

本田財団レポートNo.49 「星をつぶす法」

文部省宇宙科学研究所所長 小田 稔

本田財団レポート

No.1	「ディスカバリーズ国際シンポジウム ローマ1977」の報告 電気通信大学教授 合田周平	昭53.5	No.26	人々のニーズに効果的に応える技術 GE研究開発センター・コンサルタント ハロルド・チェスナット	昭57.1
No.2	異文化間のコミュニケーションの問題をめぐって 東京大学教授 公文俊平	昭53.6	No.27	ライフサイエンス 株式会社化成生命科学研究所人間自然研究部長 中村桂子	昭57.3
No.3	生産の時代から交流の時代へ 東京大学教授 木村尚三郎	昭53.8	No.28	「鍊金術 昔と今」 理化学研究所地球化学研究室 島 誠	昭57.4
No.4	語り言葉としての日本語 劇団四季主宰 浅利慶太	昭53.10	No.29	「産業用ロボットに対する意見」 東京工業大学教授 森 政弘	昭57.7
No.5	コミュニケーション技術の未来 電気通信科学財団理事長 白根禮吉	昭54.3	No.30	「腕に技能をもった人材育成」 労働省職業訓練局海外技術協力室長 木全ミツ	昭57.7
No.6	「ディスカバリーズ国際シンポジウム パリ1978」の報告 電気通信大学教授 合田周平	昭54.4	No.31	「日本の研究開発」 総合研究開発機構(NIRA)理事長 下河辺 淳	昭57.10
No.7	科学は進歩するのか変化するのか 東京大学助教授 村上陽一郎	昭54.4	No.32	「自由経済下での技術者の役割」 ケンブリッジ大学名誉教授 ジョン・F・コールズ	昭57.12
No.8	ヨーロッパから見た日本 N H K 解説委員室主幹 山室英男	昭54.5	No.33	「日本人と西洋人」 東京大学文学部教授 高階秀爾	昭58.1
No.9	最近の国際政治における問題について 京都大学教授 高坂正堯	昭54.6	No.34	「ディスカバリーズ国際シンポジウム コロンバスオハイオ1982」報告 電気通信大学教授 合田周平	昭58.2
No.10	分散型システムについて 東京大学教授 石井威望	昭54.9	No.35	「エネルギーと環境」 横浜国立大学環境科学研究センター教授 田川博章	昭58.4
No.11	「ディスカバリーズ国際シンポジウム ストックホルム1979」の報告 電気通信大学教授 合田周平	昭54.11	No.36	「第3世代の建築」 ㈱菊竹清訓建築設計事務所主宰 菊竹清訓	昭58.7
No.12	公共政策形成の問題点 埼玉大学教授 吉村 融	昭55.1	No.37	「日本における技術教育の実態と計画」 東京工業大学名誉教授 斎藤進六	昭58.8
No.13	医学と工学の対話 東京大学教授 澤美和彦	昭55.1	No.38	「大規模時代の終り—産業社会の地盤変動」 専修大学経済学部教授 中村秀一郎	昭58.8
No.14	心の問題と工学 東京工業大学教授 寺野寿郎	昭55.2	No.39	「ディスカバリーズ国際シンポジウム ロンドン1983」の報告 電気通信大学教授 合田周平	昭58.9
No.15	最近の国際情勢から N H K 解説委員室主幹 山室英男	昭55.4	No.40	「日本人と木の文化」 千葉大学名誉教授・千葉工業大学教授 小原二郎	昭58.10
No.16	コミュニケーション技術とその技術の進歩 M I T 教授 イシエル・デ・ソラ・ブルー	昭55.5	No.41	「人間と自然との新しい対話」 グラッセル自由大学教授 イリヤ・プリゴジン	昭59.2
No.17	寿命 東京大学教授 古川俊之	昭55.5	No.42	「変化する日本社会」 大阪大学教授 山崎正和	昭59.3
No.18	日本に対する肯定と否定 東京大学教授 辻村 明	昭55.7	No.43	「ベルギー フランブル行政府産業使節団」講演会	昭59.7
No.19	自動車事故回避のノウハウ 成蹊大学教授 江守一郎	昭55.10	No.44	「新しい情報秩序を求めて」 電気通信大学助教授 小菅敏夫	昭59.7
No.20	'80年代一国際経済の課題 日本短波放送専務取締役 小島章伸	昭55.11	No.45	「アラブの行動原理」 国立民族学博物館教授 片倉もとこ	昭59.10
No.21	技術と文化 I V A 事務長 グナー・ハンベリュース	昭55.12	No.46	「21世紀のエネルギーを考える」 イタリア国立エネルギー研究機関総裁 ウンベルト・コロンボ	昭60.1
No.22	明治におけるエコ・テクノロジー 山本書店主 山本七平	昭56.5	No.47	「光のデザイン」 石井デザイン事務所 石井幹子	昭60.7
No.23	西ドイツから見た日本 電気通信大学教授 西尾幹二	昭56.6	No.48	「21世紀技術社会の展望」 第43回日経ハイテクセミナー	昭61.1
No.24	中国の現状と将来 東京外国语大学教授 中嶋嶺雄	昭56.9	No.49	「星をつぶす法」 文部省宇宙科学研究所所長 小田 稔	昭61.5
No.25	アメリカ人から見た日本及び日本式ビジネス オハイオ州立大学教授 ブラッドレイ・リチャードソン	昭56.10			

講師略歴

小田 稔（おだ・みのる）
大正12年2月24日 札幌市に生まれる。
昭和19年9月 大阪帝国大学理学部物理学科卒
同大学院特別研究生
21年9月 大阪大学理学部助手
25年4月 大阪市立大学理工学部助教授
(28年～31年 マサチューセッツ工科大学研究員)
31年4月 東京大学原子核研究所助教授
(38年～41年 マサチューセッツ工科大学研究員一教授)
41年4月 東京大学宇宙航空研究所教授
56年4月 文部省宇宙科学研究所教授
59年1月 同研究所長

賞 罰 昭和41年 仁科記念賞
46年 東レ科学技術賞
50年 日本学士院賞、恩賜賞
56年 朝日賞“はくちょう”チーム代表
59年2月 英国王立天文学協会特別会員

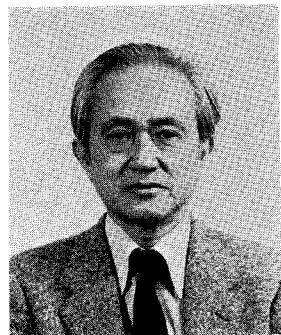
著 書 宇宙線 裳華房 (S 47. 11. 20)
宇宙の探求 中公新書 (S 45. 9. 25)
X線天文学 自然選書 (S 50. 12. 10)
かに星雲の話〃 (S 48. 10. 20) 共著
をはじめ多くの著書がある。

専 門 X線天文学

このレポートは昭和60年4月11日、パレスホテルにおいて行われた第40回本田財団懇談会の講演の要旨をまとめたものです。

はじめに

実はこの講演依頼のお話がありました時に、なるべく専門的でない話をせよという事で、どんなお話をしたらいいか大変苦慮した訳でございます。ここへ参りまして先程から、ここのお顔ぶれの中には専門家も居られますのでちょっと戸惑っている訳でございますが、今さら融通無碍にお話をかえる訳にいきませんので、大体この表題通りのお話をしようと思っております。



物理学者はなぜ宇宙に興味を持つか？

初めに、なぜ物理学者が宇宙に興味を持つかということを少しまんがを書いてまいりましたので、お目にかけたいと思います。

まず、私共がなぜ宇宙に興味を持つかというポイントですが、宇宙には私達の常識が通用しないことがたくさんあります。言い換えますと、宇宙は私達の日常の常識の通用しない世界です。もちろん、実験室等でやります色々な実験的な理論的な研究からも物理の深い所まで到達することはできます。しかし、ある意味では全く常識はずれの所を触ることで物理学をもっと深める事ができる場面もある訳です。そういう所から物理学者は常識の通用しない宇宙に興味ないし関心を持つ訳です。

●宇宙への疑問

——アミダくじの理論——

皆様よくご存知のように、19世紀にニュートン力学という物がその極限まで発達しました。その数学的形式を極度に推し進めたのがラプラスだと思います。ラプラスが言いたいことは今、現在の世界なり宇宙なりの条件があたえられれば、明日、明後日ずっと将来の状況が決まってしまうということです。一口で言いますと、ラプラスの悪魔が片手にノートを持っていまして、明日、明後日、一年後、百年後どうなるかが全部このノートに書いてあるということです。それはどういう事かと申しますと、アミダくじの様な物です。アミダくじというのは一見複雑そうに見えますけれどもスタートを決めれば行く先は一点しかありません。ところがこれを我々の常識外の所へ持っていくとどうなるか。一つの疑問点はほとんど無限に近い遠い所までアミダくじを持っていっても、やはり始めが決まれば終りが決まるのかということです。

もう一つは、アミダくじの線が非常に接近してきた場合、それでもアミダくじの行き先は最初が決まれば終りが決まるかということです。

——宇宙論とは——

そこに疑問を投げかけたのがAINシュタインで、どんどんどんどん遠い所まで持っていくと、必ずしも始めが決まっても終りが決まるとは限らないといつてよいかと思います。

こんな落語があったのをご記憶かどうか。熊さんとご隠居が居りまして、大阪から



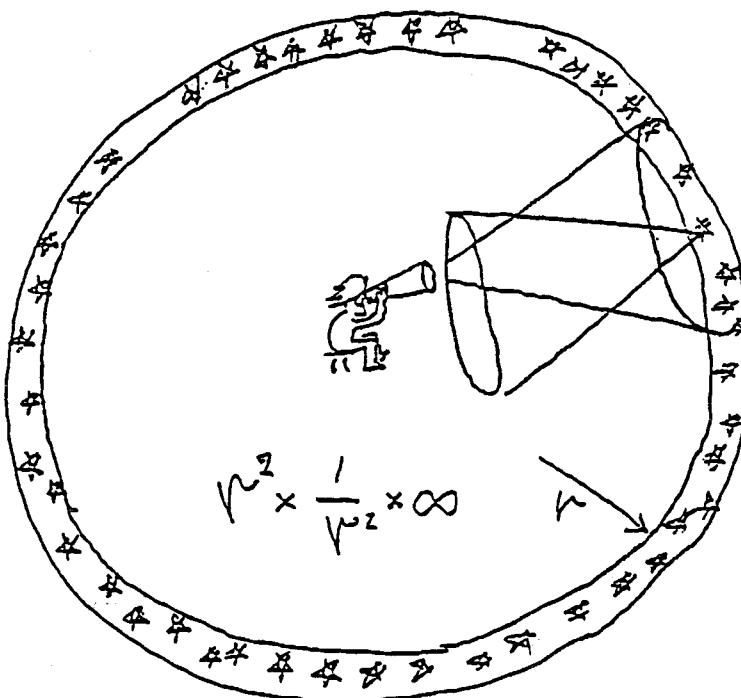
ラプラスの悪魔

西へどんどんどんどん行くとどこへ行くか、そうすると、唐・天竺である。もっと西へ行くとどうなるか、海がある。もっと行ったらどうなるか、その先はもうもうとなっている。それでも行く、行ったら何があるか、壁がある。もうそれから先へ行ってはいけない。それでもかまわない、そうしたらどうなるかという話があります。考えようによりますと、これは宇宙論の話です。つまり、どんどん距離を伸して行ったら何があるか、何かがあるのか、その外があるのか。つまり、宇宙に果てがあるのか、その外があるのかという種類の話です。別の言い方をしますと、宇宙に始まりがあったか、終りがあるか、そういう種類の議論をするのが宇宙論であります。宇宙論というのは、ある意味では常識外の世界という意味で非常に興味のある話題です。

——宇宙論の一つの例——

例えばどんな議論をするのかという事をちょっとお目にかけます。19世紀にあった議論です。我々が星空を眺めたとします。夜になると空は暗い、そして星が見えます。しかしそれは本当は変な話です。つまりここから見て、ある距離の所にある星の数は

我々からそこまでの距離の二乗に比例します。ところが星の光は遠ければ遠い程暗くなります。その暗くなり方は、距離の二乗に比例しますから星の数と明るさを掛けますと1になります。もし宇宙というのが本当に無限にまで連なっているんだとすると1に無限を掛けると無限になってしまいます。つまり、空は無限に明るい。従って空がぱあっと輝いておりますから、星なんてものは見えるはずがないというパラドックスになります。しかし現実には星が見える訳で、その事からだけでも我々が単純に宇宙というものは無限に一様につながっていると考えるのはおかしいと言える訳です。これが一つの一番単純な宇宙論です。



星をつぶしたらどうなるか

今日もう少し詳しくお話ししようと思っております事は、星をつぶしたらどうなるかというお話です。星をつぶしますと、極端に強い重力が出てきまして、そこでは全く我々の常識外の物理力が働きます。その話をする訳ですが、理屈っぽい話ではなく物理学者がどんな風な事をしているのかという感じを色々なスライドで見ていただこうと思う訳です。

●星をつぶす

よくご存知の通り、太陽というのは一番当たり前の平均的な星です。この星は半径約百万キロで、重さは大へんに重い訳です。重いですから自分自身の重力で縮んでしまうとします。しかし、太陽の中にある水素の核融合反応で熱を出して、その熱が圧力を作って、その圧力と重力がつてある大きさにおさまっています。それをもし、何らかの形で熱源をなくして星をつぶしてみたらどうなるだろうかという事を考えたのが、オッペンハイマー等の物理学者で、今から50年程昔の事です。

——中性子星——

皆様よくご存知の様に、物質というのは原子で出来ていて、原子というのは原子核と電子に分かれます。その電子というのは変な性質を持っていて、ある程度以上の密度になるとそれ以上圧縮されることに大変抵抗するという事がある。そういう圧力が働くのが半径約百万キロメートルの星を約一万キロメートルにまで縮めた時です。つまりこの状態では、電子がこれ以上はもう密度が高くなれないという種類の圧力で釣り合っている状態です。しかしオッペンハイマー達は、これを更に無理をしてつぶしてみたらどうなるかという事を考えました。電子はもうこれ以上密には集まれませんので、仕方がありますから原子核の中に押し込まれます。ご存知の様に原子核はプラスの電気を持っており、電子はマイナスの電気を持っておりますから、電子が無理矢理、原子核の中に押し込まれると、全体としてはプラスマイナスで中性になってしまいます。中性になってしまふと、後は反発する力がありませんのでびっしり固まつた状態になります。この状態を中性子星といつております。大体太陽ぐらいの星をその状態にまで押しますと、半径が約10キロメートルぐらいになります。その状態では重さは変わらない訳ですから大変な密度になります。密度が10の15乗ですから、1cm³当り10億トン位の密度です。この表面の重力の強さは我々が今感じている地球上の重力の約1000億倍になるという常識外の世界です。その位の重力では何が起きるかと言いますと、例えば富士山をもぎ取ってそこへ持ってくると、圧縮されまして、約3mmの突起になるという状況です。また、磁場が約一兆ガウスという大変な強さになります。

1ガウスというのは、地球表面の磁力の強さですが、その一兆倍です。それぐらいになりますと今度は原子などもぎゅっと締めつけられてくるという常識外の世界がここにもある訳です。そういう事がもはや夢ではなくて現実に起きていて我々がそれを日常見ているということなのです。

——ブラックホール——

中性子星は物質がこれ以上は縮むことが出来ないという密度に固っている状態ですが、それでもかまわない。更につぶすとどうなるかというと、今度はある限度を越えますと、重力が非常に固い原子核を更に押し続けまして、際限もなく自分自身の中に陥没していく状態が起ります。これは、もしアインシュタインの一般相対論が正しければという条件付きですけれども。そうなりますと、物質は消えてしまって、質量と重力だけが残るという状態になる訳です。

この状態では、物が無くなった訳ですから大きさはゼロです。しかし、質量は残っていますから、その重力は無限に大きいという不思議な状態になります。そこに今光を走らせます。どなたもご存知のように、光というのはある決まった速さで走ると思っている訳です。ところが、そういう極端に重力の強い場所に行きますと、ここもアインシュタインが正しければですけれども、星が縮んでいなくなった場所から離れた所では一応普通の光の速さで走っていますが、段々この場所に近づいてきますと、光の速さがのろくなります。たとえでいいますと、非常に急な斜面で砂がずるずる落ちている所を走っているとします。ある所まで行きますと一生懸命走ろうとするんです

が、足元の砂がくずれて落ちてきますから外から見ると止まっている様に見える。もつと中に入つて行きますと、砂のくずれるスピードが走るスピードより速くなりますからどんどん中に吸い込まれていく。つまり、光がそのそばまでいくと吸い込まれていく。また、そこから光が出てもその光は走つて出てこないという状態です。この状態をブラックホールと言つております。夢物語の様でございますけれども、私達はブラックホールが今日では現実の存在と思っています。

X線星

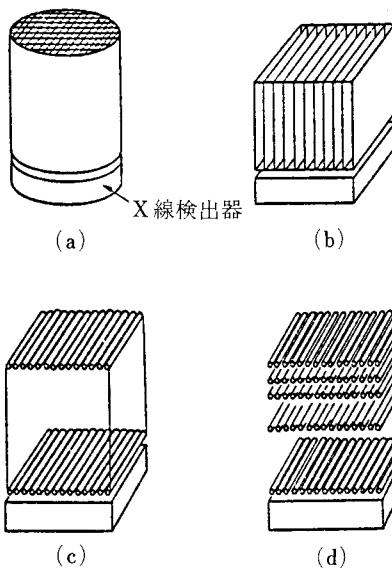
オッペンハイマーが考えました夢物語の様なつぶれた星とか、無くなってしまったけれども重力だけが残るという様な夢物語は1930年代にありました。それから戦争の世代を経て1960年代になって再び物理学者の間でそういう夢物語が色々議論される様になりました。そしてそれが現実にX線星として姿を現わしてきています。

● X線星の発見

空がX線を出しているという事に気が付いたのは今から22年前の事です。空から光が来る事は誰でも知つてゐる事です。電波が来る事も知つてゐます。しかし、X線が来るかという事はそれまで色々な理論家が様々な計算等をしましたが、その答は常にNOだった訳であります。現実には、X線は空気に吸収されますので地上からは分からぬ訳で、空気の外へ出ないといけませんでした。従つて昔は出来なかつたのですが、20年程前になつて空気の外へロケット等を飛ばせる様になつて初めて見つかってきた現象であります。さて、22年程前にロッシという人が小さなロケットにX線の検出装置をのせて飛ばしてみた所、意外な事にX線で見た空が大変明るいという事に気が付きました。それがX線だったので、始めの半年、一年は一体これは何だという事で非常に悩んだ訳でございます。丁度その頃私はロッシ先生のお手伝いをしていました。光あるいは電波は望遠鏡という物を使う事ができます。ところがX線はレンズとか鏡が使えませんのでどういう風にこれを見ていいのか分からぬ。例えば、たくさんチューべを束ねてそれを通して向こうを検出器で見る。あるいは板をたくさん重ねまして、この隙間から向こうを見てやるとします。今仮りに見えない位小さい星がここにあります。あるいは広がつたある形をした天体がいるとします。そして、さっきお目にかけました様に細い筒をたくさん束ねてそこから空を見ますと、空の一部が見える訳です。また、たくさん板を重ねて向こうを見ますと細長く空が見える訳です。それを使って天体を見ようとすると、見えた、隠れた、見えたという様に星が見えます。ところが、チューべで見ますと、ほとんど絶望的な位一生懸命捜さないと見えない。それに対して今度はすだれの様な形をした物を2つ、3つあるいは4つと重ねて遠くを見たといたします。皆様経験がおありと思いますが、よく建物の屋上にある柵、広告塔を2つ以上重ねて見ますと縞が見えると思います。天体の前にすだれを重ねて見ていきますと、非常に頻繁に星も見え隠れしています。これから逆に計算して天体がどこにいるとか形がどうであるかという事が分かる訳です。

面白い事には、こういう事で開発しました数学的形式というものは実は医者が使うC

コリメータ



Tの数学的形式と全く同じであります。理屈は同じで、つまり天体の代りに脳があつてそれを色々な方向から切ってみる、回してみるという訳ですから、数学的形式が同じというのは当然といえば当然なのです。

●X線の空を眺める

さて、ここまで道具立てが揃いましたら、これを使ってX線の空を眺めてみましょう。そうするとこれがどんな物かという事が分かる訳です。今度はスライドで、これから後は中身のお話というよりむしろどんな事をやるんだということを見て戴こうと思います。

—ロケットの打上げ—

これが丁度20年程前にやりましたすだれの実験でありますて、ここに今お目にかけた様なすだれが4つ付いています。

実際はこう簡単ではありませんが、まあその調整を致しました。

これをロケットの胴体にはめます。これはアメリカのニューメキシコにありますホワイトサンズという所の砂漠にロケット打ち上げ基地がありまして、そこでやった仕事です。

そのロケットを空の明るい方へ向けて打ち上げます。ここで何が問題だったかと言いますと、その頃にはまだ明るいX線が空から来るといつても一体それは星なのか、小さい物なのか、空がぼおっと光っているのかそれが全く分からなかった事です。これがその最初の実験ですが、今の様な4段のすだれを重ねた物で星を眺めます。ロケットが飛んでる間からこのX線天体がパッと見えて、隠れてまたパッと見えて隠れるということがわかりました。これを分析しますと、この事だけからも、X線天体が星の様に極めて小さい物だという事が分かったのです。



—情報の分析—

そういう見え隠れの情報を解析、分析致しますと、星空の上にX線星のいる位置をきめることができます。はじめてこのロケットで見めたX線星の位置を光で見たのが岡山の東京天文台の観測です。そこには、異常な光り方をしている星が見つかりました。この星はさそり座という星座にさそりの絵を当てはめてそれはさみの肘の付近に今のX線星がいてそこには光る星がいる事が分かりました。そうすると、皆さんX線の星といっただけでは中々信用なさらなくとも、光はそれこそエジプト以来信用がありまして光っているというと納得していただけます。

そういったX線天文学事始めの時代から20年たちまして、最初の年には4個か5個しかいなかったX線星が、4~5年後にはもはや40~50個見つかり、10年余りたちますと、500~600個になり、今日ではもう数えるのがばかばかしくて誰も数えませんが、3000個か4000個か5000個の星が見つかります。

● X線星の正体

ここに歴史をちょっと書いてあるんですが、1962・3年頃にX線星が発見された。66年頃に今の岡山の天文台が光る物を見つけた。この辺からどうやら確実に光を出す天体だという事で、天文学の一種としてX線というものが認知されました。それから20年たちまして、1970年あるいは75年頃からは、アメリカの人工衛星が次々と飛ん

1962		1965		1970		1975		1980		1983
X線天体の発見 (ロケット)		銀河系外X線源 (ロケット)		人工衛星ウフル		人工衛星エリエル-5				
かに星雲X線源 その広がりの測定(ロケット)		かに星雲パルサーを X線で観測		X線パルサー ケンタウルス座X-3発見 (人工衛星ウフル)		人工衛星 SAS-3		大型天文衛星 HEAO-1		
かに星雲 気球観測		さそり座X-1 光源確認 ロケット 両山天体物理観測所 パロマ天文台		はくちょう座X-1位置決定 宇宙研究球 M.I.T.ロケット 人工衛星ウフル		電波源 光源推定 ブラックホールの推定		アインシュタイン衛星 HEAO-2		
ガンマ線バースト発見 (人工衛星 Vela)						X線バースト発見 (人工衛星 Vela, ANS, SAS-3)		人工衛星はくちょう		
								人工衛星 SMM		
								人工衛星ひのとり		
								人工衛星てんま		
									人工衛星 EXOSAT	
									軟X線天空分布 太陽系を包む 厚いプラズマ発見(ロケット)	

であります。今から丁度6年前に白鳥と名づけましたわが国の人工衛星が飛びました。それからこれに遅れて火の鳥、天馬という人口衛星が打ち上げられ、1980年代になりますと、大体において日本の独壇場になってきます。ただこれから後アメリカも色々な事を始めるでしょう。

—X線星のエネルギー—

それではそういうX線の星というのは一体何なんだという事が問題になります。10年あるいは15年程色々なX線の星を見ております間に、はじめの10年あるいはもう少しの間どうしても分からなかった事が一つあります。それは、X線星から出てくるエネルギーが、太陽等の普通の星が光として出しているエネルギーの1,000倍から10,000倍だという事です。元々われわれは、星は核融合反応で非常に能率よくエネルギーを出していると思っていました。しかし、その更に1000倍もエネルギーを出すという事はどういう事なのか。途中色々な失敗談とか間違った議論とかがありますが、これは省略致しまして、現在どう思っているかという事をちょっと申し上げます。

普通夜空の星は太陽のように孤独ではなく2つ対になっている場合が多く2つの星がお互いがお互いの回りを引っぱられながら回っております。そしてその遠心力とこの間の重力とが釣り合っている状態が保たれています。我々の太陽ではしおう炎を噴きあげていますが、これは対になる星がないので行く先がありませんから出た炎は又元に戻ります。しかし、対になっておりますとある程度以上、外に出た炎はどっちへ行っていいかわからないですから、色々な方向へ行くかも知れないし、その回りをいつまでもぐるぐる回るかも知れません。

ここで、この一方の星がもしこれまではまぼろしの星とか、理論物理学者の遊びと思われていた中性子星あるいはブラックホールだったらどうなるかという事を考えてみます。

そうしますと、一方の星から、ブラックホールなり中性子星の方に物質が落ちてきますと極端に小さい星ですからそう簡単にはつかまえられませんで、その回りをいつまでもぐるぐる回ります。一方の星からエネルギーを持ち込まれ、しかも後から後か

らやって来ますからここに大変密度の高い、しかも非常に温度の高いドーナツの様な物ができます。

この温度がどの位になるか、どの位のエネルギーが出るかという事を勘定致しますと、どうやらつじつまが合ってきます。つまり、普通の星の1000倍から10,000倍のエネルギーを容易に中性子星なりブラックホールからつかみ出す事ができます。

それで今日では、明るいX線星というのは多分ほとんど全部、中性子星あるいはブラックホールに物質が降りかかってエネルギーが解散されている状態であると思うようになっています。

ブラックホールの発見

ブラックホールは本当にあるのか。

これは後程申し上げます中性子星に比べますと若干説明が難しくなりますが、私達はブラックホールはもう見つけたと思っております。それを見つけるに至った観測作業の状態をスライドで見て戴きます。

秋口、宵の口に頭の上を通っていきます星座に白鳥座というのがあります。その白鳥の首の真中付近に明るいX線の星がある事が20年近く前から知られています。ただこれは非常に不思議なX線星で、測る度に強さ明るさが違って、ごく初期の頃にはこれを測っているアメリカと日本の結果がいつも違うのでどちらかが間違いだという事でしょっちゅうけんかの種になっていました。そのうちに、どうやらこの星は非常に激しく変動している星だという事に気付きました。それではこの場所を精密に追いつめてそこに何がいるかを見てやろうという事になりました。

●観測気球を飛ばす

これは、1968・69・70年と今から15~17年位前にやった実験です。福島県の原町の郊外の広い空地を借りて大きな気球を使って観測装置を上空に上げました。装置には精密なすだれが積んであります。

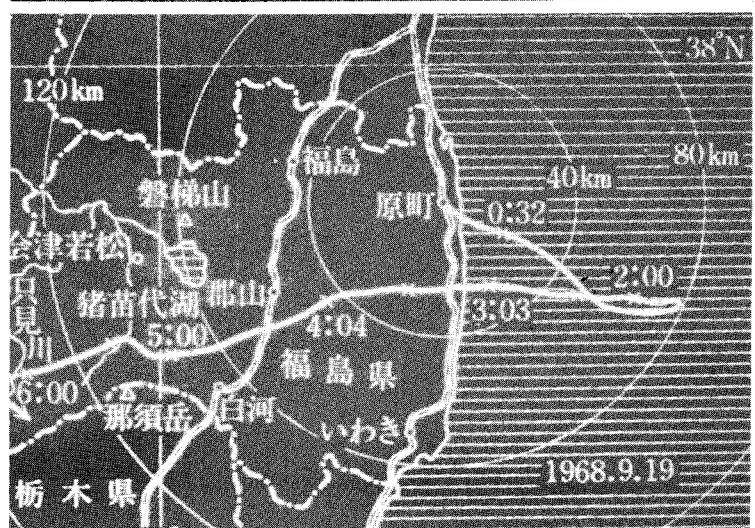
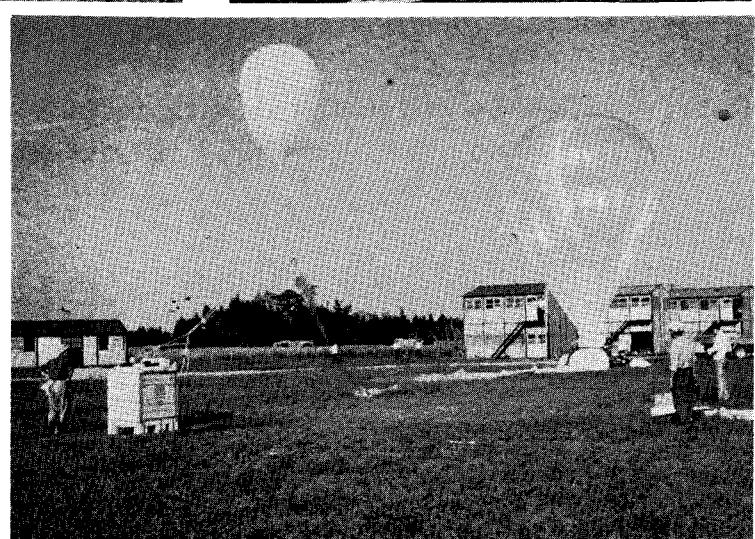
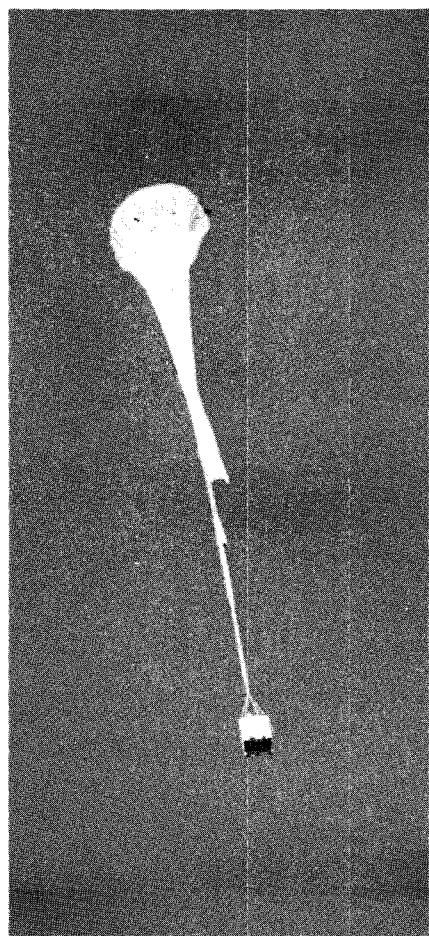
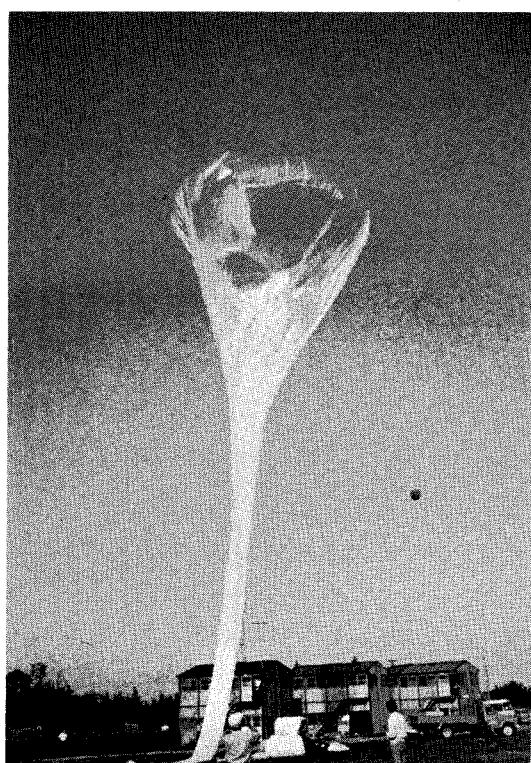
この装置にパラシュートをつけて気球をつける。このバラックが我々が指令室と呼んでいた物で、ここに小さなパラボラがありますが、これがこの気球が上に荷物を引きずり上げて色々な観測をする状況を下から指令を出したり、上から情報を受け取るアンテナです。

これは気球が上がっていいく所です。

地上から約3万5000km位上空へ上っていくのでそこでは約300分の1気圧ですから、地上では上に行った300分の1の体積になります。ですから非常にやせております。

うんと上空へ行きますと、玉ねぎの様なかっこをしています。この状態では直径約40から50m位にはんぱんに広がっています。ここでは、下はもう真暗で上が明るいという状態で、非常に光ります。

原町から約2時間程上がった上空に行きまして、そこから水平飛行です。地上から色々な指令を出して、この間に観測をした後、ここなら切り落しても安全だという所



で切り落します。電波で切り、パラシュートで落してやる。一度、ここで欲張りまして、観測しているうちに電池がなくなってしまって、そうするとこれは下からの電波を受け取らないですから、切り落せない。ふらふらと流れていってその残骸が後にアメリカの西海岸で発見されるというようなこともありました。

●分析と天文台観測

観測の結果を色々解析しまして、どこに星があるんだという事を追いかけます。何度か気球の観測をくり返して段々天空上にX線星の位置を追いつめていきます。アメリカでも人工衛星やロケットの観測をやっていて全部の結果を総合してほとんどこの辺だろうという位置が決まりました。そしてその界隈をオランダの電波望遠鏡が搜しましたところ、そこにちょっとよそには無い不思議な電波を出す物を見つけてそこを今度は、トロントの天文台とグリニッジと東京天文台が追いかかけました。

●ブラックホールの発見

その結果、そこに青い星がいて、その星自身は普通の星ですけれども、その星が5.6日の周期で何か見えない物の回りを回っている事がわかりました。周期やスピードを測る事はできますので、そういう事から見えない天体の重さもわかります。あとは細かい事は申し上げませんが、その見えない天体はどう考えても普通の天体ではあり得ない、つまり、つぶれていってしまった天体でなければ困るという理屈がたちまして、aignshutainの一般相対論が正しいとすればそれはブラックホールだという事に今ではなっている訳です。

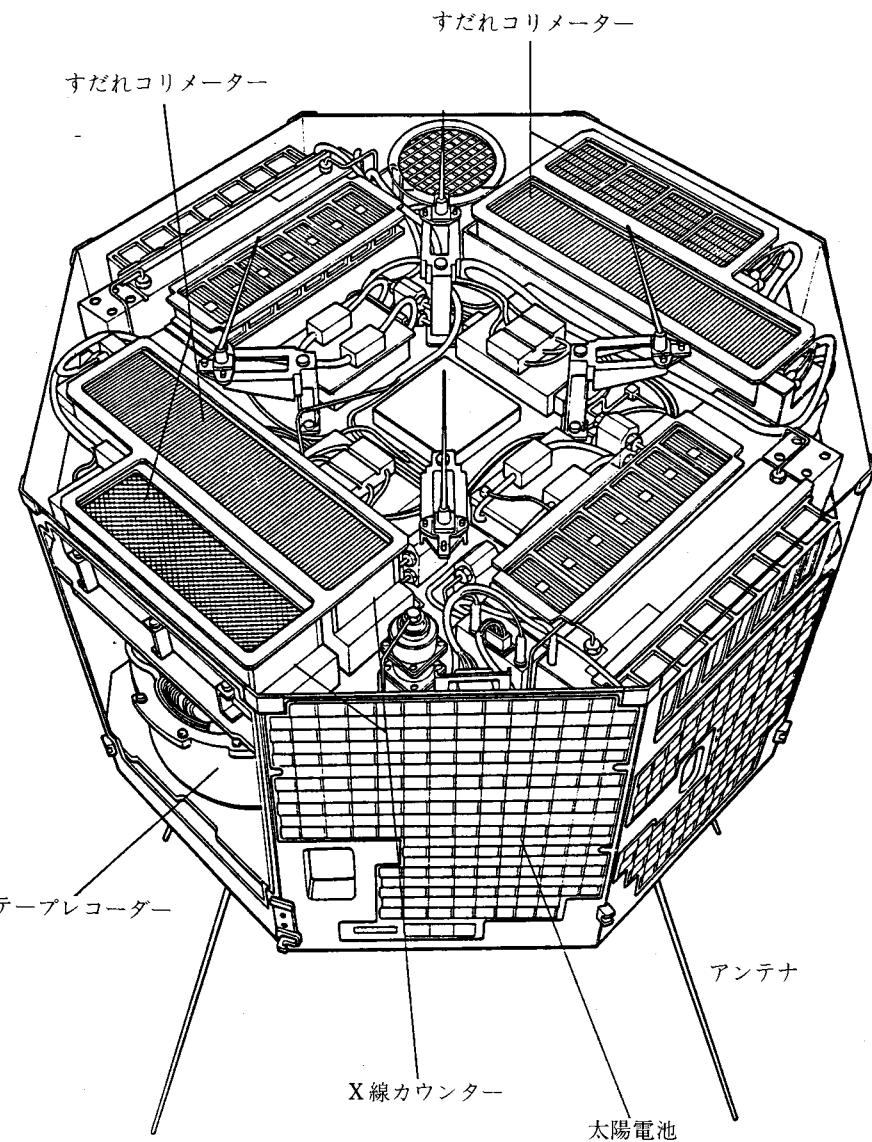
この場所を追いつめたのが丁度アメリカと日本との大変激しい競争になりました、現実にはもちろん連絡しながら競争している訳ですが、1日2日の差で両方とも同じ結論に達したという事で、アメリカの同じ天文学会雑誌でも同じ号に並んで論文が出ています。そんな事から現在では我々はブラックホールは日本が最初に先鞭をつけたと言いますし、彼らはアメリカがやったと言い、仲よく意見が不一致になっています。

人工衛星を使った観測

ブラックホールの話から再び中性子星の話に戻りまして、人工衛星でやる観測のお話をしたいと思います。

●観測装置

これは、白鳥と名付けまして、丁度6年ちょっと前に内之浦から打ち上げた人工衛星でございます。6年間よく働いてくれまして、人間の年命にするとどの位になるか知りませんが、もう、よほよほで、空気との抵抗で段々落ちてきて、4月14日('85)に落ちてしまいます。この間よく働いた衛星です。これは胴回りに太陽電池、太陽の紫外線を受けとて発電する電池が巻いてあって、それで作った電気をこの中の電池に入れる訳ですが、それはむいてあります。四角い箱がいずれもX線に感じる装置、カウンターといいますが、その上にすぐれがいくつかかぶっています。



カウンターというのは、ガスを常に詰めなければなりませんので、ガスのポンベがありまして、いつでもそれが一定の気圧、一定の組成である様にバルブとか色々なものがあって、調整しながら飛んでいる訳です。尚この衛星はこまの様に軸を中心にして回転しております。回転してカウンターはやはり回転するすだれの隙間から空をにらんでいます。衛星にはコイルが巻いてありますし、地上から指令によって電流を流したり止めたり逆に流したりする事でコイルと地球の磁石との相互作用によって、今こちらを見ていたものを段々向こうへ向けていくという様な姿勢の制御を色々やります。90分に1回頭の上に戻ってきますから、10分間位の間に火事場の様な騒ぎで今度何を見るという様な事を操作したり、あるいは上からの状況をキャッチしたり致します。

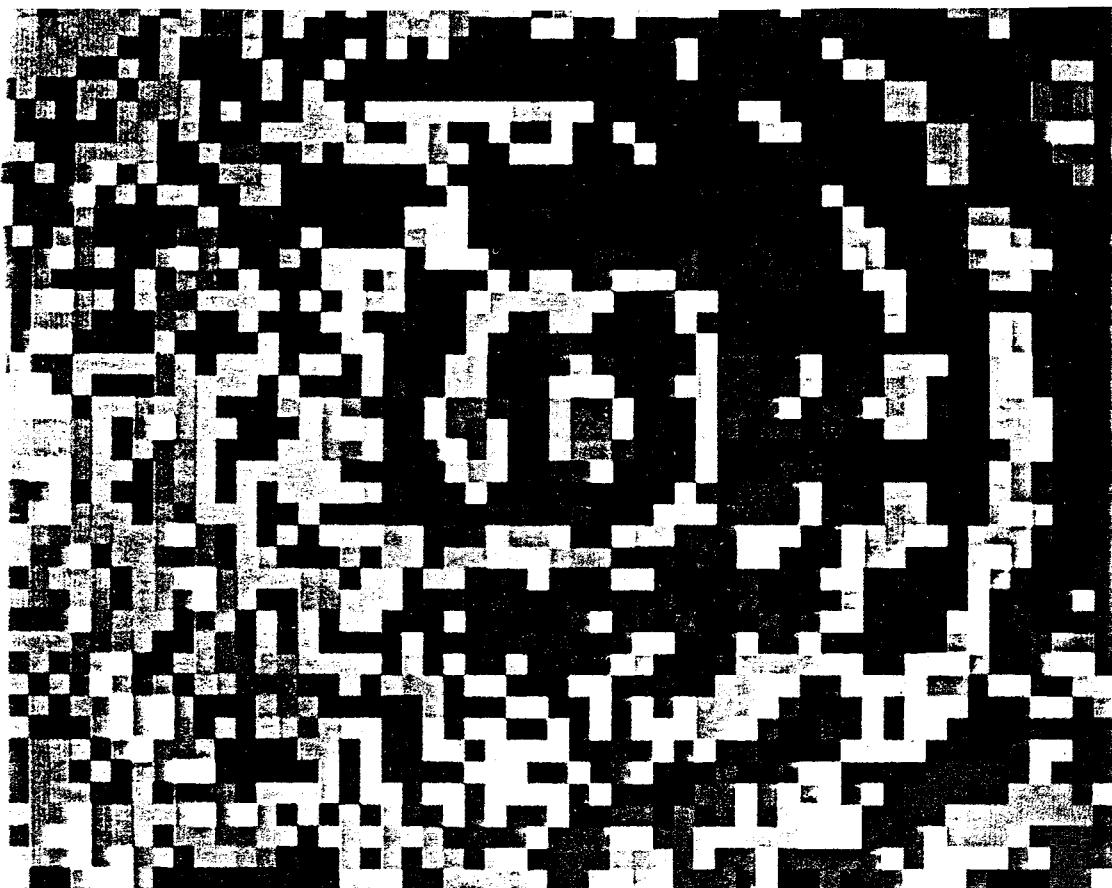
それから4年たちまして、もう1つの天馬と名付けました衛星を上げております。太陽電池も4年たつと大分技術が進んでより性能のよい物ができるという事がお分かりだろうと思います。

●日本の衛星の特徴

今、日本の衛星のお話ばかりしております。確かにここ5～6年は多分日本が一番働いたと思います。しかし何と言いましてもアメリカの衛星というのは大きいですし、色々と精密な事もできます。ですからアメリカと真っ向から競争したのではもう負けに決まっています。ですから、この二つの衛星共にアメリカのやれない側面を見ています。それはどういう事かと言いますと、例えば空の広い範囲で、どこかで突然何かが起きたとします。それをどうやってキャッチしたらいいかと申しますと、いつもそこに焦点を当てていれば、もちろん何かが起こればわかります。しかしそこで起きるとは限らない訳です。

もぐら叩きという遊びがございます。広い所に穴がたくさんあって、もぐらがいつどこから出るか分からぬ。一つの穴をねらっていれば、ここから出でてくれれば確実にこれは叩くことができますけれども、いつまで待っても出ないかも知れません。そういう訳で、広い範囲を見るという事と、ある所を押さえるという事は普通は矛盾する訳です。ところが、すだれを通して見ていますと、何かが起きたらすだれを通してどんな風に見えるかという計算をして、それと現実に見えた状態とのコリレーション(相関)をコンピューターで出して、何かが起こった場合、データを処理して星を見つける訳です。ですから、かなり広い範囲の空をすだれを通して監視する事ができます。

これは1983年8月15日のコリレーションの実例ですが、それまでずっと銀河の中心に比較的近い所でX線がじいっと光っていたのが突然ぼっと、その脇にもう一つのもぐらが出現したのですが、広い範囲をずっと見張っていましたけれど、出たらポンと叩けた訳です。



中性子星からブラックホールへの推移

これだけのお話では大変わかり難いかもしれません、現在では私共はこんな風に思っている訳です。

星がいて、中性子星、あるいはブラックホールがあると、物質が降りそそいで来てキーッと熱くなってくる訳です。今日では多分この状態というのは大別すると三通りになろうかと思います。

●若い中性子星

一番目は若い中性子星の場合です。その若い中性子星はそこに約1兆ガウスの磁場を持っています。そこにプラズマが落ち込んでくると磁場が強いものですから直には入って来れなくて極から落ちて来る。ここからピカッと光る。そして中性子星が回転しますとこれが見えたり隠れたりします。

●年老いた中性子星

二番目は、どんどん磁場を失ってしまった年老いた中性子星です。そうすると今度はどんどん物質が落ち込んできて、ある程度以上水素とかヘリウムが溜りますと、平たく言えば水素爆弾が爆発してその時に大量のX線が放出されます。それが一つです。

●ブラックホール

もう一つは、ブラックホールですが、これは何もない。何もない所に物質が落ちてきて、最後の消え去る寸前に断末魔みたいにして非常に激しく光る。それがさっきお話をしました白鳥座のX線星の様なケースです。

●いくつかの例

さて、それをごく簡単に話しますと、例えばある種のX線の星は周期的に強くなったり弱くなったりしています。これはX線パルサーといいますが、これが先程申しました回転している中性子星の表面の状態に実によく似ています。X線星が明るくなる周期、つまり中性子星の回転の周期を何年も追っていくと、随分複雑に変っている事がわかります。中性子星というのは、中に中性子の流体がありまして、ざぶざぶやっているようとして、その様子が端的に見えるのです。

ある一定の明るさで光っていたX線の星が突然ドカンと爆発します。これが中性子星の上で起きた爆発です。大体10秒間光っています。10秒間ですから何かがあったといつてもスッとそちらへ向ける訳にいかないのでどうしても、もぐら叩きが必要になる訳です。

かに星雲の観測

もう少しちょっとお目にかけたいスライドがあります。牡牛座という星座にかに星雲という星雲があります。これは藤原定家の明月記にも残っていますし、アラビアの

文献にも載っていますが、西暦1054年に星が爆発し、それ以来今日まで秒速約1000kmで膨張し続けている巨大な明るいガスのかたまり、星雲です。ありとあらゆるダイナミックな現象がこの中に起きているという物理学者にとってはこたえられない位面白い対象です。現在ではこの中に中性子星がいるという事が分かっていて、この中性子星が一秒間に30回という大変なスピードで回転しています。

1兆ガウスという強い磁場を持った天体が大きさは小さいとは言いながらも10kmあり、それが1秒間に30回転しますから、その辺の電子やイオンを振り飛ばしている事は想像に難くない訳で、そこで何が起きているかという事は大変興味深い事です。それで10年程前から、カリフォルニア大学と私共とでここに何が起きているかを見ようという共同作業をやりました。その実験風景をスライドでお目にかけます。

●実験風景

これは実は、あまりやさしい話ではありませんので、せいぜい一分角、何分角、つまり一度の60分の1位の大きさで、しかもその中の微細構造を見ようとしますから、更にその100分の1位の精度で分析するという大変精密な実験になります。

非常に精密なすだれを作り、それを日本が提供します。気球と気球のサービスはアメリカ側がする約束で始めた実験です。これは実は余りやさしい話ではありませんで、大変苦労しました。

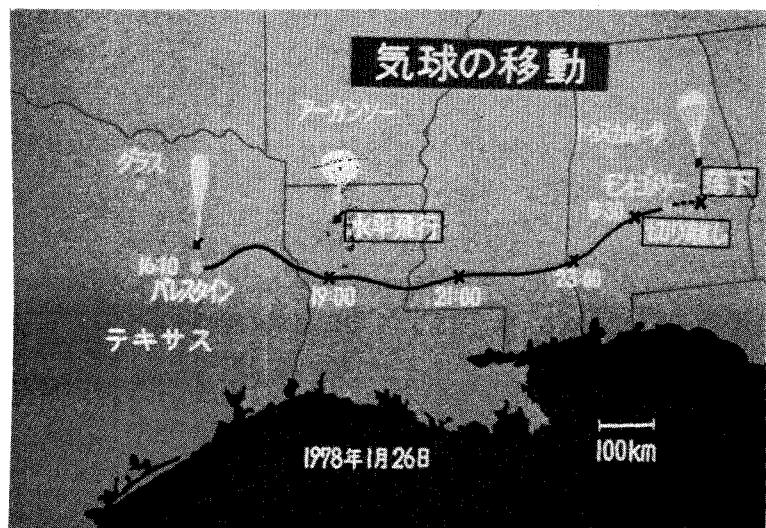
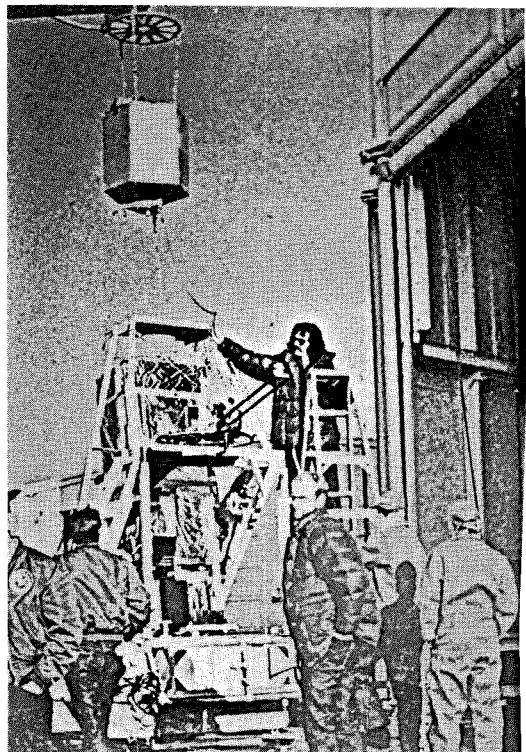
これは、今それを調整している所です。これでお分かりの様に、端から端まで1.5mで1.5mに渡って非常に精度の高い調整を必要としています。

それをゴンドラといいますが、気球が釣り上げる荷物に付ける。これはもちろん上を向いたり下を向いたり横を向いたり出来る装置です。

これをテキサスの砂漠に持って参りまして、パレスタインという町から打ち上げられる訳なんですが、これを積み込んで調整しています。

今の車がここに来て、ここに気球があります。気球のやり方は先程原の町の実験場の所でご覧いただきましたが、これを打ち上げました。





テキサスで打ち上げまして、それが約3時間で水平飛行に入ります。この間にずっとデータを取り入れて最後にルイジアナかどこかで切り落した訳です。実際にはこんなに簡単にいきませんで、一番最初にやった時には装置が故障し、二度目にやった時もうまくいかないので切り落したらワニの棲んでいる沼に落ちて回収に非常に苦労しました。三度目は、やはり故障したので切り落したら森に落ちて、ソフトランディングして安心してましたら、翌朝行ってみたら焼けていたという悲劇でした。本当にうそみたいにおかしな事ばかりありますと、郊外のトレーラーの中で生活して実験しているのですが、ある時は空気の取り入れ口でスカンクが一発やったものですから、これはもう本当に笑い事でなくて一週間以上人は中に住めませんでした。それで実験が遅れたりして、これは最後の一一番うまくいった所だけお見せしています。

●分析結果

その結果を解析しまして、先程かに星雲の中心部の構造が明らかに浮び上がってきました。このかに星雲は直角方向に細長くなっています。

光でみた場合、X線で見た場合等、様々な事から色々な理屈を考えます。

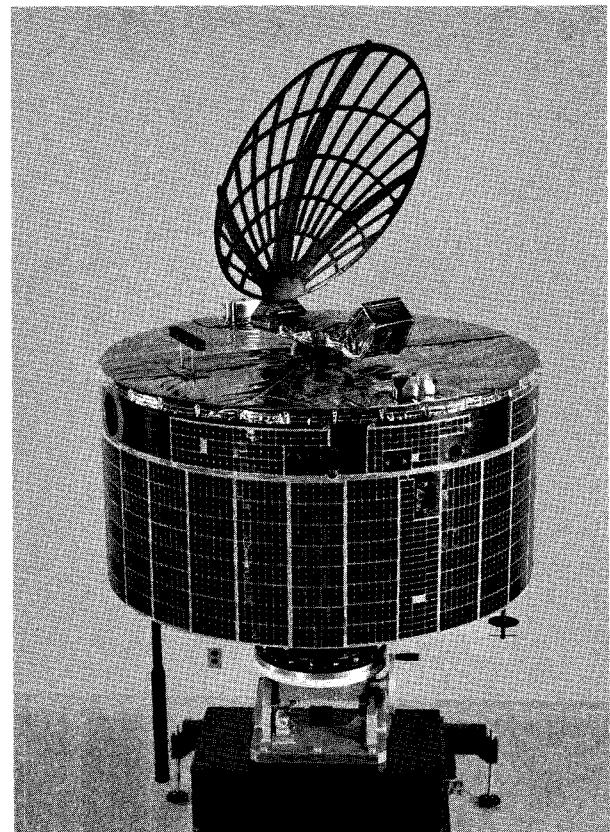
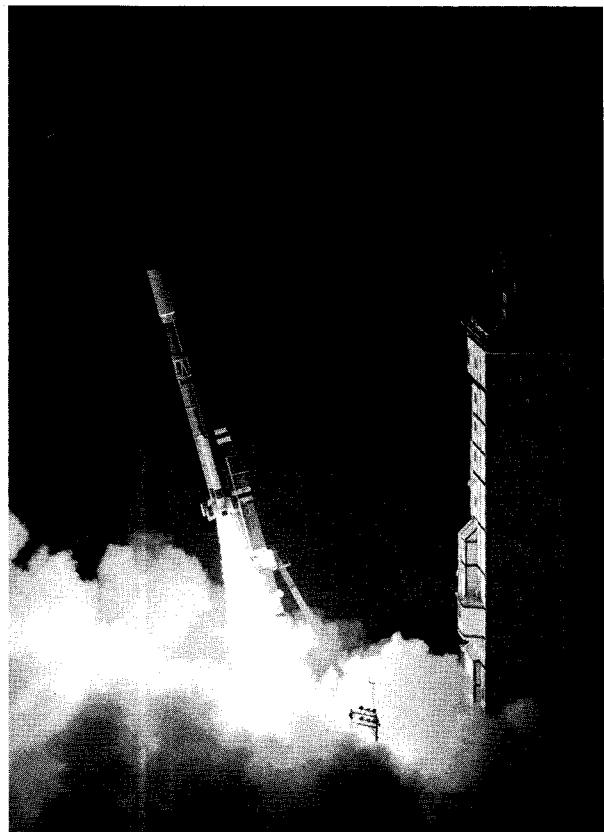
かに星雲というのは、実際は単純化するとこの真中に中性子星があって、中性子星から噴出した非常にエネルギーの高いプラズマがこんな風にドーナツ状に拡っているんだという理屈です。

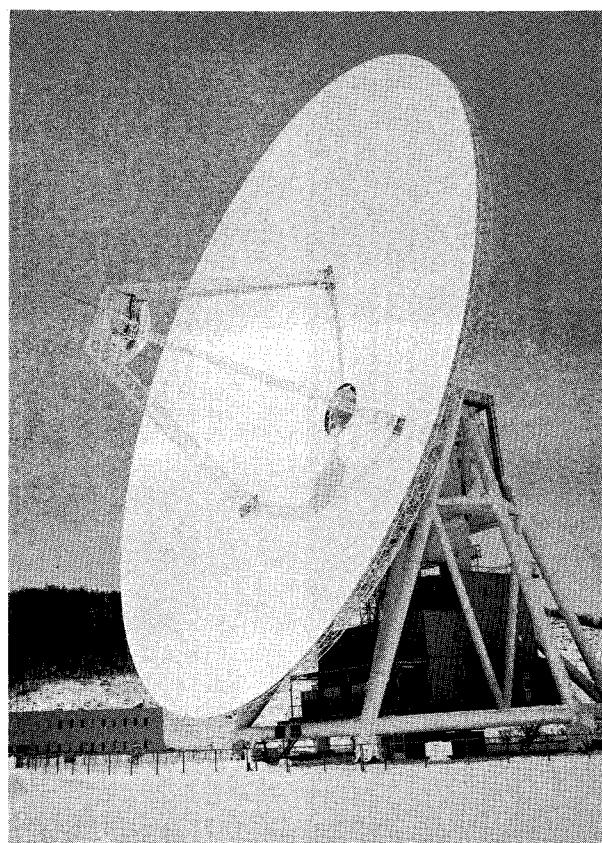
人工惑星

以上で星をつぶす話はおしまいですが、ご存知の方も多いと思いますが、今私共の方で打ち上げました初めての人工惑星が走っています、その風景をお目にかけます。これは今年（'85）の1月8日に内之浦から打ち上げた所です。これで初めて日本がソ連、アメリカに次いで三番目の人造惑星保有国ということになりました。

これがその本体で、太陽電池やスプーンみたいな形のアンテナがついています。人工衛星というのは、地球の表面からわずかに数千キロ、遠くて数万キロの所を走っています。ところが、人工惑星といいますと一億何千万キロ、まるでケタ違いますから、通信が極めて難かしくなります。向こうの方からも非常に精度のいいアンテナで電波を送ってこなければなりません。

こちらも非常に大きなアンテナを用意しないと通信ができません。これは小諸のちょっと南に昨年の10月に作りました直径64mのアンテナです。これでかろうじて通信ができる訳です。





今年の1月初旬に打ち上げまして、今日現在 ('85.4.11) 当りで八千万キロ位まで遠ざかっています。そうすると、電波が届く時間が片道で2分何秒位、今度向こうが何かをして戻ってくる情報を送り戻すのに又2分何秒、足しますと反応を見てやるのに約5分かかります。変な方向を向くと困りますから、こっちから信号を送ってあっちへ向けたりこっちへ向けたりするのですが、大変まどろっこしい訳です。よく国際電話でほんの何分の1秒遅れただけでも嫌な感じがしますけれども、この場合、もっともっとゆっくりした反応です。これが来年 ('86) の3月になりますと、丁度76年振りにやって来るハレー彗星と出合う事になっています。それから、今年の8月打ち上げる予定のもう1つの惑星がうまくいけば、来年の3月はハレー彗星の回りが大変忙しい訳で、日本のが2つとソ連のが2つ、ヨーロッパのが1つ、アメリカのは少し遠い空間にあってという様な事になっています。これは全く星をつぶす話とは関係ありませんけれども一番最近の情報をお話致しました。

大変まとまりがございませんが、時間も超過した様ですので、これで終りにさせていただきます。