いあるまい。近く打ち上げられる我国のLUNAR-A計画では月面に3台の月震計を設置し、地震波を利用して月の内部構造を探る。微小天体の衝突は大きな月震を起こす可能性があり、その詳しい解析は月の内部構造をよりよい精度で決めることができる。この解析の際、月震と同時に衝突がLTPとして観測されていれば、その観測から発震時刻と震源を正確に決めることができる。衝突を人工地震のように利用することができるのである。

第三に、SELENE計画を1号機とする月探査計画を宇宙開発事業団と宇宙研が進めようとしていることがある。探査機のデータと比較しながら、LTPを多角的に調べることができる。また、LTPが本当に月の研究にとって重要だということがわかれば、それを探査計画の中に生かすこともできよう。例えば、ガス噴出を伴うLTPが本当に存在し、スペクトル観測から求めたその組成が月の起源、進化理論と矛盾するものであったとしよう。月着陸船に質量分析器を搭載し、ガスの組成を詳しく調べることが実現するかもしれない。

我々は、LTP検出を狙って時々月のモニター観測を行っている。口径200mm、焦点距離800mmのニュートン式反射望遠鏡にCCDビデオカメラを取り付け、月の夜の部分を写し続けるという方法をとっている。1996年11月18日19時02分 17.6 ± 0.5 秒(日本時間)には、継続時間0.63秒の月面での発光と思われる現象を発見した。しかし、旧ソ連の静

止衛星ゴリゾン23号がちょうどこの時月の夜の部分にいたことが指摘されている[17]。この発光に関しては、静止衛星であった可能性を十分に考察してから報告したい。

参考文献

- [1] Cameron, W. S., 1972: Comparative Analyses of Observations of Lunar Transient Phenomena. *Icarus* **16**, 339-387.
- [2] Hilbrecht, H. & Küveler, G., 1984: Observations of Lunar Transient Phenomena (LTP) in 1972 and 1973. *Earth, Moon, and Planets* **30**, 53-61.
- [3] Kolovos, G., Seiradakis, J. H., Varvoglis, H. and Avgoloupis, S., 1988: Photographic Evidence of a Short Duration: Strong Flash from the Surface of the Moon. *Icarus* **76**, 525-532.
- [4] Maley, P. D., 1991: Space Debris and a Flash on the Moon. *Icarus* **90**, 326-327.
- [5] Rast, R. H., 1991: The "Moon" Flash of 1985 May 23 and Orbital Debris. *Icarus* **90**, 328-329.
- [6] Kolovos, G., Seiradakis, J. H., Varvoglis, H. and Avgoloupis, S., 1992: The Origin of the Moon Flash of May 23, 1985. *Icarus* **97**, 142-144.
- [7] Vaniman, D., Reedy, R., Heiken, G., Olhoeft, G. & Mendell, M., 1991: The Lunar Environment. in *Lunar Sourcebook* (Heiken, G., Vaniman, D. and French, B. M., Eds.), Cambridge Univ. Press, 27-60.
- [8] Starzynski, H., 1987: Moonblink Photographiert. *Sterne Weltraum* **26**, 719.
- [9] Stuart, L. H., 1956: A Photo-Visual Observation of an Impact of a Large Meteorite on the Moon. *Strolling Astron.* **10**, 42-43
(<http://www.lpl.arizona.edu/~rhill/alpo.lunar.html>で見られることできる)。
- [10] Moore, P., 1981: The Moon's Interior. in 『月のすべて(図説われらの太陽系5)』(柳澤正久訳), 朝倉書店, 20-21.
- [11] Kozyrev, N. A., 1959: Observation of a Volcanic Process on the Moon. *Sky & Telescope*, Feb., 184-186.
- [12] Doel, R. E., 1996: The Lunar Volcanism Controversy. *Sky & Telescope*, Oct. 26-30.
- [13] Kozyrev, N. A., 1962: Physical Observations of the Lunar Surface. in *Physics and Astronomy of the Moon* (Kopal, Z., Ed.), Academic Press, 361-383.
- [14] Kozyrev, N. A., 1963: Volcanic Phenomena on the Moon. *Nature* **198**, 979-980.
- [15] Gorenstein, P. & Bjorkholm, P., 1973: Detection of Radon Emanation from the Crater Aristarchus by the Apollo 15 Alpha Particle Spectrometer. *Science* **179**, 792-794.
- [16] Gorenstein, P., Golub, L. & Bjorkholm, P., 1974: Detection of Radon Emission at the Edges of Lunar Maria with the Apollo Alpha-Particle Spectrometer. *Science* **183**, 411-413.
- [17] 橋本就安, 1997: 人工天体ガイド. 天文ガイド1997年6月号, 163.