

ついに見つかった衝突痕跡

田部 一 志

〈株式会社リブラ 〒242 神奈川県大和市下鶴間 665-8〉

e-mail: tabe@yk.rim.or.jp

渡部 潤 一

〈国立天文台 〒181 東京都三鷹市大沢 2-21-1〉

e-mail: watanabe@pub.mtk.nao.ac.jp

SL-9 の木星衝突によってできた黒い痕跡は正に驚異的であった。過去における衝突痕跡候補はどれもかなり不確実なものであったが、1690 年に Cassini がとったスケッチにそれらしいものを「発見」した。その経緯、発見の状況、現在知られている中でこの模様が他に比べいかに際立ったものであるかについて述べる。

1. はじめに

シューメーカー・レヴィ第9彗星が木星に衝突して真っ黒な衝突痕跡を残したのはもう2年半も前のことになってしまった。衝突によってできた痕跡は木星表面の東西の風(図1)に流されて変形しつつには他の衝突痕跡と混ざりあい $-40 \sim -46^\circ$ にかけて暗い帯を形成した。衝突直後の衝突痕跡はそ

の大きさと三日月形の取り巻きの有無によって a, b, c にクラス分けされているが、これらの痕跡は小さな望遠鏡で見てもはっきり確認することが出来た。これは事前には誰も予想しえなかったことであったが、多くの眼視観測者が望遠鏡を向け独立発見者となった。その黒さはそれまで見られた木星表面模様比べて極端であり、衛星の影の暗さに匹敵するという感想が多くの眼視観測者によって語ら

木星の帯状流 (1979年から1980年にかけて)

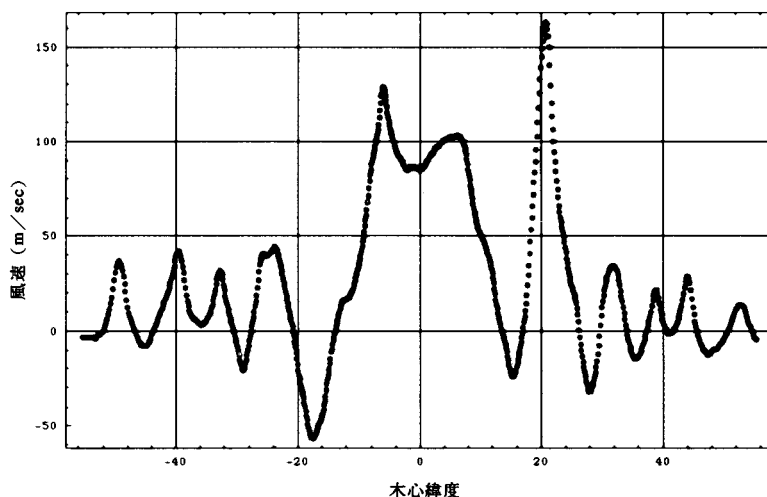


図1 木星の東西流 (Limaye, 1986)

れた。

黒い物質についてはシリケート粒子¹⁾、アモルファスカーボのすず²⁾、HNC ポリマー³⁾の説が出されているがどれも決定的ではない。いずれにしても微小天体が木星や土星などのガス型惑星に衝突すると同様の衝突痕跡が残るだろうことは容易に想像できる。

木星や土星の眼視観測が本格的に行われるようになった1870年代以降の記録にはそのような強烈な黒さを持った模様に関する記録はない。木星の表面模様（大気現象）について書かれた文献としてはThe Planet Jupiter⁴⁾が長い間決定版であった。それを上回る大作The Giant Planet Jupiter⁵⁾にも衝突痕跡候補となりうる模様の記述はない。

SL-9の衝突でこんな痕跡が残るのなら過去衝突が起こっていればかなり貧弱な望遠鏡でも観測できた筈である。天体望遠鏡が発明された1610年台以降、木星は多くの天文学者、観測者によって最も頻繁に監視され続けた惑星である。

しかしながら、1870年代以前の木星に関してはそれ以降と比べると記録自体が極端に少ない。調査しようとする世界各國の歴史のある天文台を尋ね歩いて調査する方法しか残されていない。この骨の折れる作業を地道にやっていたのが北アイオワ大学にいるThomas Hockeyである。彼は木星へ

の過去の衝突痕跡について既に2編の論文^{6),7)}を発表している。

他にもStephan O' Meara⁸⁾やClark R. Chapman等が土星に現われた暗斑について天体衝突痕跡の可能性を示唆している。しかしながらそのいずれもが1回のみ観測記録しか無かったり、明らかに大気現象と解釈できたりするものであった。表-1にこれまで候補とされた模様の一覧を掲げる。しかし、今となっては再調査しようのないものばかりである。（勿論オリジナルの観測記録が残っていてそれが発見されれば話は別であるが。）候補となっている模様に関して最も否定的な見解を持っていたのがT. Hockey自身であった。

2. これまでの調査

Hockeyは1995年に来日して日本のアマチュア天文家のために講演してくれた。

木星の眼視観測を行っている20名程度を相手にしてのものであったが、英語も解りやすいうえに話もうまくなかなか好評であった。話の内容は天体衝突痕跡には否定的なものであったから、私自身も含め多くの観測者はSL-9が衝突したときのような現象は記録されていなかったのだろうと漠然と納得してしまっていた。

不思議なことに数十ある衝突痕跡候補はいずれ

表1 衝突痕跡候補

番号	観測年	観測者	現象	可能性	調査者
1	1664	R. Hooke	暗斑	無し	Hockey(1994) ⁶⁾
2	1665-1713	G. Cassini	暗斑	無し	Hockey(1994,96) ^{6), 7)}
3	1689	G. Cassini	暗斑	小	Hockey(1994) ⁶⁾
4	1778	W. Herschel	暗斑	小	Hockey(1994,96) ^{6), 7)}
5	1785-1788	J. Schroeter	暗斑	小	Hockey(1994,96) ^{6), 7)}
6	1834-1935	J. Madler and W. Beer	暗斑	小	Hockey(1994,96) ^{6), 7)}
7	1834-1857	W. Dawes	白斑	無し	Hockey(1994) ⁶⁾
8	1839	J. South	暗斑	小	O' Meara(1996) ⁸⁾

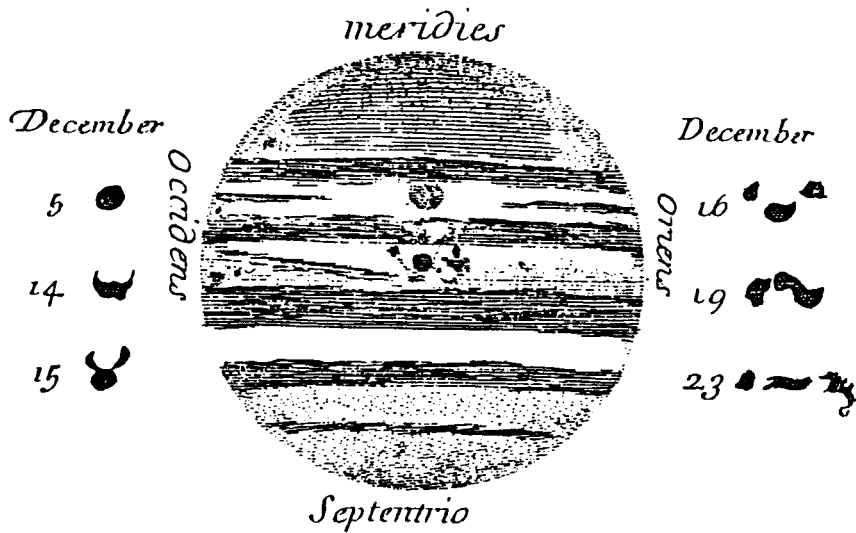
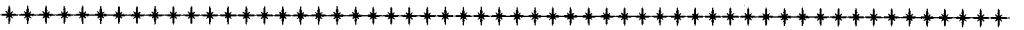


図2 カッシニのスケッチ

も1870年以前のものばかりである。それ以降のものは十分観測され、現在の木星に起こっている細かい大気現象の仲間と解釈できてしまうので必然的に候補とはなり得なかったのであろう。

それ以前のものに関しては観測が断片的であること、観測そのものがあいまいであることなどが手伝って現代的な見方では解釈できないものがあるということ是可以する。しかし徐々に今後の新発見の期待は薄いと思うようになった。

木星大気の研究者にとって数多い表面の渦の消長（発生、消滅、寿命）、渦同士の間相互作用、他の模様との相互作用は木星大気の性質を明らかにする重要な手がかりである。しかしながら、本当に興味深い現象は数年～10年に1度くらいしか起こらないので、まさに息の長い観測が必要である。過去の興味深かった現象の観測報告を探して読む方がずっと効率が良い。主要な観測の記録は前述の2冊の著書に全て網羅されていると考えていたがこれは大きな誤りであった。

これらの著者はイギリス人であり、主にイギリスの観測記録に基づいてその著書は編んである。実はイギリス以外のヨーロッパの各国の天文台でも

1870年台以降は熱心に木星の眼視観測を行っており多くの文献が国立天文台の図書館（本館脇のレンガ作りの古い建物）にも収蔵されている。ここ数ヶ月、図書館の古い文献を調査してさまざまな発見をしたのは実に楽しい経験であった。

3. 大赤斑に関する謎

世間一般では木星の大赤斑は300年以上も観測され続けていると信じられている。

これはC.R.Chapmanがカッシニの1600年代のスケッチに描かれているいわゆるパーマネントスポットを現在の大赤斑と同じものではないかと言出した事に端を発している。それが各教科書にまで孫引きされてしまっている。

カッシニのパーマネントスポットは現在の大赤斑よりやや小さいもの大赤斑と同じ南熱帯に存在し断続的ではあるが1665年からカッシニの死後の1713年まで観測されている（図2）。一方現在の大赤斑の古い記録は1831年までしかたどることが出来ない。途中のブランクが120年もある。パーマネントスポットがそのまま大赤斑になったとするのはちょっと飛躍しすぎではないだろうか？



写真1 パリ天文台

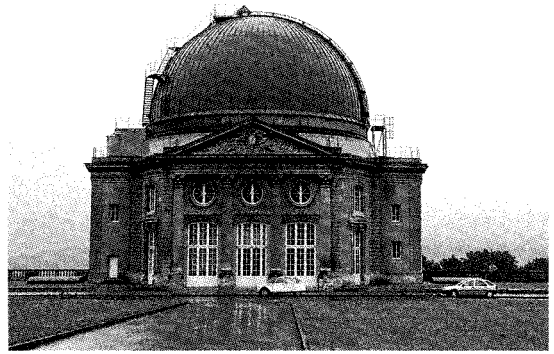


写真2 ムードン天文台

1700年代の観測記録に大赤斑の姿を見い出せれば300年永続説は有望になるが、現在までのところ依然として「発見」されていない。筆者等はパリに行けばこのあたりの資料が何か見つかるかも知れないと常々考えていた。

そんな矢先の1996年7月パリでSL-9の衝突に関する会議が開催された。天文台の渡部潤一さん中村士さん布施哲治さん東大の佐々木晶さん月惑星研究会の堀川邦昭さん神保みちをさんなどの日本人も出席していた。会場はパリ市内からバスで40分程離れたムードンサイトである。会議にはSL-9衝突痕跡の時間変化に関するポスターを出したがもう1つの目的はいうまでもなく18世紀の大赤斑の様子を調べることにあった。ポスター会場と講演場はすぐ隣接していたし、コーヒー等のサービスはポスター会場にあったので多くの人が興味の無い講演の最中はポスター会場でおしゃべりをしていた。(写真1 パリ天文台) その隣が図書室になっており自由に雑誌などが閲覧できるようになっている。

そこで、17～18世紀の木星について書かれた文献を見たいと申し出ると快くコンピュータ端末で検索してくれた。当方があまりいろんなものを検索したがるのでしまいには自分でやれということになって端末を自由に使わせてもらえることになった。ムードンにはあまり古い文献は無く、古いものはパリ

サイトにあるという。

しかし、われわれの目からは十分古そうなものが沢山あったのも事実である。地下に書庫があって雑誌のバックナンバーがあるが、1950年代以前のものは別の建物にある書庫にあるという。どれを見たいということではないので書庫を見たいと申し出たが、厳重に管理されているらしく駄目だという。まあここはこれで仕方ないと諦めかけた。

会議の中日に最も古い建物の中にある83cmの屈折望遠鏡を見せてくれるという。

歩いて10分ばかりのところであり、直径30mはあろうかというドームの中に望遠鏡は据え付けられてあった。(写真2) この望遠鏡を使って1910年頃有名なE.M.アントニアジが火星を観測し、ローウェル～スキヤパレリの運河説を否定した惑星科学界では由緒ある望遠鏡である。1970年代初めころまでは使われていたが今は使われていない。ドームももう回らなくなってしまっているようである。この建物の1階は、Directeur du documentation planétaire et cométaire de l'Observatoire de Meudonという部屋になっており、ここに惑星と彗星関係の古い映像やスケッチなどが集められていた。さすが眼視観測の伝統を持つ天文台だに関心した。しかし図書室の連中はここの事を知らなかったのだろうか？

早速いって見るとすでに何人かの会議に出席している筈の外部研究者が来ていて火星やら土星の写真を調べていた。ムードンやピクドミディだけではなくウィルソン山やリック天文台で撮られた写真まで保存されており、マニア？垂ぜんの資料倉である。木星に関してはアントニアジが1930年代に集めたというスケッチ集があった。アントニアジ自身が模写したものであり、オリジナルはパリサイトにあるという。しかし貴重である。1610年から1850年頃までのおよそ100枚のスケッチをコピーしてもらった。ここの人達は皆親切である。現在予算要求しておりそれが通ればこれらの資料をWWWに公開することも考えているそうである。日本からも何人か調査に来たらしく海老沢、佐伯、宮本などの名前が出てきた。とくに海老沢氏はミスター火星だと思われる。それだけ頻繁に出入りされていたのだろう。君はミスター木星だねといわれて少し嬉しかった。

ムードンにこれ以上のものはなさそうである。日数にも限りがあるしパリサイトも調べなくてはならない。図書室のおねえちゃんにパリにこれから行くから電話しておいてくれとたのんでパリに向った。パリサイトの図書室は前夜懇親会が行われた場所のすぐ近くにあった。というより、懇親会場にあったガラス張りの戸棚は全て書庫であった。用紙に必要事項を記入して出してもらおうスタイルなので少々面倒臭い。試しにA.S.Williams著Zenographic Fragments vol. 1 & 2を依頼してみる。すぐに探してくれたが出て来たのはvol. 1のみであった。この本はおそらく世界で始めて書かれた木星表面模様に関する書籍である。中味はMNRASやJBAA等で既に論文になっているものを再録したものばかりのようである。17世紀の観測記録を2~3注文してみる。衛星の位置観測とCassini1692が出てきた。衛星の方は手書きでありが衛星の位置の図の中の木星表面には模様が描かれている。中に大赤斑のようなものもあるが、これがカッシニのパーマネントスポットである。

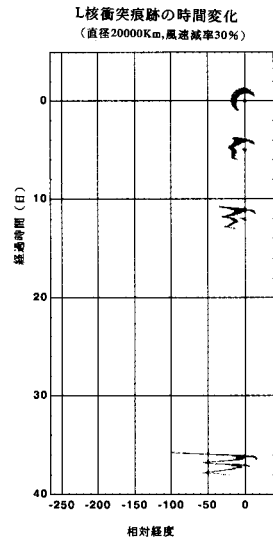


図3 SL-9の衝突痕跡の時間変化

興味深いのは17世紀のSEB（南赤道縞）も濃化、淡化を繰り返していたらしくSEBが濃化するとパーマネントスポットのあたりで湾を形成していることである。これは現在の大赤斑のあたりのSEBに見られるRed Spot Bayと呼ばれるものと全く同じものであるようだ。両者は物理現象としては同じものである事を再確認するに足る発見であると思う。

Cassini1692の方は図2のスケッチが掲載されていたものであるが、文字は全て活字であった。あたかも謄写版で印刷したかのように文字のかすれている箇所もある。これを“発見”してスケッチを見た瞬間、アントニアジが引用していたあのスケッチだとすぐにわかった。300年前のフランス語の詳細については分からないのでコピーを採らせて欲しいと頼んだがあっさり断られた。写真も採らせてくれない。スケッチはアントニアジが引用したものが印刷物になっているので、文章の主な部分（ほとんど全部）を筆記することにした。筆記している間同行してくれた堀川君は別の文献を探していたが、めばしいものは見つからなかった。閉館まぎわ

まで粘りほとんど全てを写し終えホテルに戻った。

4. ほんとうに衝突痕跡か？

SL-9 の痕跡の観測から衝突によって出来たプルーム内での黒く見える粒子は 1-200 mb レベルに浮遊していたものと考えられている。そして次のようなことが分かっている。

(1) SL-9 の衝突痕跡は成層圏にあつて (1-200 mb レベル) 基本的には対流圏の風の分布を減衰させたような東西方向の風に乗って変形している。風のパターンがそのまま形の変化となっている。(図 3)

(2) しかしながらこの風は対流圏上部の雲頂で測られた風速分布 (ボイジャーの観測) とは必ずしも一致しない。ボイジャーの測定した 150 mb と 270 mb の南北の温度分布は成層圏 (上空では) 東西方向の風を抑制する方向に働くことが予想されていたが、SL-9 の衝突痕跡では風速が 30 ~ 50 % 減衰しているらしい。

(3) 事前に予想された渦が発達は見られなかった。すなわち木星成層圏に単純に黒い粉をまいたのと同じ振る舞いをしていたらしい。ボイジャーの観測した風速を減衰させたような結果になったのは、温度風の関係

$$\partial u / \partial z = R / (2a \Omega \sin \theta) \cdot \partial T / \partial \theta$$

…………… (1)

によって、東西の風速が低減されているからであろう。このことは以前の Flaser⁹⁾ によって予想されていたことでもあった。もしも Cassini のみだ斑点が赤道での南北シアーによって広がったものであるとすれば、当然同じような低減を示している筈である。

また Beebe¹⁰⁾ も指摘しているように対流圏から成層圏まで伸びた渦の作用による変形も無視できない。しかしながら、渦による変形はそれを示してくれるトレーサーがあつてなおかつ変形を与えている渦の存在が明らかな場合始めて可能になる議論である。Cassini の斑点も当然周囲の渦による変形を受けているはずであるが、これ以上の議論は現在

のところできない。また、Beebe が E. J. Reese からの私信 (1996) として引用している重要な用件として、痕跡によって生じた模様であるならばその模様がリム (縁) またはターミネーター (明暗境界線) 付近にある場合でも他の模様よりコントラストが際立って見えることがある。SL-9 の痕跡でもそうだったが成層圏まで伸びた模様がイラジエーション (irradiation) という現象を起こしてそれだけ際立って見えることが古くから知られている。Cassini はそのあたりについては何も記述していない。これは元々強烈にコントラストの強いものであったろうから特筆に値しないと考えたのかもしれない。

会議が終わって部屋に戻っていた渡部さんにスケッチを見せるとこれは Nature クラスの発見かもしれない。急いで論文にして先取権を取ってしまうということになった。たまたま筆者と堀川氏がポスター発表していた内容が木星の東西流による SL-9 衝突痕跡の時間変化に関するものであった。同じ手法で Cassini の斑点の時間変化をシミュレートしてみることが可能である。すぐに結果は出た - 5° 付近に直径 6° の円形の痕跡を作りボイジャーが測定した風のプロファイルを 30 % ほどに減衰させて応用するとほぼピッタリになる。30 % という減衰率も SL-9 の場合とぴったり合致する。やはり、そうだったのかとの思いを強くした。このシミュレーションには渦の効果も拡散の効果も入っていない。それでも SL-9 衝突痕跡の大まかな形状変化を追うことには成功している (図 3)。また元になった東西流はボイジャーが測定したもの¹¹⁾ である。パリで Limaye 自身から聞いた話によると、ボイジャーの測定値とガリレオの測定値は 17 年の時間が経過しているが 1 % 以内で合致しているという。この 100 年間東西の風について変化した例はごく特殊な場合を除いて知られていない。特に赤道地域には変化は全く検出されていない。現在の値が 300 年前に通用するか否かは誰にも分からないが、少なくともこの 100 年に関しては同じであるので同じと考えて差し支えないと思われる。

Cassini 自身はこの斑点について次のようなことを記している。

(1) 突然丸い斑点として現われたので驚いた。

(2) 非常に黒かった。

(3) 太陽黒点のようなものではないか？

これらのいずれもが衝突痕跡である事を肯定している。また 18 日目以降の観測については何も記されていないが、図 1 の南熱帯に見られるパーマネントスポットの観測はその後も連続して行っている。1691 年の木星の衝は 11 月だったので 1692 年の 4 月頃まで観測可能な時期が続いた筈である。何も記述がないということは消えてしまった（少なくとも見えなくなった）と考えても良いだろう。SL-9 の衝突痕跡が地上の眼視観測者によって追跡されたのは短いものでは 10 日、長いもので 35 日程度であった。その後は他の痕跡と混ざり合って暗いベルト状となり約 1 年後まで見え続けた。

以上のように状況証拠としてはほとんど衝突痕跡である。ここまではっきりした証拠の揃っているものは他に例がない。一方 1000 年に 1 度だと言われていた衝突の頻度であるがもっと頻繁に衝突は起こっているのではないかという説¹²⁾もあり、実際には 300 年に 1 度くらいの割合いで起こっているのではないかと思われる。

図 4 は筆者の友人の高部哲也氏が描いてくれた Cassini の痕跡当時の木星の想像図である。模様のコントラストは極力本物に近い感じになっていると思う。今後このような「発見」ができるかどうか分からないが、少なくとも 17 世紀の大赤斑についてはもう少し探してみるつもりである。発見できても発見できなくても結果については報告したいと思う。

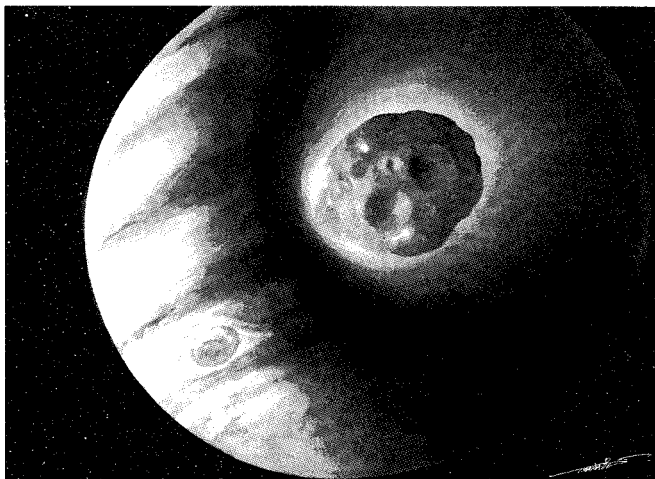


図 4 カッシニが衝突痕跡を見た当時の想像図（高部哲也画）

参考文献

- 1) Hasegawa H., et al. 1996 *Icarus* 121, 311
- 2) Hofner S., et al. 1997 *Icarus*, in press
- 3) West R., et al. 1995 *Science* 267, 1296
- 4) Peek B.M. 1958 *The Planet Jupiter* (Faber and Faber, London)
- 5) Rogers J.H. 1995 *The Giant Planet Jupiter* (Cambridge University Press, Cambridge)
- 6) Hockey T. 1994 *Earth Moon and Planets* 66, 1
- 7) Hockey T. 1996 *Planet Space Science* 44, 559
- 8) O' Meara S. 1996 *Sky and Telescope*, 92,98
- 9) Flaser F.M. 1986 *Icarus* 65, 280
- 10) Beebe R.F. 1996 in *IAU Colloq. 156* (Cambridge Univ. Press, Cambridge)
- 11) Limaye S.S. 1986 *Icarus* 65, 335
- 12) Kary D.M. and Dones L. 1996 *Icarus* 121, 207
- 13) Nakamura T., Yoshakawa M. 1995 *Icarus* 116, 113

Discovery of Impact Spot in 1690 on Jupiter Isshi TABE

665-8 *Shimo-Tsuruma, Yamato-City, Kanagawa* 242
JAPAN
Abstract

The formation of scars caused by the collision of Comet Shoemaker-Levy 9 on surface of Jupiter was a marvelous event exactly. Although many candidates of past impact scars have been still ambiguous, we discover the record of reliable spot in a drawing of J.D.Cassini in 1690. We refer to the circumstance of this discovery and how this spot has stronger reliability than other known candidates.