

特異な電波ジェット

田原 博 人*

1. はじめに

電波銀河やクエーサーに見られる広がった電波は、光で見える銀河やクエーサーを中心にその両側に位置する対称的な二つ目玉を形成している。この広がった二つ目玉の構造は、2枚の葉を並べたように見えることから、電波葉（ロブ）ともよばれている。電波葉の構造を詳しく調べると、電波の分布は一様でなく、しばしばその先端近くに強い電波領域（ホットスポット）がある。

この電波葉が銀河中心核から放出されたプラズマ雲で形成されたものであることは、その形の対称性から容易に想像がつく。しかしより直接的な証拠を求めるとするならば、銀河中心核と電波葉を結びつけている形跡を明らかにすることである。この形跡はケンブリッジやウエスタボウクの開成干渉計による観測で初めて明らかとなった。銀河中心核からホットスポットに至る電波の橋は電波が弱いだけでなく、幅も狭いため、大集光力と高角分解能をもった電波望遠鏡が必要だったわけである。

銀河中心核から細長く伸びた構造を一般にジェットとよんでいる。ジェット構造が最初に指摘されたのは M 87 銀河で 1917 年のことである。その後 1963 年になって、クエーサー 3C 273 が光学的に同定されたとき、この天体が星状だけでなく西南の方向に伸びたジェット構造をもっていることが示された。これらの例はいずれも光で

観測されたジェットであるが、電波の場合はこのようなジェットがもっと大規模になり電波葉まで伸びていたわけである。

図 1 はジェット構造の代表的な例として良く引き合いに出される NGC 6251 である。銀河中心核から細長く伸びたジェットが電波葉に連なっている形は自然が作った芸術品を見るようである。

アメリカの VLA 観測が軌道にのりだすと、今迄になかった高解像力のため、電波源の構造が詳しくわかり、電波の構造は単純な二つ目玉とは違って複雑な形をもつものがたくさん見つかった。またジェットも直線ばかりでなく、曲ったもの、しかも部分的には鋭い折れ曲りを持つものが観測されるようになった。ここでは、このような特異なジェット構造を持つ電波源に焦点をあて紹介しよう。

2. いろいろなジェット構造

複雑に広がった電波源の構造を見ただけでは、銀河中心核から放出されたプラズマがどのような経路をへて電波源を形成していくのか細かなことははっきりしないが、ジェット構造との関連で見るともっとはっきりとする。図 2a はヘッド-テイル構造と呼ばれるもので、銀河の近くに電波の強い場所（ヘッド）がありそれが尾をひいている。このヘッド-テイル構造をもつほとんどの

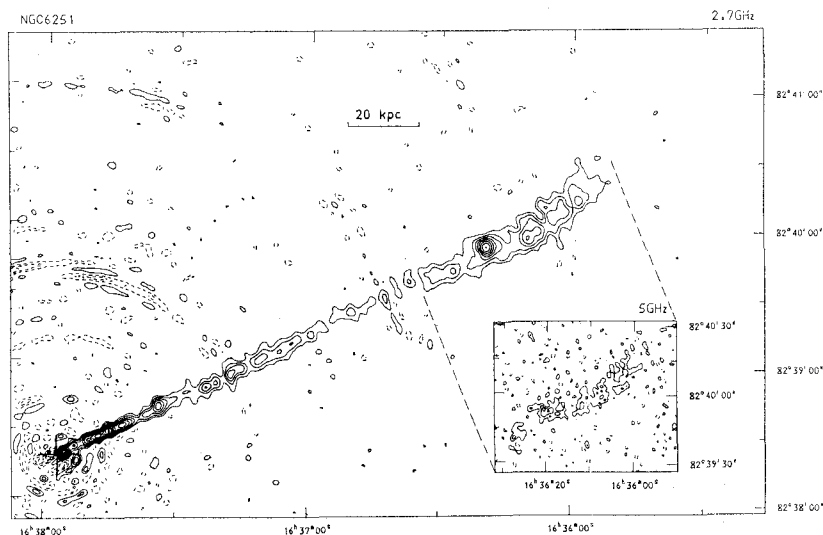


図 1 NGC 6251 の電波ジェット。このジェットの先に広がった電波葉がある (Saunders et al., 1981, M.N. 197, 287)。

* 宇都宮大・教育 Hiroto Tabara: Peculiar Radio Jets

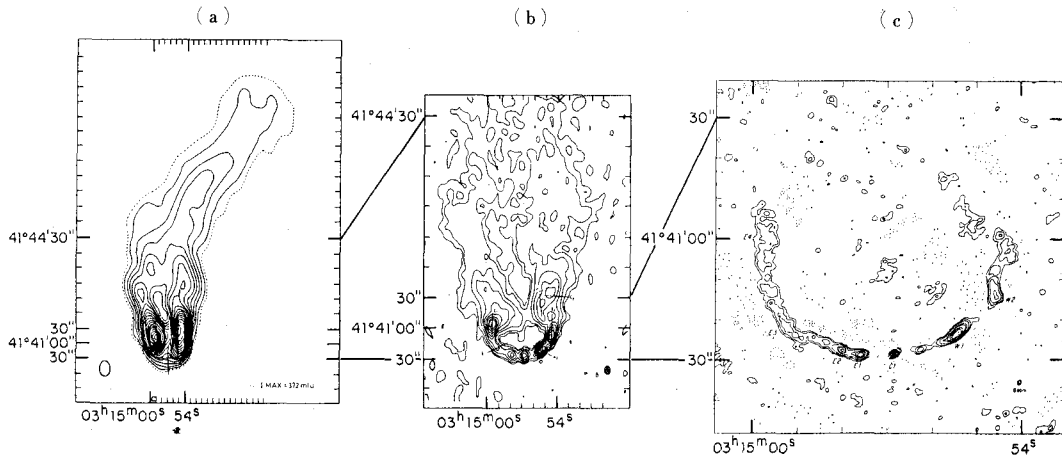


図 2 周波数 4.9GHz で観測した NGC 1265 の電波構造. 角分解能が (a), (b), (c) の順に高くなっている.

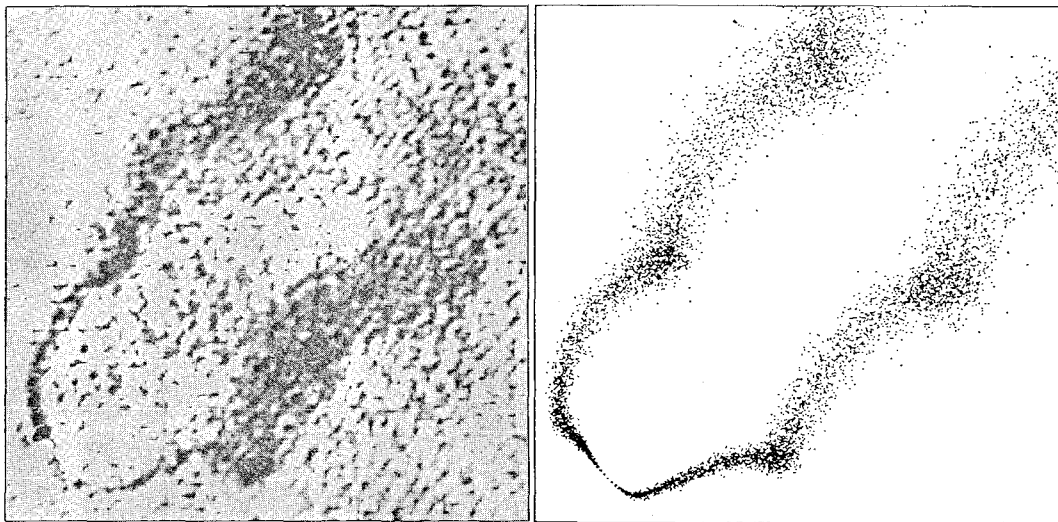


図 3 3C 129 の電波構造. 左図は VLA の観測で得られた構造を黒白で表現したもの. 右図は歳差運動を考慮したジェットモデル計算 (Icke, 1981, Ap. J. 246, L65).

電波源が銀河団に属していることから、電波源と銀河団中の銀河間ガスの圧力を受けた結果として理解される。銀河から放出されたプラズマ雲は銀河団中の風を受け、煙が風にたなびくように風下の方に吹き流され尾が形成されたと考えられている。このヘッド-テイル構造の電波源を高角分解能の望遠鏡で見たのが図 2b, c である。銀河の中心核から両方向にジェットが形成され、このジェットが風に流され C 字型に曲げられ、それぞれが 2 本の尾を作っていることが良くわかる。

ところでこの C 字型の構造には 3C 129 (図 3) の例に見られるようにジェットの尾にいくつかの鋭い折れ曲りが注目される。このような折れ曲りは単なる風だけでは説明がつかない。

曲った特異なジェット構造を示す電波源は、その形の特徴から大きく二つに分けられる。一つは図 4 に例示されるような銀河を中心に鏡面对称な構造をもつものである。もう一つは図 5 に示されるような銀河を中心に鏡面反対称 (点対称) で Z 字型又は S 字型を示すものである。

3. 歳差運動を示すジェット

Z 字形や S 字形を示す電波源の形は歳差運動をしながらジェットを放出した結果きたとすることで説明される。このようなジェットの歳差運動を示す例としては銀河系内の特異天体 SS 433 がある (天文月報 1983, 7 月号)。

歳差運動しながら放出されたジェットの軌跡は先端に

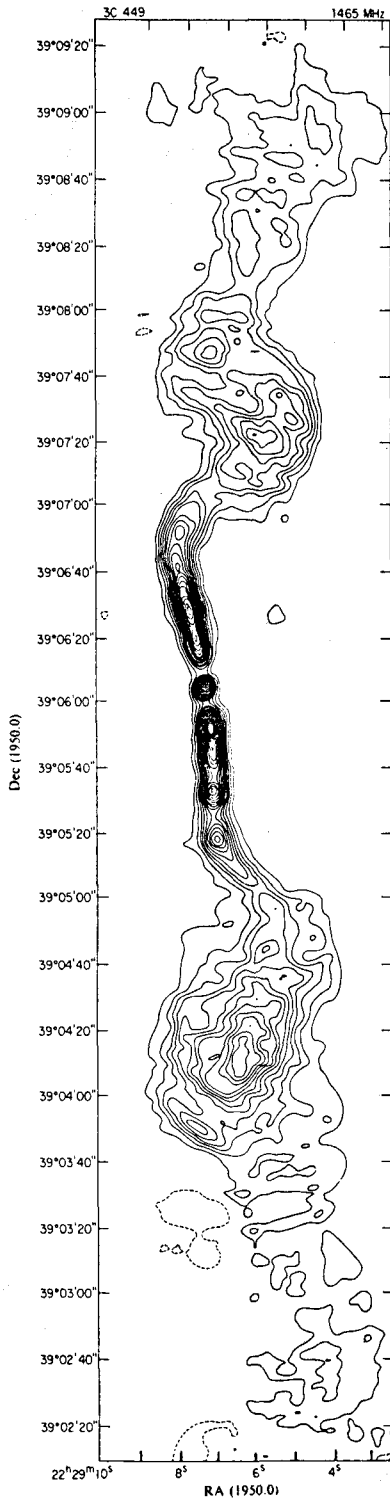


図 4 電波銀河 3C 449. ジェットが銀河中心核を中心に鏡面対称になっている (Perely et al., 1979, Nature 281, 437).

なるにしたがって半径の大きなスパイラル構造になる。この構造は見る角度の違いによっていろいろな形をとれるが、いずれにしても鏡面反対称の構造である。もち論ジェット自体は直線上を動いているわけで、ジェットの軌跡にそって物質が流れているわけではない。図 5 に示すような比較的良好な反対称性を示すジェット構造はこの方法で説明がつく。

このような歳差運動がどうして起るのかははっきりしたことは解っていない。しかしいずれにしてもジェットを放出する銀河中心核の本体に強い力を及ぼすものがあると考えなければならない。本体の周囲に分布する円盤状の高密度ガス、あるいは、本体の近くに大質量をもった天体（例えば超巨大ブラックホール）が存在しそれらと相互作用していること等が考えられる。Z 字形ジェットを示す電波銀河は cD 型の超巨大銀河に多い。この銀河が形成される過程で銀河の共食いが行われ成長した可能性が高く、歳差運動を引き起すものが存在することは十分あり得る。

4. 軌道運動によるジェット

3C 449 (図 4) に代表されるように鏡面对称な構造を持つジェット構造は歳差運動では説明できない。そこで考えられるのが、星が連星系を形成し、お互が重心の回りを軌道運動しているように、ジェットを放出する本体が軌道運動している場合である。この場合両方向に放出されるジェットの速度と軌道速度とが合成されてジェットの向きが決り、鏡面对称な構造をつくることできる。3C 449 の場合、軌道半径 1 kpc、軌道とジェットとの速度比を 1 : 6.3 にとって観測される構造を表わしている。もっともこのジェットの場合、軌道半径を約 3 千光年にとっているが、この天体が確認されているわけではなく、この銀河も cD 銀河であることから相手があるといってもおかしくないという考えからでている。

5. 高速ジェット

銀河中心核やクエーサーのコンパクトな電波源において、光速以上の速度で動いているコンパクトなジェットが超高分解能の VLBI 観測で明らかになった。もち論ジェットが超光速で実際に動いているのではなく、光速に近い速度で動いている場合、見かけ上光速を超える速度が観測されうるということである。またジェットが光速に近い速度で動いていると、観測されるジェットの電波強度に顕著な変化が生じる。ジェットのビームが観測者に近づいていると強くなり、逆になると弱くなってしまふ。これらの現象は数光年のコンパクトなジェットでの話であるが、このようなコンパクトなジェットが存在していることは、10 万光年を超えるジェットについて

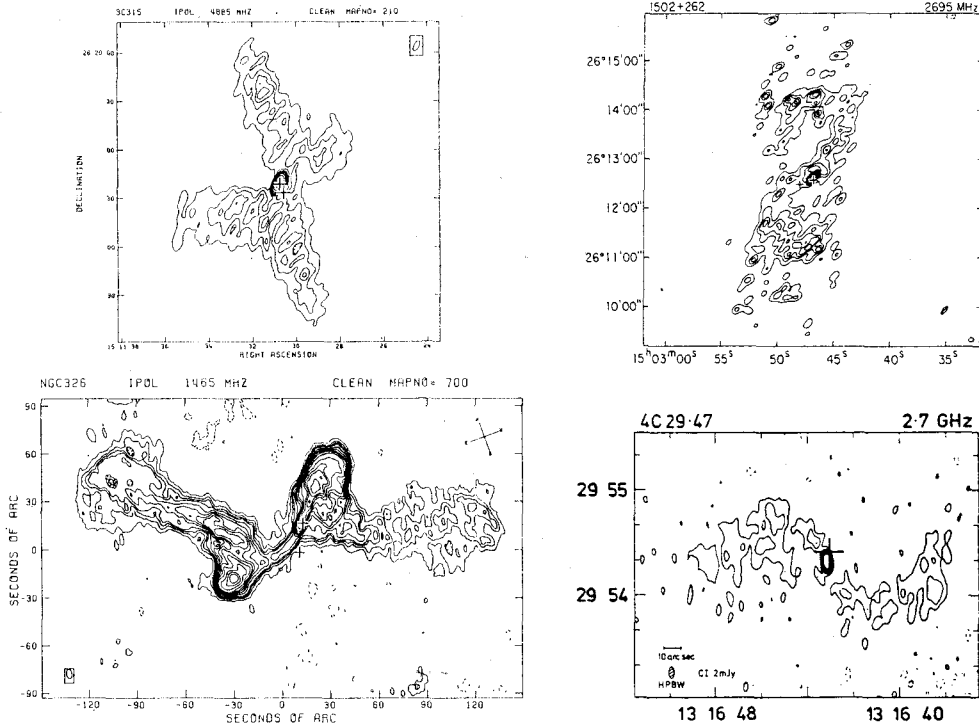


図 5 Z (又は S) 字形ジェット構造を持つ電波銀河の例.

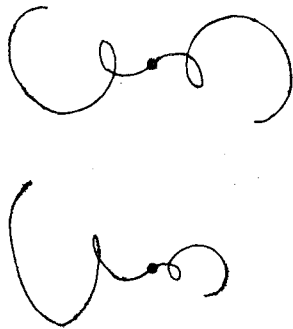


図 6 歳差運動しているジェット軌跡. 上図はジェットの速度を光速の 0.1% にとった場合. 下図は光速の 60% にとった場合.

ても光速に近い速さで動く可能性のあることを示している. このような高速のジェットを考えた場合は 3. でのべた歳差ジェットの軌跡の形は大幅に変ってくる. 観測系での時間は電波源にとった系での時間とは異なるため, ジェットの軌跡は, 図 6 のように観測者に近づく側では広げられ, 逆の側では圧縮された形になる. さらに電波の強さがジェットの進む向きによって変ることも重なって, 多様なジェットの構造を表わすことができる. 観測される Z 字形の構造や, さらに複雑な電波構造はパラメータを適切にとることで説明される.

6. VLA の観測

図 7, 8 に示した二つの電波銀河のマップは, 我々が VLA 観測によって発見したものである.

a. 4C 26.42

この電波銀河は銀河団 A 1795 に属する 13.8 等級の cD 銀河である. VLA の観測は周波数 5 GHz で角分解能が最も高くなるアンテナ配列をとって行った. その結果から Z 字形に近い特異なジェットを持った構造がわかった (図 7b). 引き続き 15 GHz で同じ角分解能になるようアンテナ配列を変えて観測 (図 7c), さらにイギリスの MERLIN によって 1.7 GHz の観測 (図 7a) を行った. この電波源は中心から約 1" のところで上下に鋭い折れ曲りを持つジェット構造が特徴的であり, 光速に近い速度をもつジェットの歳差運動で説明することができる. この場合, ジェットは光速の 1/3 の速度をもって歳差運動し, 軌跡は歳差角 25° で反時計廻りにまわっている. この構造を歳差軸に対して 55° の方向から見た場合のジェットの軌跡が図 7b に示してある. 北側の成分が観測者の方向に向いており, 歳差の周期 10⁵ 年が得られる. この周期は今迄知られているものに比べると短い方で, ジェットを放出する本体に大きな力が及ぼされていることが示唆される.

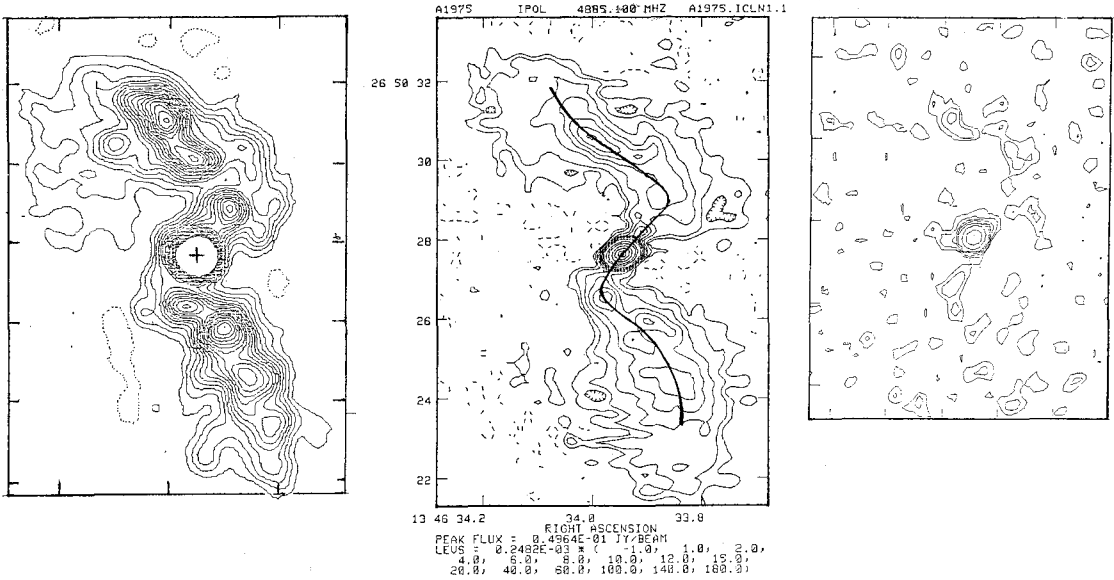


図 7 3 周波数で見た電波銀河 4C 26.42 の電波構造。(a) 1.7 GHz (MERLIN), (b) 4.9 GHz (VLA), (c) 15 GHz (VLA).
 図 (b) の曲線は計算で求めた歳差運動しているジェットの軌跡を表す。

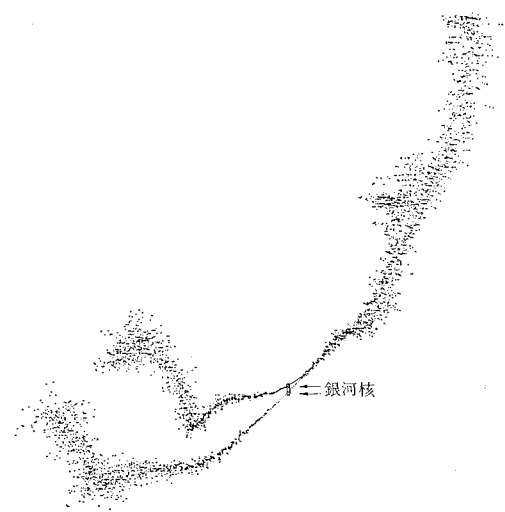


図 8 軌道運動と風を考慮に入れた 3C 75 のモデル計算

4C 26.42 の Z 字形全体の大きさは 3 万光年程度で全体が銀河の中に入らずまわっており、今迄見つかっている Z 字形構造に比べると非常に小さい。

セイファート銀河の中心部に、4C 26.42 よりさらに規模の小さい数千光年の大きさを持った Z 字形ジェットが見ついている。これは銀河の回転に伴った星間ガスの動圧を受けて曲げられたという解釈がなされている。この考えに立つと 4C 26.32 のジェットも星間ガスの影響で曲げられた結果 Z 字形になったという考えも否定できない。

b. 3C 75

この電波銀河は銀河団 A 400 の中心部にあり 13.6 等級の明るい銀河である。パノラマ写真では 15" 離れた 2 つの銀河核のまわりを共通の星雲が取り囲んでいるように見える。この電波銀河はアメリカのオーエン達も関心を持っており、我々の観測プロポーザルの後、VLA スナップショットで得られたマップを送ってきた。オーエン達はこのマップから 3C 75 は C 字形の電波源とヘッドテイル電波源で構成されていると考えていた。VLA 観測は我々と共同プロポーザルとして実施され、我々のグループから井上 (野辺山宇宙電波観測所) が出かけた、観測結果の整約はまだ完全には終わっていないが、図 8 に示すような二つの C 字形ジェットがからみついた極めてめずらしい構造を持っていることが明らかとなった。

この C 字形の一つに着目すると、その構造は電波銀河 3C 129 (図 3) の場合に極めて良く似ていることがわかる。3C 129 の解釈は、大局的にはジェットが銀河団中の風を受けて C 字形に曲げられたものであるが、ジェットには部分的に鋭い折れ曲りがあり、これはジェットの歳差運動に起因しているということで解釈されている。3C 75 の場合は、このような構造を持った 2 組のジェットが見えていると考えることができる。

しかし 3C 75 には明らかに近接した二つの銀河中心核があるわけで、これは偶然に重なって見えるというよりは、力学的に結びついた系とみなすのが自然である。また電波の構造を良く見ると、鏡面对称の構造に近い。となるとこれらのジェット構造は軌道運動の結果生じたも

のと考えられる。横沢(茨城大・理)の計算によると、ジェットを放出する二つの銀河核が軌道半径2.5万光年のまわりを速度 430 km s^{-1} で回転しながらジェットを放出しており、ジェットの速度はそれぞれ 1700 km s^{-1} と 2600 km s^{-1} で、ジェット全体は速度 1100 km s^{-1} の風を受けている。図8はこの場合の計算結果を示したもので、ジェットの特徴を良く表わしている。

7. おわりに

特異なジェット構造も、本質的には一直線上に伸びたジェット構造と変らない。変ったのはジェットを放出している本体が歳差運動や軌道運動しているか、あるいは銀河団中の風に吹き流されたかである。しかしこの特異ジェット構造はジェットを放出する本体やジェット自身についての理解を助け、銀河中心核の爆発機構の研究に大きな足がかりを与えるものとして期待される。

明るい銀河核にうずもれた先のジェットも CCD カメラを利用して少しずつ明らかになるうとしている。また Cen A や M 87 と例は少ないがX線ジェットの存在も確認されている。ジェットの研究は今スタートしたばかりと言っても言い過ぎではないであろう。

お知らせ

日本学術会議第13期会員選挙の中止について

日本学術会議中央選挙管理委員会より表記の件について次のように通知がきましたのでお知らせ致します。

「日本学術会議法の一部を改正する法律」が、昭和58年11月28日第100国会において成立したので、同日をもって今第13期会員選挙の執行を中止します。(投票用紙、選挙公報等の発送は取りやめました。)

なお、今回の法改正により、日本学術会議会員の選出方法が、「選挙制度」から「学術研究団体からの推薦制度」に改められることになり、また、現第12期日本学術会議会員の任期は、「昭和59年1月20日から起算して1年6か月を超えない範囲内で政令で定める日の前日」まで延長されることになりました。

第14回スイ星会議

日時：1984年3月10日(土) 13時～11日(日) 12時
場所：まきび会館(岡山市下石井 2-6-41)

岡山駅から徒歩5分

内容：I HW 関連の話題

費用：A(宿泊なし) 3000円、

B(宿泊あり) 8500円程度

参加御希望の方、研究発表をなさりたい方は下記まで御連絡下さい。

連絡先：〒710 倉敷市浅原 309-2 宇野善和
TEL 0862-22-7168



D. Reidel 新刊

UNDERSTANDING THE UNIVERSE: THE IMPACT OF SPACE ASTRONOMY

Based on Talks given at the UN/IAU International Astronomy Seminar on the Occasion of UNISPACE 82, Hofburg, Vienna, Austria, 12 August 1982

edited by
RICHARD M. WEST
General Secretary, International Astronomical Union

264 pp., illus. ¥10,800 ISBN 90-277-1647-1
Cloth 1983, D. Reidel Publishing Company

It is often thought that it is 'easier and better' to study the Universe from above the Earth's atmosphere. This is only true in as much as electromagnetic radiation of certain wavelengths (e.g. X-rays) does not penetrate the atmosphere and can only be studied from balloons and spacecraft. The advent of space-borne astronomy has certainly not made ground-based observation obsolete - on the contrary, it is only through the combination of the two that we now have a vastly more comprehensive picture of the Universe than just a few decades ago. This book explains why and how this is so. Based on lectures given by eminent scientists at the UN-IAU International Astronomy Seminar at UNISPACE 82, in Vienna, Austria on 12 August 1983, its five major chapters lead the reader from the nearby Sun to the most distant regions and the earliest times of the Universe. It is written at a level which is easily understood by the interested layman, and rather than attempting to include everything, it centres on some of the most fundamental problems in modern astronomy and astrophysics. What has space- and ground-based astronomy told us so far about how we can best proceed? What do we expect to learn during the next years?

近刊

FORMATION AND EVOLUTION OF GALAXIES AND LARGE STRUCTURES IN THE UNIVERSE

Proceedings of the NATO Advanced Study Institute on Formation and Evolution of Galaxies and Large Structures in the Universe/La Plagne, France March 1983

edited by
JEAN AUDOUZE
Institut d'Astrophysique de Paris, France
JEAN TRAN THANH VAN
Laboratoire de Physique Théorique,
Université Paris Sud (Orsay), France

NATO Advanced Study Institute Series: C Vol. 117

* 詳細資料をご希望の方は、弊社本店販売促進課までお申し込みください。

D. Reidel 日本総代理店



ニュートリノ

〒107 東京都港区赤坂 8-4-7 カームビル TEL 03(470)2761