

理科年表『天文学上のおもな発明発見と業績』

佐藤修二

〈名古屋大学大学院理学研究科物理Z研 〒464-8602 名古屋市千種区不老町〉

e-mail: ssato@z.phys.nagoya-u.ac.jp

天文月報 2005 年 3 月号巻頭で「天文学上のおもな発明発見と業績」（理科年表 2004 年）について、『IRSF/SIRIUS と小中大・超大∞』を寄稿した。その中に、いくつかのミスが見つかり、紙数の制限もあり、2005 年度版に新たに加わった項目もあり、そこで 1961 年以降の観測に関する原論文を探して再度書く。

天 88 (162) 天 文 理科年表 (2005 年版)

天文学上のおもな発明発見と業績 (2)

年代	事項	発見者(国)
1925	白色矮星	エディントン(イギリス) アダムス(アメリカ)
1927	銀河系の回転	オグルス(オランダ) リンドブラッド(スウェーデン)
1928	星雲線の同定	ボウエン(アメリカ)
1929	銀河の速度距離関係	ハッブル(アメリカ)
1930	冥王星	トンボ(アメリカ)
1930	日食時以外のコロナ観測	リヨ(フランス)
1931	宇宙電波	ジャンスキー(アメリカ)
1934	超新星	バーク(アメリカ) ツグウキ(アメリカ)
1937-9	原子核反応による太陽熱源の説明	フォン・ワイゼッカー(ドイツ) ベーチ(アメリカ)
1939-40	コロナ輝線の同定	グロリアン(ドイツ) エドレン(スウェーデン)
1942	太陽電波	ヘイ(イギリス) サウスウオース(アメリカ)
1944	天体の種族	ファン(アメリカ)
1944-51	星間中性水素	ファン・デル・ワールスト(オランダ) ユーン・イン, ハーセル(アメリカ)
1946	恒星の磁場	バブコック(アメリカ)
1957-8	人工衛星, 人工惑星	ソ連, アメリカ
1961	原始星の対流平衡解(林フェーズ)の発見	林忠四郎(日本)
1961-3	恒星状電波源(クエーサー)	サンディージ, マッシューズ(アメリカ) --- シュミット(アメリカ) ジャコビー, ガースキー, バオリ ーニ, ロッシ(アメリカ)
↓1962	X線星	ベシジャス, ウィルソン(アメリカ) ベウイッシュ(イギリス) ベックリン他(アメリカ) Uhuru衛星チーム(アメリカ) グレバサデル他(アメリカ)
1965	3K宇宙背景放射	ペーリ
1967	パルサー	ヒューイッシュ(イギリス)
1967	オリオンBN/KL天体(原始星)	ベックリン他(アメリカ)
1972	銀河間からのX線放射	Uhuru衛星チーム(アメリカ)
1973	γ線バースト	グレバサデル他(アメリカ)
1978-86	宇宙の大規模構造	ゲラー, ハッラ(アメリカ)他多数
1979	クエーサーの重力レンズ像	ウールシェ, カースウェル他(アメリカ)
1979	重力波放出による連星パルサーの軌道周期減少	テイラー, ハルズ他(アメリカ)
1987	超新星 1987Aからのニュートリノ検出	カムイオカンテグループ(日本)
1992	3K宇宙背景放射のゆらぎ	COBE衛星チーム(アメリカ)
1993	ハローコンパクト天体(MACHO)の発見	オルコック(アメリカ), オール(フランス), ウダルスキー(ポーランド)等 多数 マイヤー, ケロツ(スイス) バログループ(アメリカ), レボロ他 (スペイン) ペーパーバックス衛星チーム(イタリ ア)他多数
1995	主系列星のまわりの惑星	
1995	褐色矮星	
1997	γ線バーストの残光と銀河系外起源	

国立天文台編「理科年表 2005」より

**1) 3C273: A STAR-LIKE OBJECT WITH LARGE RED-SHIFT
RED-SHIFT OF THE UNUSUAL RADIO
SOURCE: 3C48**

誰がクエーサーを発見したか？ は単純ではな

い。光学天文と電波天文との共同作業であり、振り返ってみれば、この天体は昔から“可視”であった。電波源が次々と見つかる中で、1960年初頭には電波でも高解像が可能となり、光学天体に同定された。その結果、不思議な性質（青白い色、変光、特異スペクトル線幅と強度比）はわかってきた。しかし最も単純なはずのスペクトル線の同定ができなかったのである。ついに1963年に大きな赤方偏移が発見される；マーティン=シュミットによる 3C 273 ($z=0.158$)、グリーンシュタインとマッシューズによる 3C 48 ($z=0.367$)、のスペクトル線同定である。大きな赤方偏移から、宇宙最速の大光度（当時）であることが判明する。1963年3月16日号の Nature 誌は慌ただしい。月による 3C 273 の掩蔽による位置決め (C. Hazard, M. B. Mackey, and Shimmins), その次にシュミットの 3C 273, オークの 3C 273, グリーンシュタインとマッシューズの 3C 48, の論文が連続する。2カ月後の5月18日号の Nature (vol. 198, p. 650) では、H. スミスと D. ホフライトが、19世紀までさかのぼってハーバード保存写真の中から 3C 273 の変光を調べている。

3C カタログ (the 3rd Cambridge Catalogue of Discrete Radio Sources: 1962) をめぐって、イギリスにおける干渉計による電波源探査, オースト

ラリアでの月の掩蔽による位置決め、パロマー山ヘール 5 m 望遠鏡による 3C 48 と 3C 273 の光学天体との同定とスペクトル線の確定で発見物語は終わる。ヘール 5 m とウィルソン 2.5 m 望遠鏡が世界の頂点にあったカリフォルニア工科大の時代である。

この電波源の位置と大きさをめぐって、ライルとヒュウイッシュは開口合成法に関する共著論文を書き、その後、別々の道を選ぶ。前者は正統なマイケルソン干渉法（ヤングの実験）による高解像位置決めへ、後者は太陽風プラズマ電波ゆらぎによる高解像サイズ測定へ分岐するが、ノーベル物理学賞（電波開口合成法の開発とパルサーの発見、1974年）授与によりストックホルムにおいて合流する（発見 4 の項）。

2) Evidence for X Rays from Sources Outside the Solar System

エアロビーロケットに広面積 GM 計数管 3 台 (20 cm²) を搭載して、さそり座方向から到来する X 線を検出した。X 線天体 Sco-X1 の発見である。ロケットのスピンを利用して方向を決めたので位置精度は数十度であった。この思いがけない大発見、後に大きな一分野を形成することになる X 線天文学がなぜなされたか？ は、適当な方々が解説されるほうがよい（天文月報 2003 年 5 月号—ジャッコニー博士と X 線天文学）。また、『物理学者ブルーノ・ロッシ自伝』（ブルーノ・ロッシ著：小田 稔訳；中公新書）の p. 189「太陽系外 X 線源の発見」の項を読まれることも薦める。真の科学研究とは？ という思いを深くいたす。この論文の第一報は『信じ難い』という理由で「フィジカル・レビュー・レター」に掲載拒否されたという。ロッシが「個人的に責任を負うから」という手紙を編集長に出して掲載されたレターだそうだ。

『宇宙 X 線源の発見』により、ジャッコニーは、2002 年のノーベル物理学賞を、小柴昌俊、ディビス『宇宙ニュートリノ検出における先駆的貢献』

とともに受賞する。

3) A Measurement of Excess Antenna Temperature at 4,080 Mc/s

1965 年ペンジアスとウィルソンの二人による 3K 宇宙背景放射 (CMB) の発見については語り尽くされた感もあるが、発見のいきさつといい、その重要度といい、こんな奇跡がありうるのか？ という思いがする。ニュージャージー州ベル研究所のペンジアスとウィルソンは角型アンテナを使って衛星通信のための雑音を測定していた。論文の内容は、要するにアンテナをどこに向けても、周波数 4,080 Mc/s で、“説明しきれない” アンテナ温度 3.5 K 分が残る、ということである。わずか 1 ページの論文は、すべてが装置較正と大気補正の記述に費やされている。なかでもクロフォード角型アンテナ (20-foot horn-reflector) と液体ヘリウムの基準源 (liquid-helium-cooled reference termination) が興味をひく。天文や宇宙に関する記述は一切なく、「大気」「天頂」「仰角」という三つの単語のみが天空の何かを測定したことを示唆させる。それが人類が到達できる最果ての天空を見たのである。この論文の直前にプリンストン大 (Dicke, Peebles, Roll, and Wilkinson) の宇宙論の論文がある。同じニュージャージー州のプリンストン大学ではまさしくこの放射の検出を目指して測定中であった。天空の電波温度すなわち宇宙背景放射は、それ以前にも何度か測定されていた。1951 年日本の故田中春夫 (名大空電研) が 0-5 K という値を与え、それ以前にも何人かが測っていた。ともかく、ペンジアスとウィルソンの技術論文が人類史を飾る宇宙の大発見として 1978 年のノーベル賞を授与される。ビッグバン宇宙の提唱者ガモフは 1968 年に亡くなっていた。

4) Observation of a Rapidly Pulsating Radio Source

「パルサーの発見」のエピソードもよく知られ

ている。論文出版は1968年2月である。クエーサーが発見されて直後、ヒュウイッシュは太陽風による電波強度の“ちらつき”から星状電波源のサイズを測定すべく電波望遠鏡を作った。ケンブリッジ・マラード天文台の望遠鏡、といってもぶどう棚のようなアンテナは、128素子を16列、計2,048個の双極子アンテナを東西470m南北45mに並べたものである。微弱な信号のちらつきを検出するために、高速・大集光力のみを狙ったのである。1967年7月に完成した直後、大学院生のベルは不思議な信号、120メートルの紙テープ：“Rapid-graph”の中に“トゲ”を見つけた。サンプリング速度を0.03秒に上げたところ、1.34秒間隔のパルスであることがわかった。この“トゲ”を発する天体は23時間56分ごとにこの望遠鏡の上を通過する。これが、最初のパルサーCP1919の発見であった。中性子星やブラックホールの理論を現実の物理学とした。1974年、ヒュウイッシュはライルとともにノーベル物理学賞を受ける。

5) BN: Observation of an Infrared Star in the Orion

KL: Discovery of an Infrared Nebula in Orion

原始星オリオンBN/KL天体の発見は、各々カルテクとアリゾナで独立に行われた。BN天体はウィルソン山1.5m望遠鏡でのオリオン星雲の近赤外掃天に始まる。その冬ベックリン24歳。赤外線源を可視光の画像と対応した結果、1個(BN天体)が同定されずに残った。トラペジウムの北西1分にあるKL星雲は、極低温~70Kのため近赤外でも見えない。アリゾナの70cm鏡にGe:Ga検出器を使って波長22μmで検出した。現在、『BN天体は、周囲に厚い星周塵とB0型相当の電離領域に取り巻かれている“見かけ温度”700Kの点源』、『KL星雲は、ガスを吹き出し膨張する星雲(温度~70K)』と解釈された。色と形をめぐって、“原始=proto”の意味が問われ続けている。

る。

※以下は余談である。1960年代、ウィルソン山には1.5m級望遠鏡が2台あった。この発見がなされたのは、1908年完成の“the 60 inch Mt. Wilson telescope”で、ヘールがシカゴから60インチ鏡材とともに技術者(リッチー)をつれてきて製作した作品である。当時世界最大。1968年還暦の年に、赤外線(BN)天体を発見したのである。この望遠鏡を起点に、カリフォルニアは大集光力を目指して、9年後(1917)2.5m, 31年後(1948)5m, 45年後(1993/96)Keck-I, -II 10m×2台を作った。2004年、次世代30m鏡=CELTへ向けて、実作業が始まった。さて、この60インチ=1.5m望遠鏡は、カリフォルニアが20世紀に君臨することになった記念碑であるとともに、1台の赤道儀にニュートン、カセグレン、クーデの3焦点をもつ20世紀望遠鏡の原形でもある。100年後の今なお公共に供されている。もう一つはレイトン(R. Leighton)の手作り62インチ=158cm: f/1: プラスチック鏡で、現在はスミソニアン博物館に展示。

カリフォルニア工科大学とアリゾナ大学が「原始星」観測の一番乗りをなしたのは、それぞれが検出器：硫化鉛(近赤外域)とゲルマニウムボロメーター(中間赤外域)をいち早く入手したこと、手近な天気の良いサイトに手頃な望遠鏡が準備してあったことによる。

6) A Strong X-Ray Source in the Coma Cluster Observed by UHURU

X-Rays from the Coma Clusters of Galaxies

この原典は、ApJ 167, L81 (1971) と Nature 231, 107 (1971) であろう。前者のウフルーは初のX線衛星である。1970年にケニアから打ち上げられた。ウフルー=Uhuruとはスワヒリ語で「自由」という意味とのこと。全天を掃天して339個のX線源を見いだして、X線が「天文学」としてデビュー、当時の天文学界に衝撃を与えた。ウフルー衛星の比例計数管により、45分角の広がりをもったX線源Coma X-1に熱放射~7.3×10⁷ K

を検出している。同年に海軍研究所のフリードマンたちも、同じ Coma で似た題目の論文を出した。1969年にエアロビークロケットに積んだ比例計数管で高温 ($>8 \times 10^6$ K) の過剰な X 線放射を測定して、その結果、Coma 銀河団の銀河の総和よりも 1 桁高すぎることを明示した。「銀河団からの X 線放射の発見」として二つは同格であろう。

銀河団からの X 線放射は、1978年のアイنشタイン衛星 (C. Jones et al., ApJ 234, L21 (1979)) の観測により、多く (12 個) の銀河団に共通であることが明白となる。この衛星は X 線結像光学系を搭載した (太陽以外に向けられた) 初の衛星である。X 線強度マップとパロマチャートの重ね焼きから、銀河団を取り巻いて 5-10 分角に広がる希薄な、温度にして数千万から 1 億 K の高温プラズマの存在が浮かんだ。この発見以後、銀河の起源と進化、暗黒物質や宇宙の大規模構造の研究が結びつくことになる。

7) Observation of Gamma-Ray Bursts of Cosmic Origin

γ 線バーストは、検査衛星 Vela 4 機による上空 12 万 km = 月までの距離の約 1/3 の上空から、地上の核爆発モニター中に発見された。衛星 1 機につき小さなカウンター (CsI シンチレータ 10 cm^3) が xyz 軸に各 2 個ずつ、計 6 個搭載され、4 機全部で 24 個のカウンターが地球全表面を見下ろして常に検査察をしている。検出される γ 線のエネルギー範囲は 0.2-1.5 MeV である。3 年間に 16 イベントの短いバーストを見つけた。その持続時間は 0.1-30 秒である。どこから到来しているか? については、到来時間差、すなわち GPS の原理を“逆に”使った位置測定法で決められ、『太陽系より遠くである』というだけであった。その起源をめぐって延々と議論が続くが、24 年後の 1997 年に Beppo-Sax 衛星と Keck 10 m 望遠鏡によって決着する (発見 16 の項)。

8) 宇宙地図作成

宇宙地図作成 (宇宙の大構造の発見) は、1970 年代末から 80 年前半にかけて十指に余る人々が各々の装置と方法で解きほぐして現在に至っている。ここでは Large-scale structure: The CfA Redshift Survey (ハーヴァード-スミソニアン-CfA) のゲラー、ハクラ、ドラパランを挙げる。広域、多数の銀河分光を行って、約 10,000 個の銀河の赤方偏移を測定した。60% 以上の銀河は、アリゾナ・ホプキンス山 FLWO (Fred Lawrence Whipple Observatory) にある 1.5 m 球面鏡と旧 MMT (1.8 m \times 6 枚 = 4.6 m 当時は分割鏡) に分光器 “Z-machine” をつけて測定された。同じ頃、多くのペンシルベニアによるボーリング (穿孔) が行われ、CfA サーベイの結果と合わせて、複数の銀河団の集まる超銀河団、それらをつなぐ Great Wall などのフィラメント構造、さらに銀河のほとんどないボイドなどが織りなす宇宙の大規模構造の姿がしだいに明らかになった。CfA サーベイは自前の小口径に当時 (1980 年前後) 最先端であった固体検出器: フォトダイオードアレイを使って、桁違いの感度でスライス・サーベイを敢行したことが成功のもとであった。浮かび上がった「人」模様の分布はその賜物である。1990 年代に入ってから、AAO-2dF や SDSS 等々の大規模探査が宇宙地図を拡張しつつ現在に至る。

9) 0957+561 A, B—Twin Quasistellar Objects or Gravitational Lens?

ジョドレルバンク電波天文台 MkIA の 966 MHz の電波源リストを、さらに干渉計で 2 秒角までサイズを分解した。この中で “too extended or too confused” の天体を、またさらに、グリーンバンク 300 フィート電波望遠鏡で 5-10 秒角で位置決めした。電波クエーサー候補を数年間にわたって分光探査した成果である。この中の一つ 0957+561 A, B を 1979 年 3 月 29 日にキット

ピーク天文台 2.1 m 望遠鏡に, IIDS (Intensified Image Dissector Scanner) を, 3月30日アリゾナ大学 2.3 m 望遠鏡に image tube spectrograph を搭載して, 可視域 (λ 3,200–7,000 Å) の分光を行った. その結果, 二つの天体 A B に分かれた天体が全く酷似した輝線スペクトル (C IV Si II) を示し, かつ, 双方が赤方偏移 $z=1.4$ を示した. アリゾナ大学 1.5 m 望遠鏡での写真撮影から, AB 間の分離は 5.7 秒角であった. この発見は, 電波源の位置/サイズの決定と, 光電スペクトルのお陰であろう (この時期まだ天文用 CCD はビッグローと JPL にしかない). その後, この二重クエーサーの変光が追跡され, A と B は 1.14 年遅れでほぼ重なり, ハッブル定数 H_0 の算出が試みられた.

10) Discovery of a Pulsar in a Binary System Measurement of General Relativistic Effects in Binary Pulsar PSR1913+16 FURTHER EXPERIMENTAL TESTS OF RELATIVISTIC GRAVITY USING THE BINARY PULSAR PSR 1913+16

ティラーとハルスによる 20 年にわたる一連の仕事年表風に書けば, 1972 年パルサー探査プログラム開発, 1974 年パルサー探査開始, 1975 年連星パルサー PSR1913+16 発見, 1979 年一般相対論効果検出, 1989 年重力波放射確証, 1993 年ノーベル賞受賞ということになる.

この成功のもと, パルサー探査の「装置と方法」の確立, 特にパルス到着時刻の測定であろう. 最初, 電話会社から電柱をもらってきて, マサチューセッツ大に小型アンテナを作り, パルサーをいかに効率よく検出するか? に戦略を集中した. パルサーを特徴づけるパラメーターには, 位置 (α, δ), 強度 (I), パルサー周期 P , 分散尺度 DM がある. これらのパラメーターを観測中速やかに計算できる装置とソフトの開発に精力と資金を投じた. 時刻決定の精度 (仕様は 1 マイクロ

秒), そして観測中にパラメーターが刻々とわかること, この 2 点がこの企図であったと考えられる. この装置を口径 305m アレシボ電波望遠鏡に持ち込んで, 次々にパルサーを新発見していく. このうちのひとつ PSR1913+16 が連星パルサーで, 一方が見えない周期 $P_b \sim 27,908 \pm 7$ 秒 = 7.75 時間 = 0.32 日の “single-lined” spectroscopic binary であった. 周期 P_b は, 通常の近接連星の値であるが, パルス周期 P_{em} 0.0593030 秒が “見ている間に” ずれていくことがわかった. 検出後, 相対論の教科書を買いにアムハーストからボストンまで車で走ったという. 1974 年の発見以後も, パルス到着時刻測定の解析ソフト “TEMPO” の改良を重ねて, 1978 年には以前のミリ秒から 50 マイクロ秒へと 1/20 にした. この結果, 連星パルサーに関する諸パラメーター 13 個の決定精度が飛躍的に向上された. そこで軌道周期の減少と大きな近星点移動 $42''$ /年をとらえて, 重力波が放出されていることへの確信に至る (1979 年). さらに 10 年間, 観測と解析を続けて, ついに「アインシュタイン重力波放射の理論との全き一致を見た」と結論した (1989 年). 相対論の教科書を購入して 14 年目のこの論文では完璧な定式化がされる. 宇宙膨張におけるニュートン重力定数 G の変動限界も与える. それは同時に, 時刻/時間測定の重さと深さを認識させる. 二人は, 『重力波の研究に新しい可能性をもたらした新種のパルサーの発見』に対して, 1993 年のノーベル物理学賞を受賞することになる. 仕事はマサチューセッツ大学在任/在学中になされたが, ノーベル賞の際は J. H. ティラー・R. A. ハルスの二人ともプリンストン大に移っていた.

11) Observation of a Neutrino Burst from the Supernova SN1987A

1987 年 2 月 23 日 7 時 35 (± 1) 分の数秒間, 11 発のニュートリノが神岡鉱山の地底で捕獲された. 15 万年前にマゼラン星雲を発して, 地球の裏

側から地球を貫いて到来したニュートリノの発見は、星の最終進化、超新星の崩壊と中性子星の理論を証明したのみならず、素粒子論や宇宙論にも強い衝撃を与えた。執念と偶然とが織りなすこの発見物語は、科学研究の何ごとかを呼び起して私たちを興奮させてくれる。まさに宇宙と物質の両方の根源にわたるわが国のオリジナルな大発見であり、ここで私ごときが解説しても仕方がない。日本物理学会誌 12 月号 p. 911 (2002) に戸塚洋二が、20 インチ光電管の“冗長さ”という祝辞を寄せている。この“冗長さ”が IMB (Irvine-Michigan-Brookhaven) に天地の差をつけた点である。

12) Structure in the COBE Differential Microwave Radiometer First-Year Maps

COBE (COsmic Background Explorer) 衛星に搭載された 3 台 (FIRAS/DIRBE/DMR) の装置の内、DMR (Differential Microwave Radiometer) によって、宇宙背景放射の“ゆらぎ”が測定された。DMR は CMB (3K 宇宙背景放射: 3 の項) の強度の非等方性を、周波数 31.5 GHz, 53 GHz, 90 GHz (=波長 9.5, 5.7, 3.3 mm) で測定するための装置である。CMB の強度の空間変化は、空間スケール $\sim 10^\circ$, $\Delta T = 30 \pm 5 \mu\text{K}$ ($\Delta T/T = 11 \times 10^{-6}$) となり、このゆらぎは成長して大規模構造を形成するシナリオができあがる。

COBE 計画は、1974 年に弱冠 28 歳のマザーらが提案、2 年後に NASA から主任を拝命、15 年の曲折を経た末、1989 年にデルタロケットで NASA/ゴダードセンターから打ち上げられた。空間スペクトルをさらに精密にすべく、2001 年の WMAP (Wilkinson Microwave Anisotropy Probe) に引き継がれて、現代宇宙論の根底を支える。その宇宙物理学の内容については、私よりも適当な方が遡及されることを希望する (天文月報 2003 年 9 月号, 2005 年 3 月号: 小松英一郎の解説を参照)。

13) Possible Gravitational Microlensing of a Star in the Large Magellanic Cloud Evidence for Gravitational Microlensing by Dark Objects in the Galactic Halo

ハローコンパクト天体 (マッコヨ = MACHO: MAssive Compact Halo Objects) の発見は、マウントストロムロ天文台 (MSSSO: Mt. Stromlo and Siding Spring Observatory) の 1.3 m 望遠鏡に CCD を搭載したことによる。2,048 × 2,048 素子の CCD を 4 個並べたモザイクアレイを CFPA (カリフォルニア大パークレー: Center for Particle Astrophysics) が製作し、LLN (Lawrence-Livermore) の膨大なソフトの蓄積による大量データの高速処理能力で可能になった。“通常の変光星”と“重力レンズ現象”とを区別する基準は、1) 無色 (VR 2 色フィルターで)、2) 左右 (前後) 対称、3) 1 回こっきり (非回帰) を示す光度曲線とする。口径 1.3 m の MACHO 専用望遠鏡は、1862 年の GMT (グレートメルボルン望遠鏡) の改装で、1980 年代、MSSSO の工場にあったものを、滞在中のオルコックが目にして、ロジャース MSSSO 台長がこの研究に提供したものである。

MACHO プロジェクトは、1992 年から観測が始まり、7 年間で 2,000 億回の観測データ (1 データ中には数百万の星が写っている!) を収集した結果、LMC に 15 回、SMC に 2 回、銀河中心方向に数 100 回の重力レンズ現象を見つけた。このプロジェクトは、開始から 7 年後『レンズ天体は白色矮星程度の質量であること』と『隠れた質量 = 暗黒物質を説明するには圧倒的に不足していること』を結論として 1999 年に終了する。

同時期にフランスの EROS (Expérience de Recherche d'Objets Sombres) や、ポーランドの OGLE (Optical Gravitational Lensing Experiment) も、重力マイクロレンズ効果を見つけている。EROS の論文は、MACHO の論文と同じ巻号の Nature 誌に掲載されている。これは、ESO 1 m シュミッ

トカメラによる写真観測である。ポーランド+プリンストンの OGLE グループは、1998 年ラスカンパナスに口径 1.25 m 専用望遠鏡を建設して今もなお観測を継続しており、MACHO のみならず、惑星発見など、多彩な成果を上げ続けている。一方、MACHO 1.3 m 望遠鏡は、2003 年 1 月のストロムロ山大火災で多くの望遠鏡や装置とともに灰燼に帰した。享年 142 歳。

14) A Jupiter-Mass Companion to a Solar-Type Star

主系列星をまわる惑星の発見は、ジュネーブ天文台のマイヤーとケロツによる 1.9 m 望遠鏡での成果である。見えない伴星によって主星 51 Peg がドップラー速度 60 m/s で動かされていること (=single-lined binary) を発見した。光ファイバースペクトログラフ ELODIE をオートプロヴァンス 1.9 m 鏡に搭載 (併設) して、波長域 $\lambda\lambda 3,900\text{--}6,800 \text{ \AA}$ の高分散 ($R = \lambda/\Delta\lambda = 42,000\text{--}7 \text{ km/s}$) スペクトルを一気に $1 \text{ k} \times 1 \text{ k}$ -CCD 上に分散して、4,000 本のフラウンホーファー線に cross-correlation-ソフトウエアマスクを施し、13 m/s ($v/c \sim 10^{-7}$) の分解能を達成した。直ちにリック天文台やハーバードスミソニアン研究所のグループによっても確認された。なぜ 1.9 m 望遠鏡が一番槍を果したのか? それは約 1 週間ずつの観測を、1 年間 4 回使って観測して、4.23 日のドップラー周期運動が見つかったこと。木星は 12 年周期=歳星だから、こんな短周期つまり近距離に巨大惑星がぐるぐる回っているとは誰も想像しなかったからである。加えてバランヌとマイヤーは、当時、誰もがなし難いと思われた微速度 ($\sim 10 \text{ m/s}$) の検出に向けて、CORAVEL: COrelation of RA-dial VELOCities (1974) から ELODIE (1986) へと、20 年かけた (そのバランヌは発見第一報の共著者でない)。1) 光ファイバーで 2 光束を導いたこと、2) 波長基準の同時監視によるスペクトル線波長同定、3) 線相関解析法、4) 中小口径によ

る観測頻度、そして、5) 2 次元素子 CCD の出現、が成功に結びついた。この発見以前にも数グループが惑星系発見を試みていた。惑星存在のパラメーター領域 ($P \sim$ 数日; $v \sim 10 \text{ m/s}$) がわかるや、線相関でなく吸収セル (I_2 や HF) でもできた。直ちにリック天文台 3 m 望遠鏡、VLT や Keck が登場することになる。今では 150 個を超えたそれら惑星の姿の異形は、惑星形成論に大きな衝撃を与えている。

15) Discovery of a Cool Brown Dwarf

Discovery of a Brown Dwarf in the Pleiades Star Cluster

カルテクとジョンホプキンス大の 6 名がパロマー山 1.5 m 鏡に AOC (Adaptive Optics Coronagraph) を搭載して、3 年に及ぶ「パロマー By 星探査」=「固有運動が小さい (15 パーセク以内)、彩層活動が活発な若い ($< \text{By} = 10$ 億年)」星 400 個の (r, i, z) 探査をした。1994 年、およそ 100 個目の G1229 (のみ) に z バンドで伴星を見つけた (z の選択は辻 隆の示唆である)。温度 1,200 K、20-50 木星質量の天体すなわち褐色矮星 G1229B である。翌 1995 年、主星 A と伴星 B とが固有運動を共にすることを確認して公表した。この天体は $1 \mu\text{m}$ 以下 (r, i, z) では赤く、近赤外 (JHK) では青い天体である。同じグループのパロマー山 200 インチ鏡を使った赤外線分光によって、この天体が何ものか? が判明する (Oppenheimer et al., *Science* **278**, 1478 (1996))。「木星」と酷似した赤外線スペクトルであった。可視では、高圧下のアルカリ金属 “線” (Na, K, Rb, Cs) 吸収のため赤く、近赤外ではメタン吸収帯のため青い。

他方、レボロ、オソリオ、マーチンの 3 名は、別の視点から褐色矮星を発見する。テネリフェ島ティデ天文台 IAC-80 望遠鏡 (口径 80 cm) を振り出しに、プレアデス (距離 125 pc; 年齢 1 億 2 千万年) 星団 RI バンド探査の中から候補 (Teide 1) を探し出し、同じカナリー諸島のラパルマ島

にある NOT (2.6 m), INT (2.6 m) で固有運動を見つけ、WHT (4.2 m) で分光を施し、スペクトル型 M9 を確定した。WHT ではリチウム (670.8 nm) は検出できなかったものの、H-R 図上の位置から、星の進化の理論と組み合わせて、「この天体 Teide 1 が褐色矮星でなければ、星の理論には重大なまちがいがある！」と断言する。翌年、Keck 10 m 鏡を用いて、リチウム (670.8 nm/812.6 nm 吸収線) を検出して、褐色矮星であることを確認した (ApJ 469, p. 53 (1996))。口径 80 cm から島伝いに 2.5 m, 4.2 m とたどり、ついにハワイ島の 10 m の頂点に登り着いた。

実は、1988 年ベックリンとザッカーマンは、IRTF 3 m の単素子 InSb で白色矮星 GD165 の伴星 B を多色測光 (JHKL) した。その色温度を 2,100 K と見積もり、HR 図と星の進化論を組み合わせ、0.06–0.08 太陽質量と推定 (Nature 336, 656 (1988))。今から見れば第一発見だったが、この方法は玉石 (stellar/substellar) の区別が困難なため、当時の混沌とした状況で霞んでしまったのは不運であった。褐色矮星の発見は、ハーヴァード分類 (O–B–A–F–G–K–M) に (–L–T) を加えた、100 年ぶりの「星」天体スペクトルの拡張である。

16) Spectral Constraints on the Redshift of the Optical Counterpart to the γ -Ray Burst of 8 May 1997

1997 年 5 月 8 日、イタリアとオランダの小型衛星 Beppo-SAX によって検出された γ 線バースト (GRB 970508) は、その位置が 3 分角以内で絞り込まれ、明るい X 線源、そして可視天体の出現になる。 γ 線バーストのアフターグロー (残光) 天体 OT J06349+79163 と同定される。この天体を 5 月 11 日 Keck-II 10 m 望遠鏡の LRIS (Low Resolution Imaging Spectrograph) が分光観測した。波長範囲は 3,850–8,550 Å, 観測時刻が遅すぎたため高度は 25°, このとき、下部ドームシャッター

によって鏡の下半分が隠されていた。観測時間は 10 分間を 3 回、MgII と FeII の吸収から、 $0.835 < z < 2.3$, 四半世紀続いた謎がここに氷解した $\Rightarrow \gamma$ 線バーストは宇宙スケールの極大エネルギー放射であった。 γ 線源の発見 (1973) と同定 (1997) は、小衛星と大望遠鏡の共同作業である。その後の発展と意義は、日本物理学会誌 2005 年 5 月号「ガンマ線バースト—現代宇宙物理学での最大の謎—」に、中村卓史、山崎 了の解説がある。

以上、2005 年版理科年表の発見に関する雑感を綴った。電波 6 項目 (1*, 3, 4, 9*, 10, 12), 赤外 2 項目 (5, 15*), 可視 6 項目 (1*, 8, 9*, 13, 14, 15*, 16*), X 線 2 項目 (2, 6), γ 線 2 項目 (7, 16*), 粒子線 1 項目 (11) 計 16 項目 (* は複数波長の共同作業) である。

天文月報 2005 年 3 月号で覚束ない記憶をたどって『小中大・超大 ∞ 』という記事を書いたが、今回、浅学非才を顧みずそれらの原論文をたどってみた。これら 16 項目すべてが、天文学の新しい領域を確かに開いたこと、個性が光っていることに感じ入った次第である。調べていくと、使われた装置が、VLA や Bonn でなく、ダイポールアレイや角型や谷間の球面鏡だったのか？ また、IRAS, コンプトン, ハッブル, あすか, ROSAT, スピッツァー, チャンドラ衛星でなく、エアロビーロケットや Uhuru や Beppo-SAX や手頃な望遠鏡だったのか？ 意外な感もする。

発見とは量ではなく本質であるという選者の見識なのかもしれない。驚きは意外さであり、装置の意外さに結びつくのだろう。

さらに巨細に原論文および関連論文を調べべきだが日々のことどもも疎かにはできず、ひとまず筆をおき、諸賢のご批判高見を請おうと思う。

専門の方々に草稿に目を通していただいた。感謝する。(寿岳 潤, 岡村定矩, 大師堂経明, 國枝秀世, 田原 譲, 中村卓史, 中島 紀, 田村元秀, 吉田直紀 (敬称略))

参考文献

- 1) 1961-63 恒星状電波源 (クエーサー)
Schmidt M., 1963, Nat 197, 1040
Greenstein J. L., Matthews T. A., 1963, Nat 197, 1041
- 2) 1962 X線星
Giacconi R., Gursky H., Paolini F. R., Rossi B. B., 1962, Phys. Rev. Lett. 9, 439
- 3) 1965 3K 宇宙背景放射
Penzias A. A., Wilson R. W., 1965, ApJ 142, 419
- 4) 1967 パルサー
Hewish A., Bell S. J., Pilkington J. D. H., Scott P. F., Collins R. A., 1968, Nat 217, 709
- 5) 1967 オリオン BN/KL 天体 (原始星)
Becklin E. E., Neugebauer G., 1967, ApJ 147, 799
Kleinmann D. E., Low F. J., 1967, ApJ 149, L1
- 6) 1972 銀河団からの X線放射
Gursky H., Kellogg E., Murray S., Leong C., Tananbaum H., Giacconi R., 1971, ApJ 167, L81
Meekins J. F., Gilbert F., Cabb T. A., Freedman H., Henry R., 1971, Nat 231, 107
- 7) 1973 γ 線バースト
Klebesadel R. W., Strong I. B., Olson R. A., 1973, ApJ 182, L85
- 8) 1978-86 宇宙の大規模構造
Gellar M., Huchra J., de Lapparent, 1987, "Observational Cosmology," eds. A. Hewitt et al., Reidel Publishing Co., pp. 301-313.
de Lapparent V., Geller M. J., Huchra J. P., 1986, ApJ 302, L1
- 9) 1979 クエーサーの重力レンズ像
Walsh D., Carswell R. F., Weymann R. J., 1979, Nat 279, 381
- 10) 1979 重力波放出による連星パルサーの軌道周期減少
Hulse R. A., Taylor J. H., 1975, ApJ 195, L51
Taylor J. H., Fowler L. A., Weisberg J. M., 1979, Nat 277, 437
Taylor J. H., Weisberg J. M., 1989, ApJ 345, 434
- 11) 1987 超新星 1987A からのニュートリノ検出
Hirata K., Kajita T., Koshihara M., Nakahata M., Oyama Y., Sato N., Suzuki A., Takita M., Totsuka Y., Kifune T., Suda T., Takahashi K., Tanimori T., Miyano K., Yamada M., Beier E. W., Feldscher L. R., Kim S. B., Mann A. K., Newcomer F. M., Van Berg R., Zhang W., Cortez B. G., 1987, Phys. Rev. Lett. 58, 1490
- 12) 1992 3K 宇宙背景放射のゆらぎ
Smoot G. F., Bennett C. L., Kogut A., Wright E. L., Aymon J., Boggess N. W., Cheng E. S., De Amici G.,
- Gulkis S., Hauser M. G., Hinshaw G., Jackson P. D., Janssen M., Kaita E., Kelsall T., Keegstra P., Lineweaver C., Loewenstein K., Lubin P., Mather J., Meyer S. S., Moseley S. H., Murdock T., Rokke L., Silverberg R. F., Tenorio L., Weiss R., Wilkinson D. T., 1992, ApJ 396, L1
- 13) 1993 ハローコンパクト天体 (MACHO) の発見
Alcock C., Akerlof C. W., Allsman R. A., Axelrod T. S., Bennett D. P., Chan S., Cock K. H., Freeman K. C., Griest K., Marshall S. L., Park H.-S., Perlmutter S., Peterson A., Pratt M. R., Quinn P. J., Rodgers A. W., Stubbs C. W., Sutherland W., 1993, Nature 365, 621
Aubourg E., Bareyre P., Brehin S., Gros M., Lachiez-Rey M., Laurent B., Lesquoy E., Magneville C., Milsztajn A., Moscoso L., Queindec F., Rich J., Spiro M., Vigroux L., Zylberajch S., Ansari R., Cavalier F., Moniez M., Beaulieu J.-P., Ferlet R., Grison Ph., Vidal-Madjar A., Guibert J., Moreau O., Tajahmady F., Maurice E., Prevot L., Gry C., 1993, Nat 365, 623
- 14) 1995 主系列星の周りの惑星
Mayor M., Queloz D., 1995, Nat 378, 355
- 15) 1995 褐色矮星
Nakajima, T., Oppenheimer B. R., Kulkarni S. R., Gollimowski D. A., Matthews K., Durrance S. T., 1995, Nat 378, 463
Rebolo R., Zapatero-Osorio, M. R., Martin E. L., 1995, Nat 377, 129
- 16) 1997 γ 線バーストの残光と銀河系外起源
Metzger M. R., Djorgovski S. G., Kulkarni S. R., Steidel C. C., Adelberger K. L., Frail A., Costa E., Frontera F., 1997, Nat 387, 878

On "The Important Invention and Discoveries in Astronomy" in [Chronological Scientific: 2005]

Shuji SATO

Department of Astrophysics, Nagoya University, Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya 464-8602, Japan

Abstract: I trace the original papers of "the important invention and discoveries in astronomy" in [Chronological Scientific: 2005] (RIKA-Nenpyo) and speculate the backgrounds of their achievements from the technical viewpoints.