

特集

シューメーカー＝レビー第9彗星の
木星衝突佐々木 晶¹, 渡部 潤一², 小林 直樹³

1. 特集について

ちょうど1年前の遊星人で「木星に衝突する彗星」という特集を組み、吉川真、長谷川均、小林直樹の各氏に原稿を書いていただきました。そして今年の7月、シューメーカー＝レビー彗星の衝突は、ほとんどの天文学者、惑星科学者の予想を上回るもので、多くの観測成果が得られました。小さな望遠鏡でも黒色斑を見ることができ、一般の人々の興味も大きく引きつけました。

ここに再び、特集を送ります。衝突現象の終わった8月のはじめ、我々は、少なくとも日本での観測結果・理論的見積もりを比較検討できるようなシンポジウムを開催したいと考えました。多くの方々の協力を得てシンポジウムを開催し、そしてkey talkをされた方々に遊星人の特集記事をお願いしました。原稿を書いている間にも新しい情報が次々と入り、まとめるのが大変だった方もいるようです。

観測結果は得られたけれども、精密な解析、光度曲線の説明、衝突体の性質、衝突現象の詳細などの研究はまだです。この特集をきっかけにして、興味をもってこの分野に参加される方が一人でも多くいることを期待します。

2. シンポジウム「シューメーカー＝
レビー第9彗星の木星衝突」

10月2日、名古屋大学理学部で日本惑星科学会

主催のシンポジウム「シューメーカー＝レビー第9彗星の木星衝突」が開催されました。惑星科学会の秋季講演会の前日に開催されたこのシンポジウムには、最終的に100人を越える参加者があり盛会でした。

Shoemaker-Levy 9 彗星
シンポジウムプログラム

1. はじめに
渡部潤一 (国立天文台)
2. Shoemaker-Levy 9 のコマの光度変化について
谷川智康・向井正 (神戸大・理)
3. 彗星衝突の電離圏への影響
品川裕之 (名大・STE研)
- ※4. SL9 衝突による電波変動
前田耕一郎 (兵庫医大), 今井一雅 (高知高専)
5. GEOTAIL 衛星による Shoemaker-Levy 彗星・木星衝突時の電波サーベイ
笠羽 康正, 小嶋 浩嗣, 松本 紘 (京都大・超高層電波研究センター), 長野 勇 (金沢大・工), 橋本 弘藏 (東京電機大・工)
6. SL9 彗星の木星衝突時の電波観測 (キャンセル内容は前田氏が紹介)
芳野越夫 (電気通信大)
7. 通信総合研究所における SL9 観測結果報告
吉川真 (通総研鹿島)

(昼休み)

¹ 東京大学理学系地質学教室² 国立天文台光学赤外線天文学系³ 東京大学理学系天文学教室

※8. SL9衝突現象：近赤外観測の成果から

長谷川均（アステック）、他SL9近赤外撮像観測チーム

9. シューメーカー・レビー第9彗星の木星衝突痕の撮像観測とBVRI測光(1)

大島修，綾仁一哉，小暮智一，清水実（美星天文台），藤井貢（山陽技研），小坂浩三（玉島高校），宇野嘉和，木下一男（星の広場），谷川智康，中川直彦，川原幹雄，浦崎健太郎（神戸大・理）

※10. シューメーカーレビー第9彗星と木星との衝突・爆発のシミュレーション

矢部孝（群馬大・工），佐々木晶，阿部豊，小林直樹，寺沢敏夫（東大・理）

11. K核衝突による発光の上限（父島での観測から）

柳澤正久（電通大）

12. プリウムからの発光の観測：岡山での近赤外観測より

竹内覚（九大・理/国立天文台），長谷川均（アステック），安部正真（宇宙研），廣田由佳（学芸大），奥村真一郎（東大・理），森淳（東大・理），西原英治（総研大），山下卓也（国立天文台），渡部潤一（国立天文台）

※13. Comet Shoemaker-Levy 9 Fragment and Progenitor Size, Inferred from Plume Height and Radiance upon Impact with Jupiter

Toshiko Takata and Thomas J. Ahrens (Caltech, Pasadena, CA 91125 USA)

James Friedson and Glenn S. Orton (JPL/Caltech, Pasadena, CA 91109 USA)

14. 衝突痕跡の可視域分光観測

鈴木文二（三郷工業技術高校），栗原浩（神奈川工業高校），佐々木敏由紀（国立天文台・三鷹），渡部潤一（国立天文台・三鷹）

15. Shoemaker-Levy 9彗星による木星衝突痕の形

成

万代英俊，荒川政彦（北大・低温研），林祥介（北大・地環研），山本哲生（北大・理）

※16. 可視域で観測したSL9衝突痕の時間変化と大気力学的考察

浅田正（九州国際大），宮崎勲（OAA），赤羽徳英（飛騨天文台）

17. シューメーカー・レビー第9彗星の衝突痕から求めた木星上層大気の帯状流について

堀川邦昭（月惑星研究会），佐野武史（東海大学），黒須潔（仙台市天文台），菅原賢（厚木市こども科学センター），白木浩介（日本大学），長谷川均（アステック），竹内覚（国立天文台），小笠原雅弘（NEC航空宇宙システム）

18. シューメーカーレビー第9彗星の木星衝突により励起された慣性波とその木星に及ぼす影響

中島康（名大・理）

※19. 表層の力学的構造は何かわかったか？（コメント）

林祥介（北大・大気）

20. X線天文衛星【あすか】によるShoemaker-Levy-9の木星衝突の観測

寺田健太郎（広大・理），根来均，林田清，北本俊二，常深博（阪大・理），大家寛，森岡昭，小野高幸（東北大・理），田原譲（名大・理），向井利典，星野真弘（宇宙研），寺沢敏夫（東大・理）

21. ASCAによる木星の観測

鎌田祐一（名大・理），Antune, A.（宇宙研），Mukai, K.（NASA/GSFC），寺田健太郎（広大・理）

22. シューメーカーレビー第9彗星衝突のCG映像作成とヒューマンネットワークについて

毛利勝廣，鈴木雅夫，北原政子（名古屋市科学館），安田孝美（名大・情報文化），東海彰吾（名大・工），吉川真（通信総合研究所），沢武文

(愛知教育大)

23. 総合討論

※の講演は招待講演で、今回の特集に論文を書いていただいた。

シンポジウムのメモより

まず、国立天文台の渡部氏により Introduction として、今回の衝突で観測された現象の概要が簡単に紹介があった。衝突予測時間が原因は（5桁もサイズが大きいものに）流れ星の軌道を応用したためではないか。慣性重力波はまだ確認されていない。K核の衝突のとき北半球でX線の強度が大きくなった。電波強度は小さくなるという予想に反して大きくなった。一般でも観測できた直径1万kmの衝突痕について黒い塵の正体はまだはっきりしていない。今回のシンポジウムの目的として、現段階での観測結果をつき合わせて現象の説明を考える、ということが提案された。

神戸大の谷川氏は、彗星のダスト放出のシミュレーションを主としてHSTによる観測結果と比較して議論した。中心核が分裂した後に、ダストの供給が無いモデル、供給が継続されるモデルの両方で、地球からの位置を考えてS-L/9の光度変化を計算した。

名大STE研の品川氏は、彗星衝突の電離圏への影響を議論した。彗星よりH₂O分子が供給されると急速に電子密度が減少して電離圏が小さくなるという予想が立てられる。現在のところH₂Oを大量に放出したという証拠はなく、S-L/9はむしろ小惑星的であったという説がある。この場合はFeなどの金属元素が放出されると、金属イオンの再結合反応速度が遅いため、電離圏の電子密度は逆に3-5倍上昇する可能性がある。

兵庫医大の前田氏には、S-L/9の衝突の際に観測された電波変動に関して、レビューをお願いした。

木星からの電波には、放射線帯からのシンクロトロン放射によるデシメートル波と、高緯度で放射されるデカメートル波（木星電離層とイオのトラスの相互作用によるイオ関連波と、イオ非関連波とがある）が知られている。当初、彗星の放出するダストにより電子のエネルギーや密度が減少するためシンクロトロン放射は弱くなると考えられていた。しかし、Nancay, JPL, Molongloの観測結果は衝突後にデシメートル波の広い波長にわたり強度が25-50%増大したことを示した。何らかの機構で高エネルギーの電子が放射線帯に供給された結果であろう。また、来られなかった芳野氏の結果の一部として、K核、G核の衝突に伴い2.2GHz, 1.67GHz, 400MHzの放射の短時間の増大があったことを示された。この「短時間の増大」は衝突の痕跡が地球正面を向いた時に桁で大きくなっていた。これが事実だとするとかなりのインパクトであるような気がした。デカメートル波の観測では、広範な観測ネットワークが作られて観測情報が交換された。衝突に伴うシグナルの報告はあるが不確実性が高く、現段階では衝突の影響は小さかったという結論である。

京都大の笠羽氏は、GEOTAIL衛星による、S-L/9衝突時の低周波（30-100kHz, 500-800kHz）電波観測の結果を紹介した。現在のところ木星方向からの電波の強度の変化は見られていない。ただ、まだNASA側で受信されたデータは未解析である。X線の観測を説明する高エネルギー粒子に対応した電波の放射が観測されてもおかしくないのではと予測した。

通信総合研の吉川氏（彼自身はもともと軌道計算の専門家でも今回でもS-L/9の衝突前の軌道計算を実行した）は、研究所の各地のセンターでの、電波観測、近赤外観測のレビューを行なった。各地でのデカメートル波の観測結果では有意な変動は見られなかった。鹿島の34mのパラボラアンテナ

ナによる観測では、G, K核の衝突にともない、Xバンド, Sバンドの強度の変動が観測された。

午後のはじめに、予想外のトラブルがあった。なんと会場の電源のブレーカーが落ちたのである。強力なOHPを使用したのが原因らしいとのこと。ブレーカーボックスの中に書かれていた部屋番号が誤っていたためすぐには復旧できず、観測用の長大な延長コードを地球惑星科学教室から持ってきて、隣の部屋から電源を引っ張るといった応急処置でその場をしのぐことになった。

トラブルが収まってから、アステックの長谷川氏により、岡山天体物理学観測所での結果を主とした近赤外での観測のレビューが行なわれた。まず、木星の緯度と大気高度の上に、雲やオーロラの位置を書き込んだ図を示して、観測する波長でどのような現象が見られるかという説明。岡山での2.36ミクロンのメタンバンドで撮像した、C核, K核の衝突での増光曲線を紹介した。まず、大きな増光の前に複数のフラッシュが見られる（これはD, G, L, S, W核の衝突でも他所の観測で確認されている）。その後のプリュームの発達に伴う増光は約10分間継続する。また、増光より減光が急である。何が発光の源かはまだはっきりしていないが、放出物の再突入でのエネルギー解放の可能性がある。

減光の後は光度はほぼ一定になり、冷却して凝結したちりによる太陽散乱光となる。この領域は、可視光でみられる黒色の領域と同じであり、黒色にみえる物質が太陽光を近赤外領域で散乱していると考えられる。粒子サイズとしては赤外散乱の下限である0.1ミクロンから10ミクロン（これより大きいとすぐに落ちてしまう）の間であろう。

その他の情報として、衝突のフラッシュはGalileoでは観測されたが、衛星での反射光は観測されなかったこと、H₂Sが観測されたこと（これ

は衝突の影響が少なくとも2気圧の深さに及んでいることを示す）、KAO（カイパー航空天文台）でG, K核の衝突にともなうH₂Oが観測され上空での爆発を示唆していることなどを、紹介された。

美星天文台の大島氏は、美星天文台101cm望遠鏡で撮影した可視光（BVRIバンド）とメタンバンド（0.89ミクロン）での木星衝突痕の撮像結果を紹介した。大きな黒色斑がはっきりと確認される。また、衝突痕のアルベドについて散乱モデルによる計算結果を示した。美星天文台での観測結果は写真のファイルでも持参され、後の休憩時間に公開された。

群馬大の矢部氏は、もともとはレーザー核融合のシミュレーションのために開発されたCIPという流体計算コードを使った、彗星の木星大気への衝突過程および爆発過程の数値シミュレーションの結果を述べた。この計算コードは物質境界の記述が容易で圧縮性流体と非圧縮性流体を同時に解くことができる。彗星が木星大気に突入するにしたがい先端から物質のablationが進行する。彗星表面には波が立つ。最終的には中心部に空洞ができて10bar付近で彗星は破壊されてしまう。この到達深度はこれまでの他の結果より浅い。爆発の過程は32000km×16000km（高さ）の領域で20桁の密度変化のある大気構造のもと、深さ10barの地点に置いた鉛直方向に細長いエネルギー源を初期値として計算した。エネルギー源の長さを150kmとしたときは、（いわば衝突時の痕をたどるように）100秒後に圧縮された傘状の領域が高速で上昇していき、そのちプリュームが広がりながら上昇する。一方で、エネルギー源の長さを短くする（40km）とこのような現象はみられない。会場にはビデオ画像を大きく拡大して投射する液晶プロジェクターがあり、シミュレーションの迫力ある結果を楽しむことができた。

電通大の柳沢氏は、父島でのK核衝突のEuropa

からの反射光をねらった観測結果を紹介した。エウロパの発光は観測されなかったが、視野に写っている10等級の星よりも反射光が暗いという制限をつけることができる。ガリレオで観測された衝突フラッシュの光度はこの上限以下になるそうだ。また、コメントとして近赤外で観測された大きな増光は、比較的大きな粒子による太陽反射光と考えられる、という意見を述べた。

天文台の竹内氏は、岡山で観測された近赤外光度曲線の理論的解釈を試みた。プリュームの初速度10km/秒にとり、単純な放物線軌道を(弾道モデル)仮定し、かつ冷却が断熱的であるとするこゝとで、おおまかな説明はできることを示した。また、プリュームの発達だけではなく木星の自転にともないプリュームが見えてくる効果を探り入れると、大きな増光は一応、高温のダストからの熱輻射と考えて良い。(柳沢氏の意見にたいして)太陽光の散乱の寄与は1%程度であると述べた。

Caltech (現地質調査所)の高田さんは、彗星の木星大気への衝突の3次元SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) による数値シミュレーションの結果を紹介した。この手法では斜め衝突を計算することが可能である。彗星突入時と、プリュームが成長するときのシミュレーションを見せた。直径2kmの彗星は350km, 200barの深さまで到達する。エネルギー分配が最大になるのは180km, 35barの深さである(これは矢部氏の結果より1桁大きい圧力領域)。この結果で得られた解放エネルギーを初期値として、プリュームの成長を計算した。ビデオを使って、斜め衝突にも関わらず上からみると比較的symmetricに見えることを示した。HSTの観測とシミュレーションによるプリュームの高さを比較することで、もともとの彗星のサイズを推定することができる。おそらくG核の直径は2km程度であった。シミュレーションからは、観測された重元素は(もともと存在度の低い)木星

固有のものではなく彗星からきたもともとと考えられる。

放出物の【弾道モデル】的な解釈が竹内さん、高田さんの報告から議論された。これはハッブルの画像に見られる(彗星進入方向に見られる)三日月型の痕(再突入によってできた)を説明するのに都合がよい。弾道モデルでは初速10km/sで飛び出せば痕の広がり、雲の高さを説明できる。また、高田さんのシュミレーションでも10km/sというプリュームの上昇速度が得られていた。

三郷工業技術高校の鈴木氏は、岡山天体物理学観測所の91cm反射望遠鏡による可視観測の結果を報告した。OOPS (Okayama Optical Polarimetry System) を装着して、彗星の木星衝突痕跡の、可視分光、偏光撮像を行なった。木星は100ピクセルになる。K核の衝突では100分後に観測を行なったデータから、特徴のある輝線はでておらず、反射率をのぞけば木星大気のスpekトルにはほぼ似ていると報告した。偏光のデータは現在解析中である。

北大低温研の万代氏は、彗星衝突にともなう衝突痕の形成機構について、これが彗星物質の再凝縮で形成されたというモデルに基づいて解析的な見積もりを示した。彗星衝突時の蒸発による質量変化を計算して、材料物質の供給を見積もり、再凝縮で生じた塵粒子のサイズ、数密度を求めた。

九州国際大の浅田氏は、衝突痕の変化から大気構造を決めるパラメータ(特に変形半径)を求める目的で行なった、可視・近赤外での木星表面の長期間の連続観測の結果を述べた。飛騨天文台の65cm屈折鏡(赤羽)、福岡での30cm反射鏡(浅田)、沖縄での40cm反射鏡(宮崎)による1-2カ月の連続観測の結果をまとめた。撮像した画像は衝突核ごとに時間順に整理され、衝突痕形状の時間変化を議論できるビデオ画像で紹介された。K, L, G核では三日月型の衝突痕をはっきりと確認で

きる。傾向として、三日月状暗部の東側が濃く幅広くなり、北部と南部はジェット流に流されて東に移動する。中心の暗斑は東西に引き延ばされて長くなり、場合によっては三日月状暗部と合体して細長くなる。最後に、変形半径を仮定した数値実験の結果を紹介。渦が引き延ばされるという点から、1500kmよりも200kmとしてケースのほうが現象をよく説明すると思われる。

月惑星研究会の堀川氏は、眼視による木星の黒色斑（計12核）の観測結果をグループの成果をまとめて発表した。訓練によりかなり精度のよいデータ（±5分、経度±3度）を眼視によるスケッチで得ることができる。ただし、緯度の精度は良くないためHSTの画像を用いて補正した。衝突痕の運動は、G核を除いてはVoyagerにより観測されたNH₃雲頂の風速とよく一致する、という結果である。

名大の中島氏は、彗星の衝突によって励起される慣性波について理論的な見積もりを行なった。衝突で生じた大きな変位は、回転流体中では慣性波として伝搬する。木星ではその速度は6000cm/s程度で、衝突点からみて赤道と対称の位置におよそ1ヶ月で到達すると考えられる。ただし、乱流による粘性が内部にあると、伝搬する前に減衰してしまう、と予想した。

北大の林氏は、木星の大気表層の力学的構造について、今回の衝突の結果から得られると思われることについて、話をした。これまで、表層の対流圏の構造についてプラントバイサラ周波数N、NH₃雲頂以外の流れの場、H₂O雲の存在などが未知であった。慣性重力波の分散やロスビーの変形半径が求まれば、プラントバイサラ周波数Nはわかるはずである。しかし、慣性重力波、ロスビー波を励起する初期条件がわからない、慣性重力波は（Ingersollらによる湿潤対流層のwaveguideなどを考えない限り）減衰してしまう、といった問

題点がある。衝突でどこまで潜ったかをシミュレーションと比較して議論できるが、これまでの結果ではH₂O雲の強い証拠はない。また、衝突後のブリュームがどのくらい広がるかという見積もり、黒色衝突痕の変化の機構についても話題提供をした。

広島大の寺田氏は、X線天文衛星「あすか」による彗星衝突時のX線観測の結果を紹介した。B、G、H、L、R核の衝突時のデータが得られた。ROSATがK核の衝突時に検出したようなX線の有意な増光は検出することはなかった。ただしマッピングすると木星起源かも知れないシグナルが見える。

名大の鎌田氏は、S-L/9の衝突現象のbackgroundになる通常時の木星がX線によってどのように見えるか、について「あすか」による観測を述べた。以前のアインシュタイン衛星の観測では、イオ起源のプラズマによると思われるX線放射が検知されていたが、「あすか」ではこのような放射は検知できなかった。ただ、木星からやや赤道方面に線状に広がったX線放射を検出しているが、イオの軌道半径よりも大きく、これが木星に付随したものであるかどうかはよくわからない。

名古屋市科学館の毛利氏は、シューメーカー＝レビー彗星の衝突のComputer Graphicsによる動画を紹介した。一般の人にわかりやすく紹介する目的で、彗星が太陽系の中でどのように運動し、木星に捕獲され、接近遭遇で破壊されて、最終的に衝突するまでを、軌道計算、CGの専門家と協力して動画に製作した。これは、プラネタリウムで公開、マスコミで紹介された。講演で上映されたCG Movieは疲れていた参加者の目を覚ます(?)のに十分な素晴らしいもので、どのようにしたら手に入るのかという、質問が早速出された。

講演が終わった時点で、予定を1時間超過していたが、まとめとしての議論の時間を設けた。近

赤外の強い増光が、衝突で解放されたエネルギーによるものなのか、それとも広範囲に広がったプルームの粒子が太陽光を散乱したのものなのか、という議論が再び出された。また、はじめのフラッシュについて、衝突の impact flash と矢部氏のシミュレーションで現われた、プルームの前に飛んでゆく高密度領域による発光と考えれば、複数回の現象を説明できるのでは、という意見が出た。

シンポジウムを終えて

今回のシンポジウム開催にあたっては、会場を担当した名古屋大学理学部地球惑星科学教室のスタッフならびに学生さんには非常にお世話になりました。感謝をしたいと思います。1995年3月の地球惑星科学関連学会合同大会（日本大学文理学部）でも、シンポジウム「シューメーカーレビー第9彗星の木星衝突」（コンビナー代表者：渡部潤一）を開催することになりました。また来年度以降も、今回得られたデータをもとに、木星、彗星、衝突現象の研究を継続していきたいと考えています。日本の惑星科学ではこれまで外惑星はあまり大きく注目されて来ませんでしたが、シューメーカーレビー第9彗星の木星衝突をきっかけに、新たな分野の研究も開拓していきたいと考えています。

3. アメリカ天文学会惑星科学会分科会 (DPS-AAS) のシューメーカーレビー第9彗星のセッション

94年アメリカ天文学会惑星科学分科会 (DPS) の年会の初日 (10-31) は、シューメーカーレビー第9彗星の木星衝突の話題一色であった。ポスターを含めると100をはるかに越える発表。これは、S-L9のものとしては最大である。観測結果がほぼ出そろって提示されたというのが、今回の会合の全体的な印象であった。

そのなかで、いくつかトピックスを挙げたい。やはり注目されるのは、HST（ハッブル宇宙望遠鏡：修理が終わっていたのは本当に good timing であった）と Galileo の観測であった。彗星衝突の HST による観測の中に、W核の衝突で Galileo と同じ時間に同じ green で見ていたものがあった。Hubble でも Galileo で捕らえた衝突フラッシュのシグナルを見ている。衝突地点はこのときには木星の地平線の下。そのためフラッシュが彗星の後を追っかけてきたダストに反射して光ったものを HST は見ていると、Hammel は考えていた。HST は、プルームが成長して大きくなりディスク状に崩壊するようすをきれいに捕らえている。また、黒色の三日月型の模様は徐々に広がっている。この速度は 450m/s で Harrington らが求めた非線形の慣性重力波と調和的らしい。

Galileo は K, N, W 核の衝突フラッシュを観測した。衝突時間が予報より系統的に遅くなったため、Galileo のフラッシュは衝突時間を知る大きな手がかりである。W, N の衝突では 10 秒以下でシグナルは弱くなる。K 核は 40 秒ほどしたので、fireball まで観測していたのとも解釈できる。

KAO（カイパー航空天文台）では G, K, R, W 核の衝突で H₂O を検出した。今のところ、これは彗星から供給されたと解釈されている。一方、HST などの観測では、CS₂, S₂, NH₃ が衝突痕で長期間観測され、これは木星大気の内層から供給されたと考えられる。そのため、衝突のときに彗星は NH₄SH の雲層のレベル（数気圧）まで到達していたと主張された。MacLow は衝突・爆発のシミュレーションと結果との比較から、彗星は小さく (D~500m) エネルギーは 10²⁷erg と主張していた。大気起源の H₂O が見えない、S が見えることより H₂O の雲層までは衝突は到達しない。他に、fireball が期待されたほど明るくない、spot のサイズ、

plumeの高さ、が制約条件になる。

赤外での強い増光の前に2回のフラッシュが存在することは多くの核で確認されている。Keck天文台の観測結果の解釈で、de Paterは、最初のフラッシュは衝突のフラッシュが2000km近い彗星のダストに反射したもの、2回目のフラッシュは上昇したfireballで、それが落下したときの加熱が強い増光になる、と述べていた。ポスターではBosloughらも、2回のフラッシュの間隔が彼らのシミュレーションによるfireball出現までの時間とあまり変わらないことから同様のシナリオを考えていた。

大きな増光が太陽光の反射光では説明できないことは何人かの指摘があった。減光曲線は、はじめは急速だがその後、裾を引く形が多くの結果で現われている。面白かったのは、Nicholsonの話した、PalomarでのR核の近赤外観測の結果。減光のあと、約10分間隔で数回の増光がある。これはブリュームによって引き起こされた大きな振動を見ているのであろうか（筆者の推測）。

ROSATでのX線やUV、IRのオーロラの観測から、衝突地点と磁気緯度で反対側の北極域で、磁力線を伝わって高速粒子がやってきたことが明らかになっている。おそらく、衝突のブリュームが供給したものであろう。しかし、X線は衝突の数分前から強くなっている可能性があり、衝突前に彗星のダストが衝突地点の上空の磁気圏に擾乱を与えた可能性も残されている（これも筆者の推測）。

ただ、衝突体が彗星か小惑星かといった、primitiveな論争もまだあるようである。Mgの強いシグナルが見られたことなどが原因らしい。BennerらはS-L/9の起源が内側のヒルダ群小惑星と考えられることを、軌道計算からもとめているが、吉川は異なる結果を得ている。

今後は、観測結果を整理して、理論の見積もりと結びあわせて、光度曲線や、衝突現象、大気運動を議論していく研究が進んでいくのであろう。