

宇宙プラズマ物理について

－爆発だらけの宇宙－

柴田一成

京都大学大学院理学研究科附属天文台

本テキストは、京都大学理学部「最先端科学の体験型講座－目指せ未来の科学者」講演会（2008年8月）において高校生向けに話した講演の記録を元に少し手を入れたものである。したがって内容は（一見）やさしいが、プラズマ宇宙物理学の最先端の内容を扱っている。プラズマ夏の学校では、この内容をできるだけプラズマ物理学の言葉で解説したい。

1. はじめに

現代の天文学、宇宙物理学は、宇宙は爆発だらけ、ジェットだらけということを明らかにしました。これは考えてみるとすごいことですね。実は19世紀までの人類というのは、宇宙は永遠不変で、静かだと思っていました。毎晩、夜空を見上げたら、毎日ほとんど変わらないですからね。永遠に宇宙は続くと。それが人類の考えだった。実は、あのアインシュタインですら、そう思っていた。ですから彼は、彼の発見した一般相対性理論を、かっぴん変えてしまったんですね。人生最大の過ちを犯したと後で後悔しています。それぐらい人類にとっては、宇宙は永遠不変という考え方は根強かったわけですね。

ところが、20世紀になりまして、宇宙が膨張していることがわかり、宇宙そのものがそもそも大爆発で始まった、ビッグバンで始まったということがわかりました。さらに、電波とかX線とか赤外線とか、人間の目に見えない電磁波で宇宙を観測してやると、今言いましたように、宇宙は爆発だらけであることがわかったんですね。しかも、単なる球状に広がる爆発じゃなくて、すごい不思議なジェットがいっぱい噴出している、それが宇宙の真の姿であるということが分かってきた。僕らは、そういう宇宙に生まれた。だから、ひょっとしたらですね、今日は時間があんまりないので詳しく話さないんですけども、僕らがここにいるのも、こういう爆発だらけの宇宙であるためかもしれないですね。そんなこともちょっと考えながら、皆さん聴いてください。

2. 銀河の爆発

まず、銀河の爆発というところから話をします。この始まりは、1960年代、「クェーサー」というなぞの天体の発見に始まります（図1参照）。

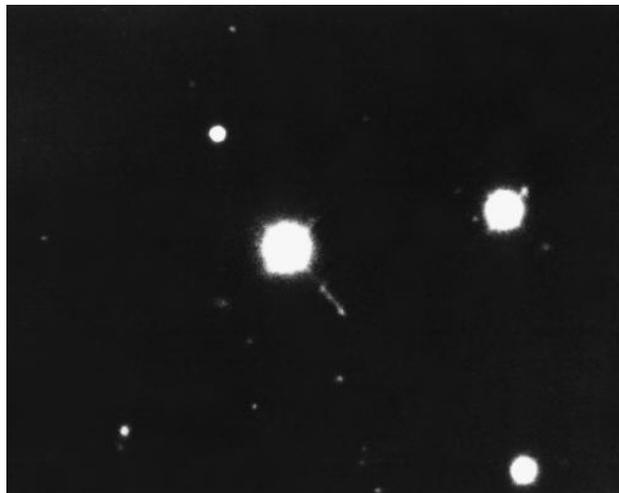


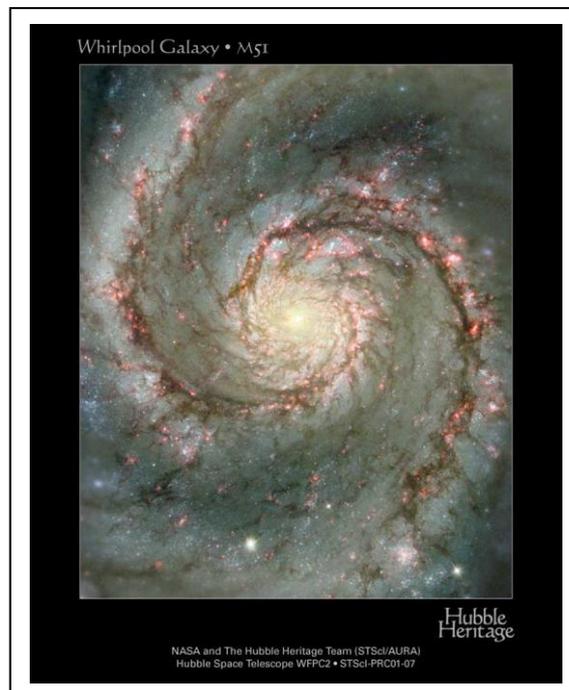
図1 クェーサー3C273
(可視光観測)

これは、日本語で「準星」といいます。星に準ずる天体、星のように見える。ところが、距離を測ってみると、なんと25億光年もあることがわかりました。この周りで見えているのは、普通の星です。一見、全然変わらない。にもかかわらず距離が遠い。これは何を意味するのでしょうか？ 普通ここら辺で見えている星っていうのは、たかだか数光年とか数十光年の距離にしかならない。ところが、クェーサーは、1億倍も遠いんですね。ということは、ものすごく明るい、ということです。普通の星の明るさの1億倍の1億倍の明るさ。明るっていうことは、エネルギーをいっぱい放出しているということです。だから、クェーサーは、実はビッグバン以後の最大の爆発、宇宙最大の爆発であるということなんですね。

クェーサーの正体が永らく分からなかったんですが、よく調べていくと、実は銀河の中心核であることがわかってきました。銀河というのは何でしょう。いちばん身近な例は天の川です。京大の飛騨天文台へ行きますと、すごくきれいに見えます。見たことある人、どれくらいいますか。手を挙げてください。ああ、少数ですね。ぜひ見てくださいね。感動します。この天の川の正体というの、実は1,000億もの星の大集団です。光ってるのは、全部星です。星が充満してるわけですね。そういうものを、一般名称として銀河といいます。天の川は、「天の川銀河」または「銀河系」と呼ばれます。

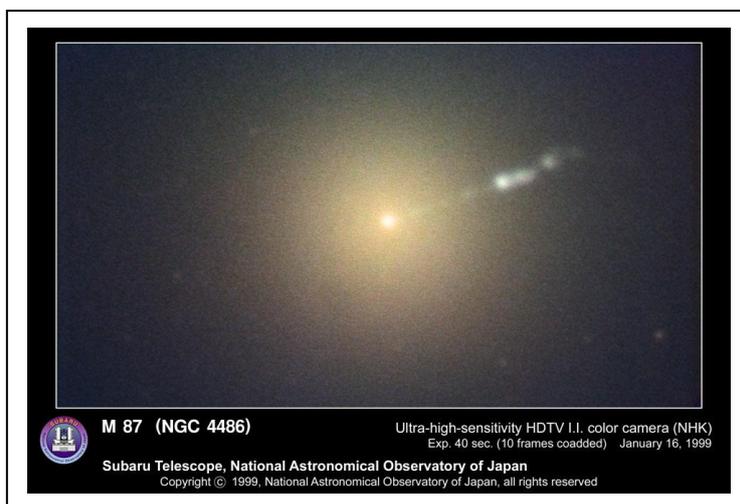
われわれは、この銀河系の中にいるのでこんなふうに見えてるんですけども、円盤状になってるんじゃないかと考えられています。例えばわれわれのお隣にアンドロメダ銀河、M31というのがあります。こういう円盤状をしている。それから、また別のM51というのがあります(図2)。子連れ銀河として有名です。こういう非常にきれいな渦巻きをしていますね。ここで注目していただきたいのは、この真ん中です。これは中心核といいます。見ただけでわかりますね。異様に明るい。この中心核が、なぞに満ち満ちてるんですね。

図2 渦巻き銀河M51
(ハッブル宇宙望遠鏡の
可視光観測による)



このような銀河（中心核が異常に明るく光っている銀河）で、最初に発見されたものが、楕円銀河、M 8 7です（図3）。これは形は全く丸い。楕円型銀河の一種ですけれども、不思議な、ものすごい明るい中心核がありまして、そこからこんな突起が出てます。これが、実はジェットっていうものですね。ジェットというと、ジェット旅客機のジェットと同じようなものなんですけれども、なかなか皆さん分かってもらえないので、一言で書きますと、細く絞られた高速のガス流ということです。猛スピードでガスが、まるでホースで水をまくようにですね、シューッと飛んでいくわけですね。

図3 楕円銀河M 8 7
とジェット
(すばる望遠鏡の
可視光観測による)



ここにちょうど、非常にいい、アメリカの Dr. J. Stone が作ったコンピューター・シミュレーションがありますから、これを見てください（図4）。この場合、超音速で噴出して、このジェットの中にいっぱい衝撃波というものができます。この先端も衝撃波です。衝撃波っていうのは、超音速ロケットが飛ぶときに、そのすぐ前（と周り）にできる音の壁のことです。われわれはそれに当たると吹き飛ばされるとかというような、そういうすごいものです。

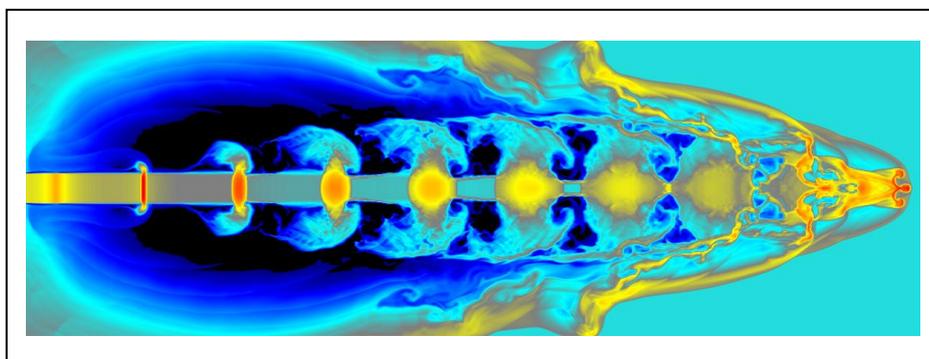


図4 ジェットの流体シミュレーション (J. Stone)

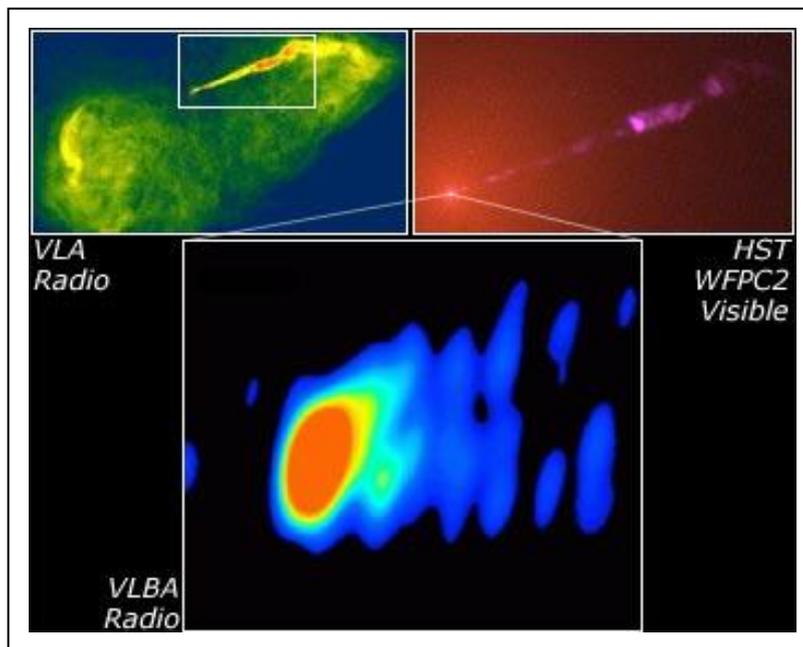
こうやってさっきのをもう一度見ますと、なんか形が似てますね。ちなみに、わたしの世代は特によく知ってるんですけども、ウルトラマンの故郷はM78ってというのは、皆さん、聞かれたことあるかもしれません。あれ、作者がですね、実はM87と書くつもりで、間違えて78って書いてしまった、ということだそうです。そういう、ウルトラマンの故郷にふさわしい激しいジェットを噴き出してるという、そういう天体です。

これが最近いろいろ分かってきまして、電波で見ると、実はこのジェットの反対側にもジェットが出てて、それが銀河間空間のガスにぶつかって、こんなふうにもものすごいところで光っています（図5）。それから、どんどん中心が詳しく分かってきました。ジェット全体の大きさは30万光年ぐらいの、銀河よりも大きなものなんですけども、銀河中心の3光年ぐらいのスケールでも、やっぱり同じ方向にジェットが出ています。これはすごいことですね。1万倍大きくなっても、同じ方向にジェットが出ている。こういう活発な銀河のことを「活動銀河」といいます。こういう活動銀河の中心核のことを、特に「活動銀河核」というふうに呼んでます。それで、そういうジェットののことを「活動銀河核ジェット」というわけです。

図5 M87の

最新観測

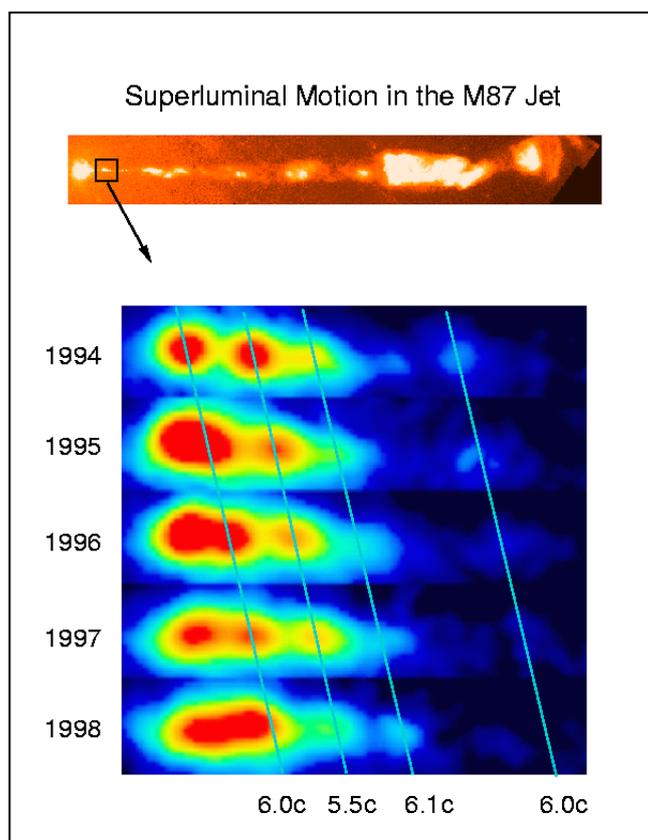
{左上：電波、
右上：可視光、
下：電波干渉計
による}



不思議なことがいっぱいあります。例えば、このジェットの速度を計ってやると、見掛け上、光の速度を超えてるように見えるんですね。図6を見てください。これは5年かけて観測したジェットの電波像を年毎に並べたものです。さっきのコンピューター・シミュレーションのジェットに多少似てますね。この観測からジェットの見掛けの速度が光速の5.5~6.1倍であることがわかりました。もちろん世の中には、今のところ光より速く動く物質はないので、これはあくまで見掛けの効果です。光の速度に近いスピードでわれわれ

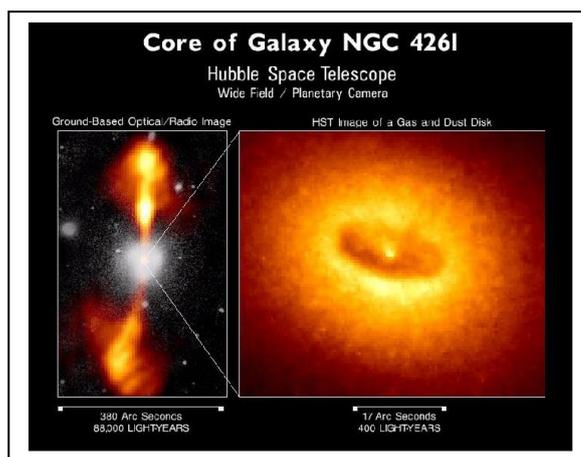
に向かってると、一見、光よりも速く動いてるように見えます。しかし、大事なことはですね、光の速度に非常に近い速度で噴き出してる、ということです。驚くべきことに、光の速度の99%もの速度で噴出しているんですね。こんなのが非常に珍しいかというとなんぞ全然珍しくなくて、もういっぱい、どんどん見付かってます。詳しく観測すればするほど、ちょっと活動的な銀河を調べていくと、必ずそこに猛スピードのジェットが噴出してるのがわかってきました。

図6 M87ジェットの
超光速運動
(電波による観測)



そんな感じですね、続々とジェットが見付かっています。図7の銀河の場合、ハッブル宇宙望遠鏡で中心付近をどんどん拡大していくと、なんと回転する円盤が見えだしました。その中心付近からやはり何か噴き出してるように見えます。

図7 銀河の中心に見つかった
回転円盤
(ハッブル宇宙望遠鏡
の可視光観測による)



活動銀河の中心核は一体何だろうかと、長い間、発見されて40年以上もの間、議論されてきました。ある人は、真空から物質が生まれてるんじゃないかとか、エネルギーが生まれてるんじゃないかとか、とんでもないことを言った人もいました。実際どうだったかといいますと、ちょっと驚きなんです。いや、相当驚きなんですけども、日本の電波天文学者が活躍しまして、中心にはですね、なんと超巨大ブラックホールがあるということを見つけたんですね。

ブラックホールっていうのは、1930年代、チャンドラセカールというインド生まれの天才が英国にいたときに理論的に予言したんですけど、当時の理論天文学の大御所のエディントンが、「そんなばかなことがあるはずがない」と英国の学会で直ちに否定したんです。それで若き（まだ20代半ばの）チャンドラセカールは失意のうちにアメリカにわたりました。そういうエピソードがあります。けれども、現代物理学を応用したら、結局ブラックホールは存在するに違いない、存在しなければならない、ということがわかりました。さらに1970年頃から始まったX線天文観測で、ブラックホールとおぼしき不思議な天体が続々と発見されました。天文学者もブラックホールを受け入れるのに40年かかったんですけどね、今ではほとんどの天文学者はこれを確信しています。それでチャンドラセカールは1983年についてノーベル賞をもらいました。

銀河の中心にブラックホールがあると考えられた理由は何でしょう？ その理由は極めて単純です。この銀河中心核からわずか0.1光年の空間に、太陽質量の1,000万倍もの質量が集中していることがわかったのです。そういう質量は、星の形を保てない。必ずぶつかって、そのうちブラックホールになってしまいます。そういう間接的なことなんですけども、銀河の中心に1,000万太陽質量のブラックホールがあるということが確かとなりました。発見した日本の電波天文学者たち（中井直正、三好真、井上允）は直ちに、日本の物理学の最高峰の仁科賞を受賞しました。彼らはそのうちノーベル賞をもらう可能性もあるんじゃないかと、わたしはひそかに思っています。

さて、ブラックホールというのはあらゆるものを吸い込むはずなのに、どうして逆のジェットが噴出するのでしょうか？ これがなぜなんですかね。皆さんもね、ぜひ考えてください。

3. 星の爆発

はい、次にいきましょう。今度は星の爆発です。まず、星の最後の大爆発、超新星爆発。図8は、いちばん最初に超新星の残骸であるということが分かった、かに星雲、M1の素晴らしい写真です。1930年代の写真と最近の写真を比較しますと、膨張してるのがわかります。秒速数千キロメートルで膨張しています。それを元にたどると、1,000年ぐらい前に爆発したはずだとわかりました。

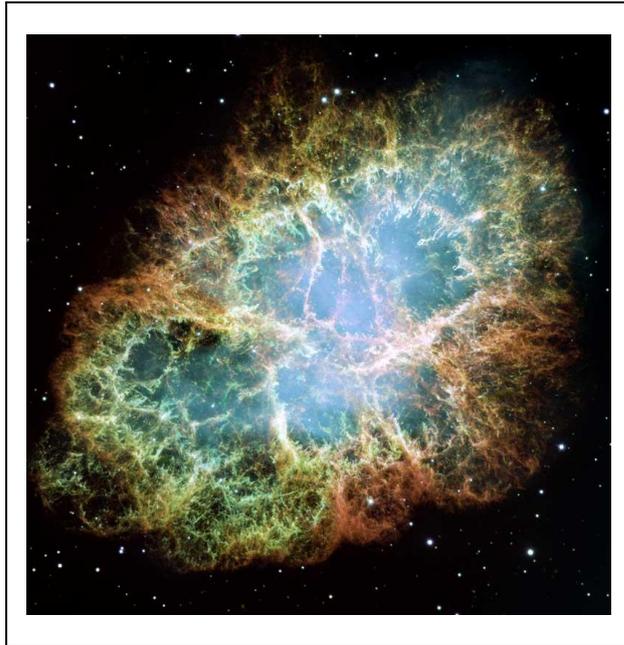


図8 かに星雲の可視光写真
(ハッブル宇宙望遠鏡)

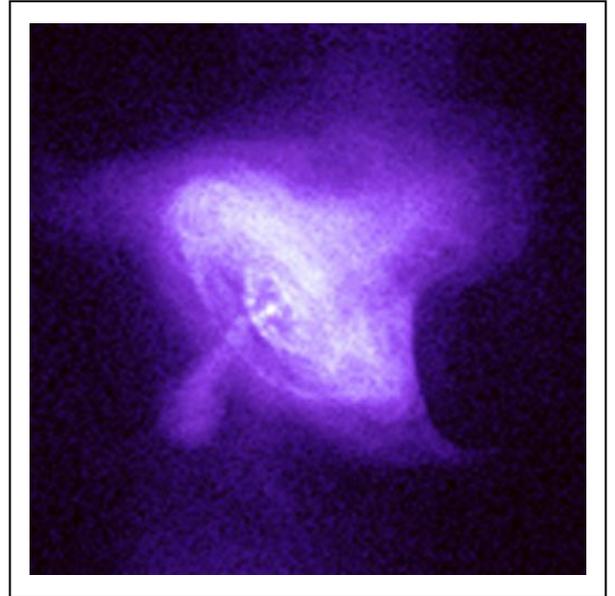


図9 かに星雲のX線写真
(チャンドラ衛星)

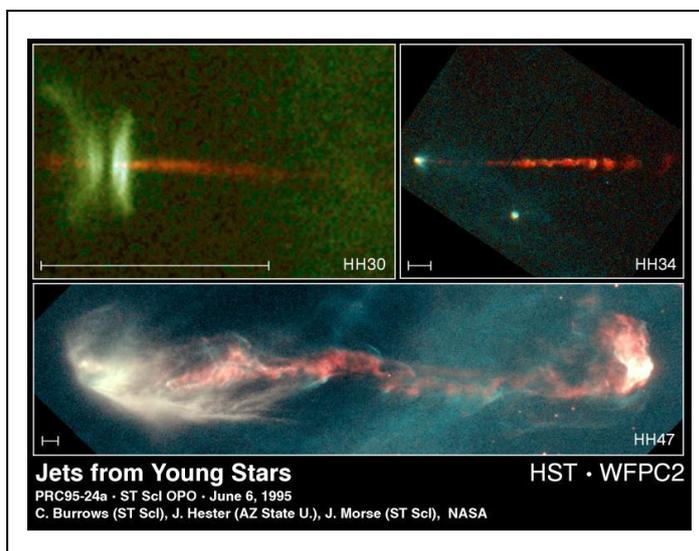
こういうことが分かってきたのは20世紀の初めごろでした。ところがですね、ヨーロッパには昔の記録がなかったんですね。超新星爆発が起こったらものすごい明るくなって、だれの目にも分かるはずなのに、ヨーロッパには記録がなかった。ところがですね、日本にあったんですね。藤原定家の『明月記』という日記で、そこに書いてあるんですね。「客星出現」と。客星っていうのは、突然星が現れた、お客さんの星だと。それが、大体、今のかに星雲の方向に木星ぐらいの明るさで出たということが書いてあります。実はこれが、20世紀の初めに欧米に伝えられて、かに星雲が1,000年前の爆発でできた残骸であるということが分かったんですね。だから、天文学にもものすごい大きな貢献をしてるんです。この藤原定家の『明月記』は。

超新星爆発もまだ実は完全に解明されてないんですけども、最近、X線天文衛星でかに星雲の中心付近を拡大写真撮ってみたら、なんとジェットが出てることがわかりました(図9)。中心近くで光っている小さな星は中性子星です。星全体が原子核みたいな星です。猛スピードで自転している。しかも、ものすごい、宇宙で最も強い磁場を持って回転している。そういうところからジェットが噴出しているということが分かってきました。

それから次に、今度は、生まれたばかりの星、原始星でもジェットが見つかったんですね。皆さんご存じのオリオン座の三つ星の下にオリオン大星雲っていうのがありまして、すごくきれいな星雲ですけど、ここで、実は今でも星が生まれつつある。最近、ハッブル宇宙望遠鏡で素晴らしい写真がいっぱい撮られてまして、これを拡大すると、星の赤ち

やんがいっぱい見えてきました。今現在、星が生まれつつあり、しかも惑星ができつつある。そういうのがいっぱい見付かってきた。そういう星の赤ちゃん（原始星といいます）を詳しく見てやると、なんとこういうところからもジェットが噴出してるというのが分かってきました。図10の左上の図を見てください。これなんかはですね、シルエットでこういうふうには隠れてますけど、実は円盤がある。すごく濃いちりがいっぱいある円盤。まさにこういうところで惑星が生まれつつあるのですね。ですから、僕らの太陽系の昔を見るわけです。

図10 原始星ジェット
(ハッブル宇宙望遠鏡の
可視光観測による)



このジェットっていうのは、もう大爆発ですね。スピードは、銀河のジェットに比べると大したことはないんですけど。秒速数百キロメートル。われわれの感覚からしたら、東京まで2秒ぐらいで行く、そんなスピードですから、猛スピードなんですね。そういうすごい大爆発を起こしつつ、星は生まれる。そういう時代に僕らの地球はできた。あるいは生命も、そういうとこで生まれてきた。それからもう一つ、このメカニズム。これは、もちろんまだまだ分からないことがいっぱいあるんですけども、さっきのですね、活動銀河核のジェットと形がそっくりなんですね。図11と図12を見比べてください。こうやっていくと、どっちがどっちか分からなくなる。大きさは1万倍以上違う。スピードも全然違う。にもかかわらず似てるということは、共通のメカニズムがあるんじゃないかと想像されます。

図11 原始星ジェット
(HH1-2, 可視光観測)
長さ約1光年、速度
数100 km/s

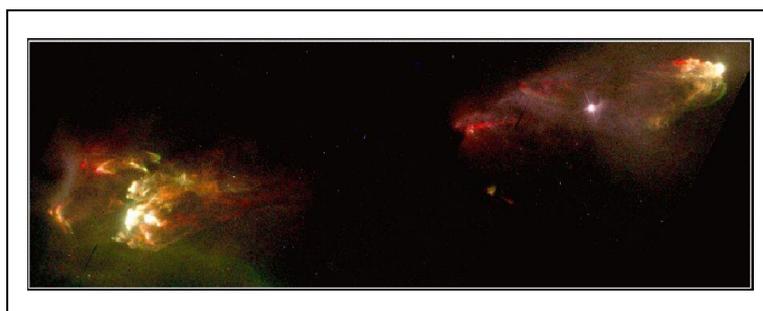
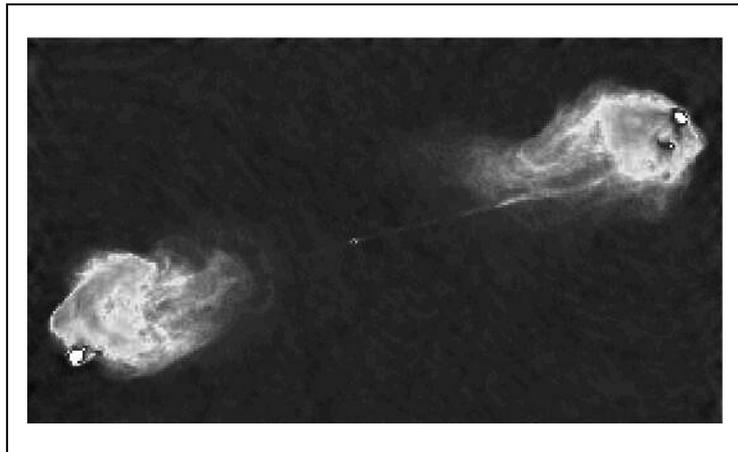


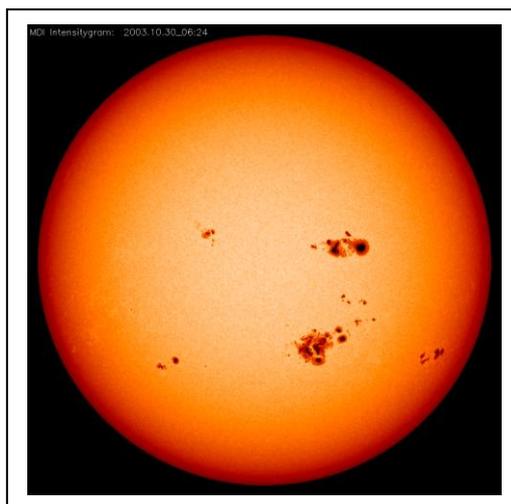
図 1 2 活動銀河核
ジェット
(はくちょう座A, 電波観測)
長さ30万光年、
速度は光速の99%程度



4. 太陽の爆発

それで今度は、われわれに最も身近な太陽ですね。太陽というのも星の全く典型的な、平均的なものですが、その太陽も、驚くべき爆発を起こしてることが分かってきたんですね。図13は可視光で見た太陽です。もちろん望遠鏡で太陽を見ないでください。目がつぶれますからね。ちなみに2009年は、ガリレイが黒点を初めて望遠鏡で見て400年の記念の年でしたけど、ガリレイは、晩年失明したという話です。あれは、黒点を望遠鏡で見たんじゃないかという説がありますね。この黒点が、すべての爆発の始まりです。

図 1 3 可視光で見た太陽
(SOHO/MDI)



黒点の正体は、巨大な磁石、磁場ですね。磁石というのは、ご存じのようにNとSが対になっていますけども、まさに黒点も二つ対になって現れまして、しかも、上空の彩層というところを特殊なフィルターで見てやると、これをつなぐように、まるで棒磁石の砂鉄の分布のように筋模様が見えるということで、黒点が磁場であるというのは、20世紀の初めに確立しました。そういうところですね、実は大爆発が頻繁に起きます。図14は飛騨天文台で観測された爆発です。それをフレアといいます。これは、1時間以上光って

ました。太陽に比べれば小さいですけども、太陽は地球の 100 倍ぐらいですから、これは地球の 10 倍以上大きい。エネルギーにすると、もうとんでもない、水爆 10 万個から 1 億個ぐらいと。まだまだ分からないことがいっぱいあるんですけども、少なくとも、磁気エネルギー、磁場のエネルギーが原因であるということは分かりました。

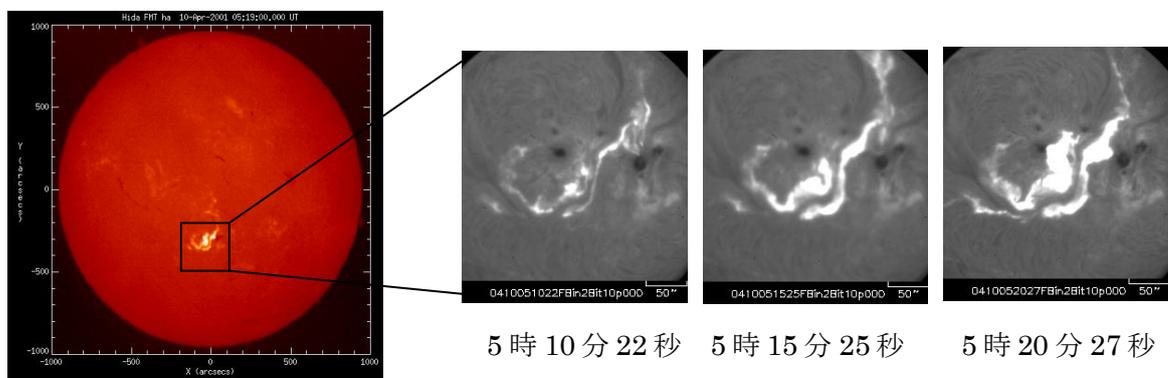


図 1 4 太陽フレア（京大飛騨天文台の $H\alpha$ 単色像観測による）

図 1 5 は飛騨天文台で撮られた「プロミネンス噴出」の $H\alpha$ 単色像です。プロミネンスとは、太陽の縁で雲のように静かに浮かんでいる冷たいガスのかたまりです。これがあるとき突然噴出を始めます。そういうときに、フレア（ $H\alpha$ 線や X 線の増光）が起こることが知られています。これも磁気力によることは間違いないんですが、しかし、どういふふうに磁気力が働いているのか、というところが難しいんですね。まだまだ謎がいっぱいあります。それを解明しようと研究を続けています。

図 1 5 プロミネンス噴出
（京大飛騨天文台の
 $H\alpha$ 単色像観測による）



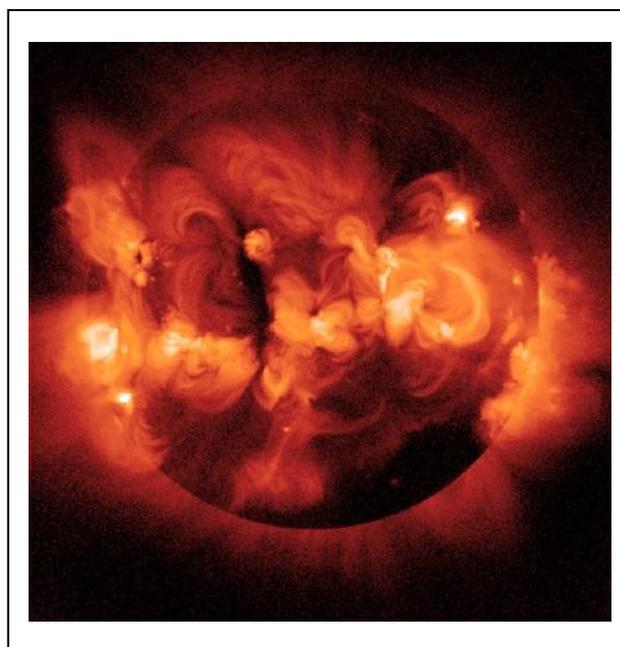
さらにその外側には、日食のときに見えるコロナがあります（図16）。これは非常にきれいで、感動するんですけども、実はこのコロナもですね、なんと100万度もの超高温状態になっています。これは今から60年ほど前に発見されたんですけども、その発見者の一人に、わたしが今います花山天文台の3代台長の宮本正太郎先生がおられまして、彼が、実はこの100万度という温度を世界で初めて正確に計算したんですね。意外と知られてないんですけども。

図16 太陽のコロナ
(2006年3月29日の
皆既日食、エジプトにて)



実は、コロナがなぜ100万度になってるかという、その加熱機構がまだ分かってないんですね。太陽っていうのは、今さっき言いました、宇宙の中で最も平均的な星です。あらゆる星の周りにこういう100万度のコロナがあるということが分かってきてるんですけども、太陽ですら分かってないってことは、天文学、実は僕たち、ほとんどまともなことは分かってないんですね。星のことは理解してないということで、コロナは天文学最大のなぞの一つです。

図17 X線で見えたコロナ
(ようこう衛星
軟X線望遠鏡による)



こういうコロナやフレアの謎を明らかにしようということで、今から 20 年前に日本が、欧米と国際協力で「ようこう」という名前の人工衛星を打ち上げて、X線でコロナの連続観測を始めました。図 17 を見てください。これは X 線で見た太陽コロナの姿です。明るく光っているのは、これは全部爆発、フレアです。いろんな筋模様が見えてますが、これは全部、磁力線の形を表してます。ですから、コロナにとって、磁場が重要であるっていうのは一目りょう然ですね。そこまで今、分かりました。ただ、磁場があったらどうして 100 万度になるのかっていうところが、物理の問題として、まだ解明できていない。僕は、このコロナの X 線映像を見たとき、ほんとびっくりしましたね。ふだん静かだと思っていた太陽が、こんな爆発だらけなのかと、びっくりしました。そういうとこに僕らは住んでるわけですね。これは X 線だから、もちろんもろに浴びたら被曝するわけだよ。幸い、地球には厚い大気があるので、X 線は届かないですけども、宇宙飛行士はほんと危険な職業であるというのが見ただけで分かりますね。

フレアの正体、どこまで分かったか。さわりを少しお話しします。図 18 をご覧ください。図 18 の左図は飛騨天文台で観測したフレア。二つ光ってるのは、N 極と S 極に対応してます。X 線で見てやると、その上空の形が分かりますね。こんなふう。これを拡大しますと、N と S をつなぐようにループがある。磁力線がつながってる。ですから、エネルギーの源は上からやってきたということが、これで予想されるんですね。

図 18 フレアの正体
左図：H α 像
真中：X 線像
右図：モデル
(磁気リコネクション
・モデル)

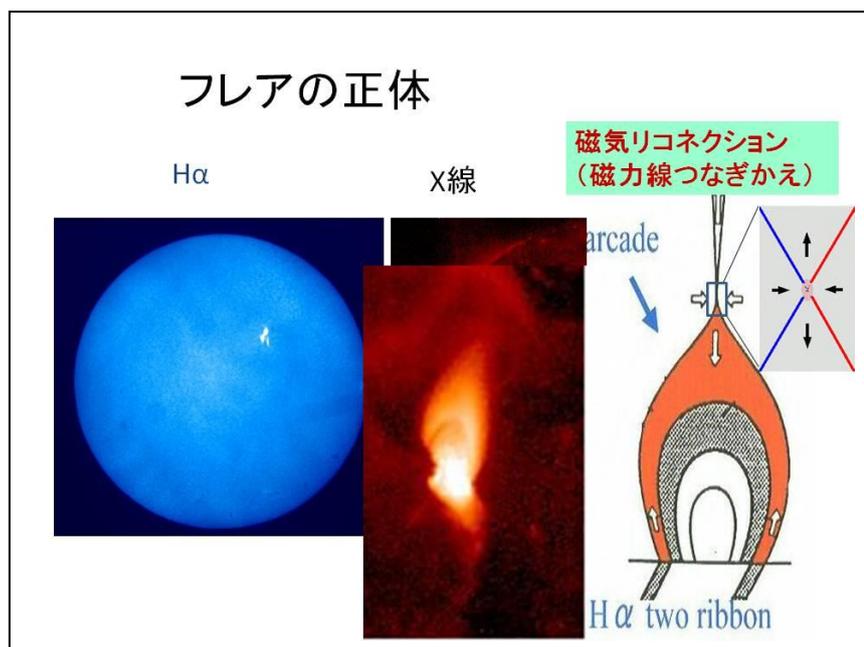
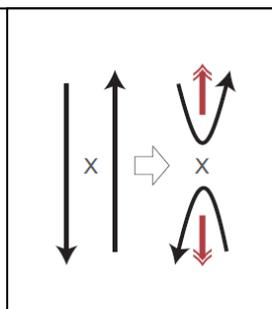


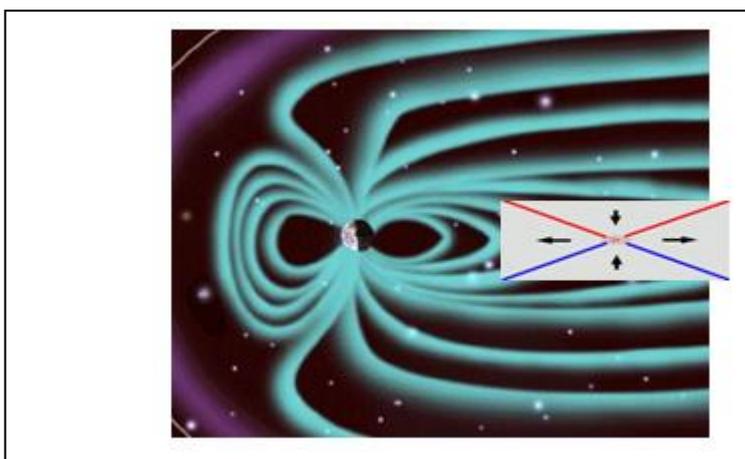
図 19 リコネクションの概念図。
磁力線がつなぎかわると
磁気張力でプラズマが激しく加速される



実際、太陽研究者はですね、もう今から 50 年ほど前から、磁気リコネクション、磁力線つなぎ換えというメカニズム（図 19）を提唱していました。ここに書いてますように、逆向きの磁力線が、何らかの原因でつなぎ換わるんですね。こういう太陽みたいに高温のプラズマ中の磁力線っていうのはゴムひもみたいな性質を持っています。つなぎ換わると突然、ゴムひもを引っ張って手を離れたときのようになります。ゴムひもを引っ張って手を離すと飛んでいきますよね。それとおんなじです。パチンコ効果で、上下に飛んでいきます。下に飛んでいくとついにはぶつかって、熱に変わり、二つ光らせる。上に飛んでいくやつが、さっきのプロミネンス噴出ですね。こんなふうにして起きてるんじゃないかっていうのが予想されてました。とくに、こういうふうにして起きてる高温、X線構造ができるだろうと予想されてました。そしたら、見事にそれが見付かって、それで確立したんですね。これは、日本の研究者が成し遂げた、ものすごい大きな功績です。

実はこのリコネクションというのは、太陽に限らず、地球の磁気圏でも起きています。図 20 が地球の磁力線です。太陽の反対側に、ここでやっぱりリコネクションが起きて、エネルギーが北極・南極に入ってオーロラが起こるんです。オーロラっていうのは、北極・南極同時に起こるんですね。実際、土星のオーロラが南北の極で同時に起きている様子がハッブル望遠鏡で観測されました。オーロラが同時に起きてるっていうのは、ほかの惑星で今、どんどん見付かってます。

図 20 地球磁気圏
と磁気リコネクション



それから、さっきプロミネンス噴出が上に飛んでいくと言いましたけども、この飛んでいった噴出物はどうなるのかといいますと、それを示した画像が図 21 です。中心の白丸が太陽です。やっぱり人工衛星による観測です。宇宙空間で太陽を円盤で隠してやると、ほとんど真空ですから、空がないわけですから、太陽を隠すと、星が見えるんですね。コロナが見える。日食が人工的に作れる。これを見ますと常時ガスが流れ出しているのがわかります。これを太陽風といいます。それから、さっきのプロミネンスのなれの果て、コロナ質量放出と呼ばれる巨大なガスの塊がしょっちゅう飛んでいくのがわかります。これも、わたしは初めて見たときびっくりしました。

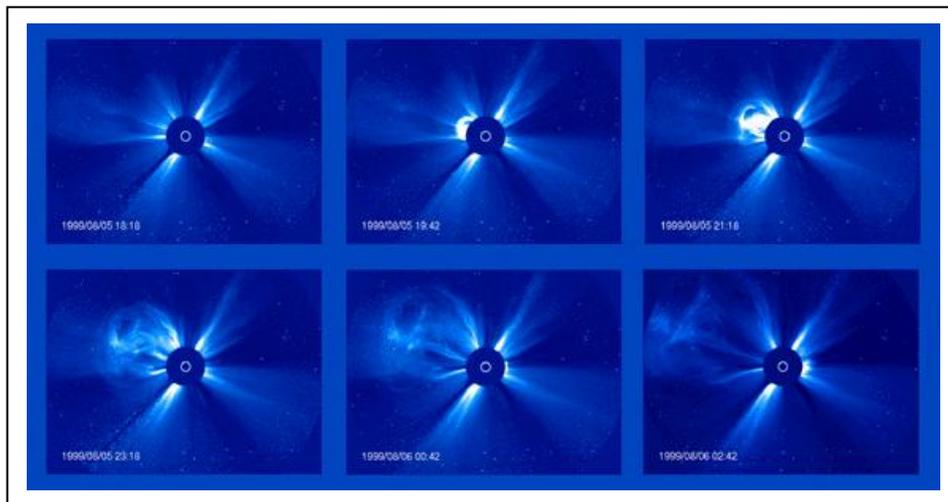


図 2 1 太陽のコロナ質量放出（CME）（SOHO衛星の人工日食観測による）

ここにスピードが書いてあります。秒速100～数千kmのものすごいスピードです。質量もものすごい。こんなのが地球にぶつかったらどんなふうになるんだろうかと、心配してたんですが、それがほんとに起きたんですね。2003年に太陽で14年ぶりの大爆発が起きて、それが地球に飛んできて磁気嵐などを引き起こし、いっぱい被害を起こした。人工衛星は壊れるわ、通信が届かなくなるわ、船の航行システムは異常になるなど起こりました。今だったら携帯が繋がらなくなるとかね。もちろん宇宙飛行士は被曝のおそれがあるので危険なんですけども、幸いそういう被害はなかったですが、1989年の磁気嵐のときには、地上の電力網まで壊れて、カナダのケベック州全体が停電になったりしました。ちょっとこの話は、今日詳しく話している時間はないんですけども、太陽の表面で起きてるすごい激しい爆発は、僕らの地球にもものすごい影響を及ぼすことがあるということだけは皆さん覚えておいてください。

そういうことを解明しようということで、2006年に日本がまた新しい人工衛星を打ち上げました。打ち上げ後、「ひので」衛星と名付けられました。日本の太陽研究っていうのは、世界の最先端を行ってるんですね。図22のような画像まで撮れるようになりました。これは、可視光で見た太陽像です。左図では小さな黒点が見えますね。地上で観測すると、空気の揺らぎで、せいぜいこれぐらいしか見えないんですね。ところが、宇宙空間に行くと真空なので、表面のほんとの模様が見える。しかも、いつも見える。右図を見てください。さらには右下図が太陽の表面の正体ですね。表面は、もう対流、乱流状態になっています。

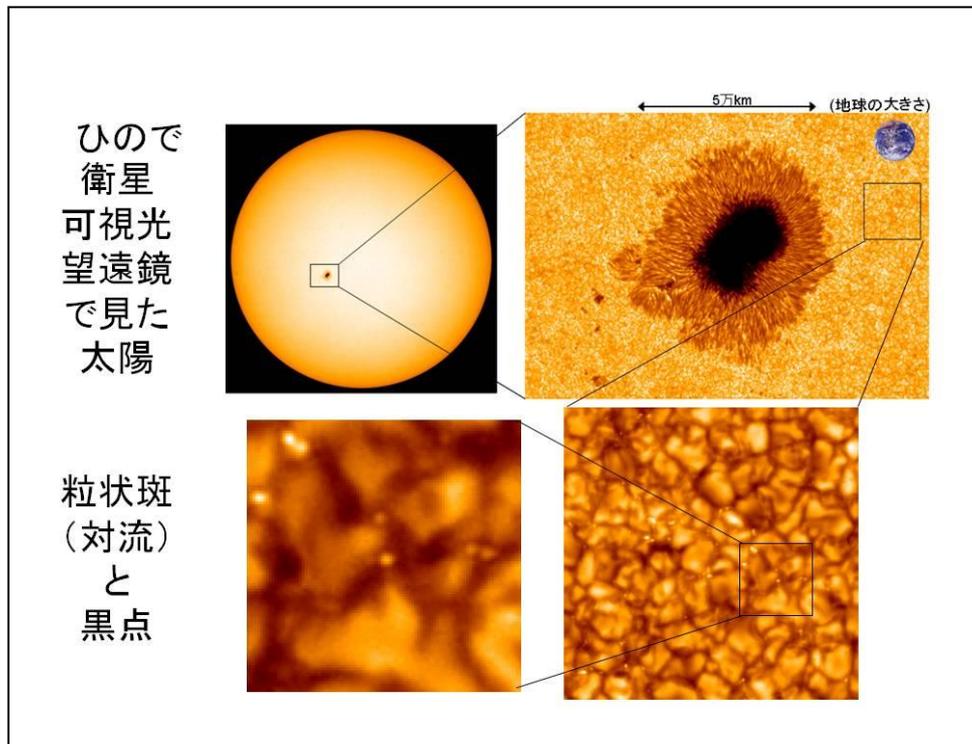


図 2 2 ひので衛星可視光望遠鏡で見た太陽表面（粒状斑（対流）と黒点）

黒点の筋模様もやっぱり、全部磁力線で、しかもこの磁力線っていうのは、この対流に非常に激しく揺らされてる。それが、どうも太陽の活動の始まり。爆発のエネルギーがこーやってため込まれてるんじゃないかということが、だんだん見ただけで分かるようになりました。地上で観測すると 10 時間ぐらい連続観測が関の山なんですけど、これは 3 日間ぐらい連続観測してるんですね。まあ、不思議なことはいっぱいありますね。外向きの流れと内向きの流れが同時にある。黒点の周辺では、小さな黒点がいろいろ渦巻いています。今、太陽の、特にこういう磁場構造が、どんどん分かりだしてきています。

今度は、図 2 3 を見てください。これは太陽の縁に黒点が行ったときにその周辺をひので衛星の特殊なフィルターで観測したものです。彩層と呼ばれる太陽大気の上層部が見えています。これを見ると太陽の彩層はジェットだらけなんですね。宇宙もジェットだらけなんなんですけど、太陽もジェットだらけ。ピカッと光るのは、小さな爆発、フレアですね。これは、2007年の年末、アメリカの『サイエンス』という雑誌にわたしが論文を出したんですけども、さっきのX線で見たコロナが爆発だらけというだけじゃなくてですね、太陽の大気中、至るところで爆発が起きてることがわかりました。それが正体であると。そういうジェット現象がどうして起きるのかというのを、実はわたしの研究室の大学院生がコンピューター・シミュレーションするのに成功しました。面白いのは、このシミュレーションのほうが先に出されたんですね。ひので衛星の打ち上げ前にこのシミュレーションやってたらですね、打ち上げ後、太陽観測してたら、そっくりのジェットが見付かった。

最近、論文が出ましたけど。ポイントはですね、磁気力によってジェットができるという説が、非常に成功を収めつつあるということです。

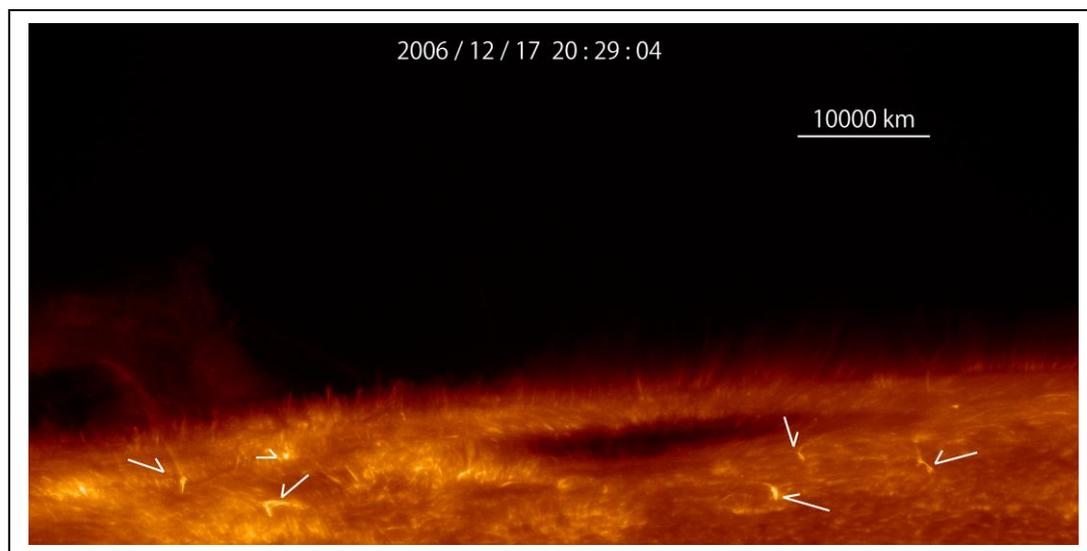


図 2 3 ひので衛星可視光望遠鏡で見た太陽彩層の微細構造。
小爆発（ナノフレア）やジェットだらけであることがわかる。

5. まとめ

まとめますと、近年の天体観測は、宇宙が爆発だらけ、ジェットだらけであるということをはっきりとしました。詳しく説明する暇がなかったんですけども、こういう爆発やジェットは、天体の形成、さらに生命の進化にとってね、重要な役割を果たしている可能性があります。例えば、太陽でああいう爆発が起きると、大量の放射線が宇宙空間に放たれるんですね。X線をはじめとして、中性子とかね、プロトンとかですね。そういうのが宇宙飛行士の体に直接当たると、もちろん被曝します。10年に一度の大フレアが起きたときに宇宙飛行士が船外活動していると、昔、東海村であった事故と同じぐらいの放射線を浴びるといわれています。そうすると、30日以内に半分の人は死ぬと。10年に1回ですからね、これは看過できないわけですね。

わたしは、もともと宇宙のなぞを解明しようということで太陽の研究を、やりだしたんですけど、これはもう、宇宙飛行士の生命を守るためにも責任があるなと思っています。さっきも、通信とか、それからカナダの町の停電とか、そういう被害もありますし、そういうところ辺にすごいかわってきて、純粋な知的好奇心だけで研究やってたのが、なんか最近では社会的責任というのを感じるようになりました。こういうのは、わたしが若いころ想像したのと大違いの人生なんですけど、それで世の中の役に立つというのは、またある意味では幸いなことですね。そういうことがですね、だんだん分かってきまして、さっ

きの超新星爆発みたいな爆発はものすごく遠いんですけども、そういうときだって、大量の放射線が発生して地球にやってくると、やっぱり地球上の生命は影響を受けるかもしれません。そういうことで、地球は決して宇宙とは無縁ではないということが分かりつつあります。

太陽はですね、今言いましたように、フレア、ジェットだらけであって、大事なことは、これらの爆発現象が磁気エネルギーによって形成されていることが確立されたことです。宇宙の現象はまだまだなぞに包まれてるんですけども、その太陽観測をヒントに、研究が今、どんどん進んでいます。一例だけ、わたしが二十数年前に世界で初めて太陽の説を宇宙のジェットに応用してうまくいった例をお見せしましょう。図24を見てください。線は磁力線です。これは円盤ですね。ジェットの足元にある円盤。これが回転すると、磁力線がこういうふうにはねられて、磁力線というのはゴムひものような性質持ってますから、反発力もあって、ジェットが噴出します。宇宙のジェット現象は、太陽のジェットと同じように磁気力で噴出してるんじゃないかというのを、わたしが世界で初めてシミュレーションするのに成功しました。まあ、アイデアはわたしだけじゃないですけども。この説はまだ確立してないんですけども、確立したらノーベル賞になるんじゃないかと、今、努力してるところです。皆さんもぜひ、こういったプラズマ宇宙物理学の研究に参加してください。

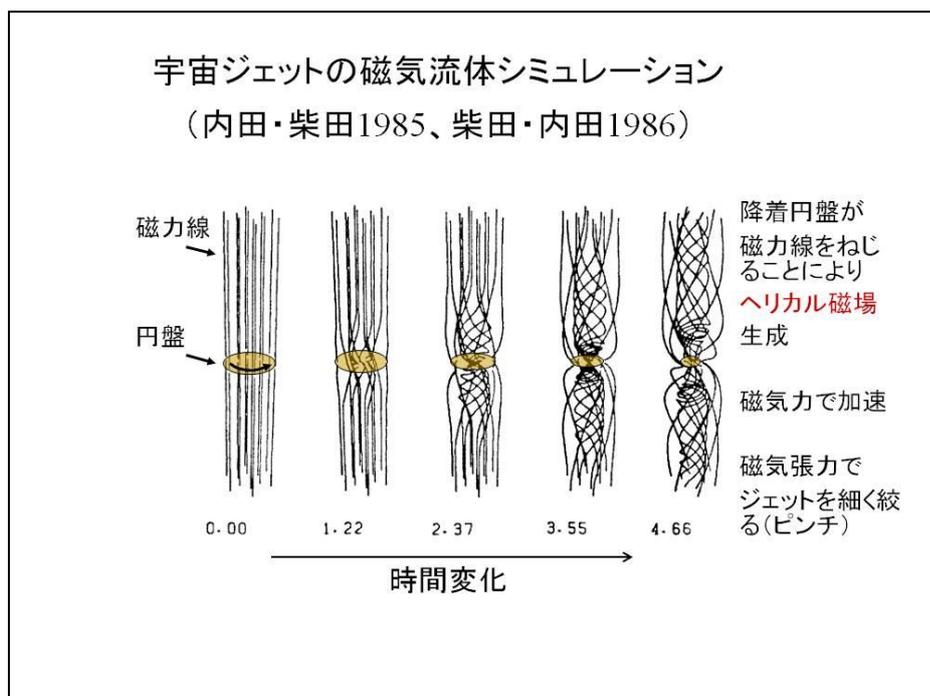


図24 宇宙ジェットの磁気流体数値シミュレーション
(Uchida and Shibata 1985, Shibata and Uchida 1986)

参考文献

柴田一成、「太陽の科学」、NHK出版、2010年

柴田一成、上出洋介（編）、「総説宇宙天気」、京大学術出版、2011年

柴田一成、大山真満、浅井歩、磯部洋明、（著）、「最新画像で見る太陽」、
ナノオプトニクス・エネルギー出版局、2011年

柴田一成、福江純、松元亮治、嶺重慎（編）、「活動する宇宙」、裳華房、1999年

T. Tajima and K. Shibata, “Plasma Astrophysics”, 2002, Westview Press (soft cover)

(hard cover 版は、1997年にAddison Wesley, Reading, より出版された。内容は同じ)

柴田一成ほか、小特集 「宇宙ジェットの物理」 プラズマ・核融合学会誌
vol. 76, No. 7 (2000)

小野靖、柴田一成、星野真弘、藤本正樹、寺澤敏夫、小特集「磁気リコネクション
研究の到達点と課題」 プラズマ・核融合学会誌 vol. 77, No. 10 (2001)