



流れ

Fluids Engineering Today and Tomorrow

流体工学部門ニュースレターNo.18 July 20, 1994

トピックス

木星に衝突する彗星 (ガリレオ探査機との対比)



白井 紘行
(群馬大学工学部)

今年と来年はかなり木星が話題を集めそうである。

今年の話題はすでにマスコミなどで頻繁に報道されているシューメーカ・レビー彗星の木星衝突である。現在少なくとも23個に分裂し、縦ながの数珠つなぎ状になった彗星(写真参照)は木星との衝突軌道にあり、今年の7月21日を中心に前後6日間をかけて全彗星核が衝突すると予測されている。彗星の核は氷の塊と予想されているが、そのサイズや形状は必ずしもよく判っていない。最大の彗星核は球体に換算すると半径約1~2kmでその質量は 3×10^{13} kg程度と予測されている。衝突速度は、軌道計算から木星に相対的に約60km/sで、木星の重力圏脱出速度と同程度である。彗星は木星の黄道面にはほぼ垂直方向から木星に接近し、その衝突位置は、残念ながら、地球から見えない木星の夜側の南半球中緯度と推定されている。衝突点は木星の自転により衝突後約20分で地球から観測可能位置にくると予想されている。

来年の話題は、現在木星に向かって飛行中のガリレオ宇宙船が木星に到達することである。ガリレオ宇宙船は、1989年10月にスペースシャトルを利用して打ち上げられ、すでに金星で1回、地球で2回スイングバイを行っており、1995年12月

に木星に到達する予定である(図1)。ガリレオ宇宙船は重量が約2.5トンで、1977年に木星に接近飛行したボイジャー宇宙船と同タイプである(図2)。宇宙船は木星大気を観測するために大気突入するガリレオ探査機を積載している。探査機は重さが約330kg、先端の曲率半径は30cm強、最大の投影直径は70cm程度である。探査機は木星到達150日前に宇宙船から放出され、その後は全くの慣性飛行を行う。木星大気には秒速約50kmの速度で 10° 以下の浅い角度で突入する。探査機切り放し後のガリレオ宇宙船(母船)は木星をまわる第19番目の衛星になり、その後22カ月間にわたり詳細に木星系を観測する。

木星は太陽からの距離7億8千万kmあり、地球-太陽間の距離の約5.2倍ある。赤道半径は7万1千km、極半径は6万7千kmのかなり偏平な楕円体をしている。質量は地球の318倍、体積は1320倍で、その質量は太陽系の全惑星質量の70%にも

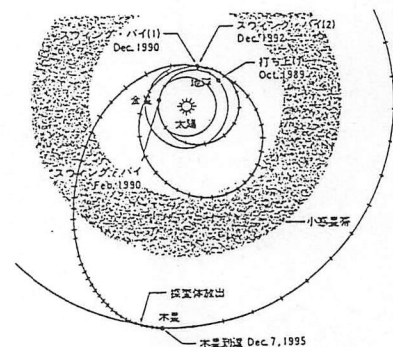


図1 ガリレオ宇宙船の木星への軌道
(途中金星で1回、地球で2回スイングバイを行う)

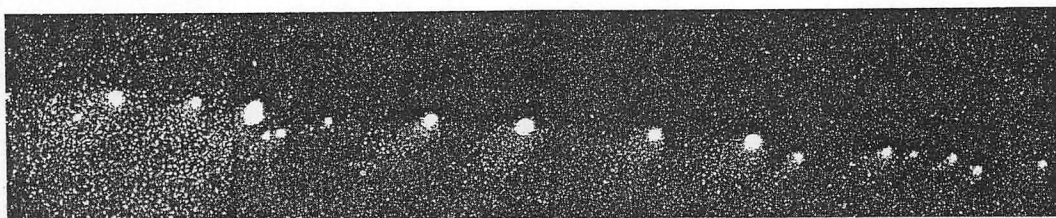


写真 シューメーカ・レビー彗星
(分裂した各彗星に尾が見えている)

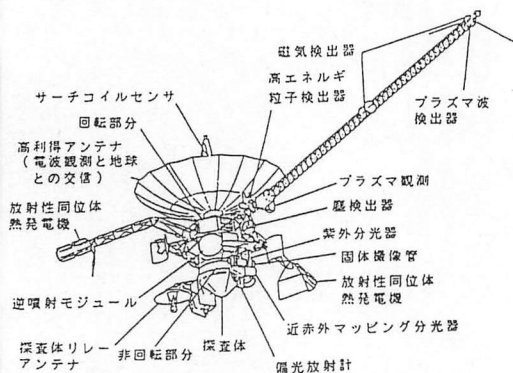


図2 ガリレオ宇宙船の構造
(探査体が木星大気に突入する)

及ぶ(図3)。公転周期は11.9年、赤道の自転周期は9時間50分である。図体の大きさにかかわらず自転が早いこと、ガス惑星であることなどから、横に扁平な楕円体になっている。木星大気は、水、アンモニア、炭素などが含まれていることは知られているが、基本的には原始太陽系の星雲の状態をかなり色濃く残しており、水素とヘリウムの混合気体である。その混合比はボイジャーやパイオニアなどの観測により体積比で水素85%、ヘリウム15%程度とされているが、確定はしていない。大気は地球よりずっと厚く濃密である。いわゆる地表面の位置が不明なので、木星の場合は圧力が1barの所を高度ゼロとし、上方向にプラスの高度を、下方向にマイナスの高度を数える。大気成分は上記のように軽い気体で構成されているので、音速は約900m/sとなる。したがって、突入速度50km/sはほぼマッハ数55に対応する。これから判るように、木星大気が水素とヘリウムの混合気体であることは、探査機的设计者にとってまことに幸運なことである。

流体力学的に見て、彗星の木星衝突とガリレオ探査機の木星大気突入は、極超音速物体の惑星大気突入しかも大量のアブレーションを伴う突入という点からかなり共通点があり、興味がある。彗星と探査機のサイズは大きく異なり、また特に彗星の大きさ、形状、突入角度など不明な点が多く、明確なことは難しいが、探査機のエントリからある程度の熱

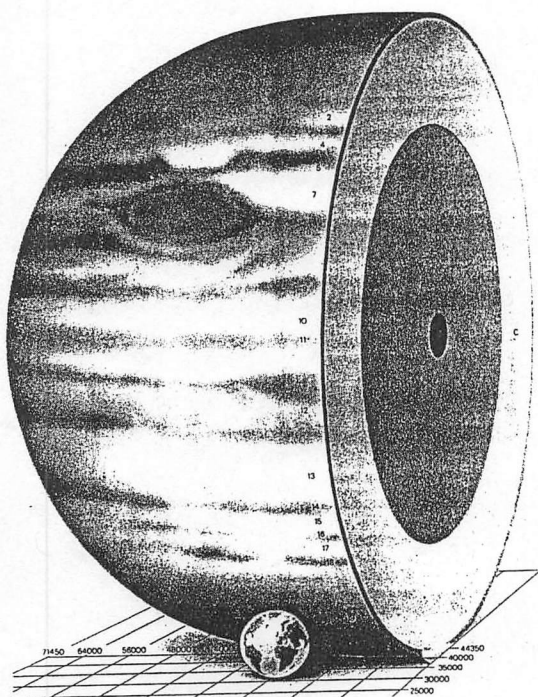


図3 木星と地球のサイズの比較
(木星表面の大赤道に地球が3個入る)

流体力学的現象の推定は可能と思われる。

木星大気に秒速50kmで進入する探査機は高度450km近傍で突入状態に入り、200kmあたりから極めて強い対流と放射による空力加熱を受ける始める。高度130km前後で最大加熱を経験した後、高度100kmで減速のため加熱が急激に減衰する。その間の所要時間はほぼ20秒である。その後、高度100km弱で最大250Gに及ぶ減速度を受ける。最大加熱位置の岐点に対する加熱はほとんど放射加熱で支配される。探査機はその後、パラシュートを開傘し、大気の状態を観測しながら落下し、リアルタイムで木星近傍を接近飛行している母船にデータを送信する。観測は高度120km近傍まで可能と推測されているが、母船が木星から離れすぎて送信不可となるまで、すなわち突入後約1時間でその使命を終えることになる。最大加熱時近傍の衝撃層は、その高温高圧条件のために熱化学的平衡が成立する。計算によると、その条件は高度と大気の組成に強く依存するが、温度は1万6千度で6気圧程度になる。主たる大気成分である水素はほとんど解離し、また電離度も大変高い。放射は主に水素原子からのライマン、バルマー系列などの束縛-束縛放射、水素イオンと自由電子の再結合放射、水素イオンと自由電子の制動放射が支配的であるが、その空力加熱量は対流成分を含めて最大約570MW/m²となり、地球大気圏再突入時のそれより数桁も大きい数値になる。空力加熱を受けている間、探査機は炭素質アブレタの昇華で生成されたアブレーション層により保護される。すなわち、アブレーション層が物体に到達する放射光を効率よく吸収することにより探査機に対する加熱量を軽減するのである。

木星大気と衝突する彗星の核は、衝突前に木星の潮汐力により細分化されなければ、その前頭部におそらく厚み50-70m程度の巨大な衝撃層を作ることになる。この厚みはガリレオ探査機の3000倍にもなる。衝撃層の条件は、熱化学的平衡計算から温度は3万度程度、圧力も12気圧に達することが予測される。彗星の核表面に到達する放射熱流束は、(厳密な計算も可能だが) 衝撃層の高温と層の厚みから推測すると、ガリレオ探査機の数千倍にはなると予測され、その衝撃層からはきわめて強い放射光が発せられることになる。この放射熱流束が氷の塊の表面に入ると当然ものすごい規模で氷は蒸発し、その表面に比較的低温度の分厚い水蒸気、酸素、水素ガスなどからなるアブレーション層を形成すると思われる。その厚みは探査機の炭素よりずっと蒸発しやすいことや加熱量の強さから考えて5m近くにはなると想像される。この厚いアブレーション層が放射による熱流束をどの程度遮断できるかは厳密な計算によらなければならないが、十分な遮蔽は無理と推定される。その理由は、衝撃層からの放射光はプラズマの光学的厚みが極めて厚いことから、その主要部分ではほとんど黒体放射に近い連続光になるのに対して、吸収は酸素や水素原子の光電離過程によるもの、酸素分子による紫外領域の吸収、水素原子による原子線の吸収などかなり有効なプロセスもあるが、完全には連続光の入射を防ぎきれないからである。したがって、彗星の核は衝突後、衝撃層から極めて明るい光を放出しつつ、また急速に核の質量を減じながら下降していく。彗星はその巨大な質量のためかなり低高度まで生存できると思われるが、恐らくはその途中の大きいマイナスGで破碎されるか、大気深部の高圧力により分解されながら大気中を下降し、最終的には雲散霧消すると思われる。衝撃層から特に強い放射が観測されるのは、突入の軌道にも関係するが、せいぜい数秒程度と予測されるので、衝突位置の関係上、地球から直接その発光を観測することは不可能である。衝撃層で高温に加熱された木星の大気成分は後流領域に、またアブレーション層で氷が蒸発、解離して発生した比

較的高温度の水蒸気、酸素、水素などの気体は彗星の側面を經由して背後の再循環領域に取り込まれ、やがて下流に流れ去る。彗星背後は発熱過程の電離再結合あるいは解離再結合反応が支配的であることから、広大な領域で十分冷え切らない気体が比較的弱い放射を放ちながら長く尾を引くと予想されるが、この放射の測定も大変難しいと思われる。

彗星と惑星の衝突は、人類史上まことに希有の事件であ

り、それだけに多くの天文学者が起こり得る異変について雑多の予言をしている。世界各国の観測態勢も整えられ、直接的に異変の証拠を得ようと努力している。しかし、厳密で定量的な予測、あるいはデータの解釈には熱流体力学的過程の計算が不可欠であり、また十分可能であると思われる。ガリレオ探査機については、その基礎的開発研究に参画した筆者としては、完璧な成功を心より願っている。