

地球自転研究

——世界の現状と日本の役割——

中 嶋 浩 一*

昨年5月の8~12日に、南スペインのカディス市において、IAU シンポジウム No. 82「時と地球自転」が開かれた。このような題名のシンポジウムは1971年の盛岡 (IAU, No. 48) 以来であり、7年間のこの分野の進展を見るよい機会であると思つて、筆者もはるばる出掛けてみた。またこの後、パリ天文台などを見学する機会を得たので、ここで知り得た範囲内で地球自転研究に関する世界の現状を報告し、またその後の進展をも考慮しつつ、この分野での日本のおかれた位置、果すべき役割などを考えてみたい。

カディスのシンポジウム

日ざしの強烈な南スペイン、アンダルシア地方のまちカディスは、軍港あるいは漁港として、またフェニキア時代からの貿易港として有名な港町である。近くにはヘレスというまちがあって、その名に因んだシェリー酒の名産地となっている。また近くの海岸は「光の浜辺」と呼ばれる観光地で、その昔、伊達藩の支倉常長はこのあたりに上陸したということである。このカディス市内のサンフェルナンドにスペイン海軍天文台があって、ここが今回のシンポジウムを後援した。家々の壁がすべて真白に塗られているまぶしい街並の中に、シンポジウムの会場があった (写真1)。日本からは、弓・横山 (緯度観測所)、飯島・土屋 (東京天文台)、在イタリアの高木の各氏、および筆者の計6名が参加した。

まずここでの講演内容について分類検討してみよう。項目に分けると、この時期を反映して新観測技術 (New Techniques, すなわちドプラー、レーザ、VLBI など) に関する報告が多いのが目につく (17件)。また従来の天文観測データの解析に関する報告は、UT (=世界時、すなわち地球自転角) 関係および極運動関係がそれぞれ十数件。その他、観測座標系に関するもの、および地球物理学的研究が各2~3件、などであった。

内容について細かく紹介すると、まず VLBI 関係では、① 技術的改良として Mark III の話 (S・Xバンド、プリングレイト・タイムディレイ同時観測、4 M bit/秒、10 stars/時、 10^{14} 以上の精度の H メーザ時計を利用)、② MRAO の SBI で電波源の $\alpha \cdot \delta$ を決める話、③ ヘイスタックとオウエンズバレー間 3900 km での 1976~



写真1 IAU シンポジウム No. 82 会場入口。左から弓、横山、高木の各氏。

78年の実験 (精度は、距離で7cm、 $\alpha \cdot \delta$ で $0''.02$ 、極運動の観測結果は BIH と比べると系統差があり、UT はややばらつきが大きい)、④ JPL の DSN 実験 (精度は、極位置観測で30cm、電波源の $\alpha \cdot \delta$ は $0''.1$ 、UT1 はインターナルで0.6ms だが BIH と比べると数msの差がある)、⑤ NRAO のアンテナを使った、USNO/NRL グループによる35kmの干渉計常時観測の計画、⑥ NOAA グループによる POLARIS 計画 (1981年頃までにウェストフォード、リッチモンド、フォートデービス等を結んだ干渉計網を作る)、など。

衛星レーザ関係では、特に LAGEOS (1976年打上げ) の観測体制と初期の観測結果について詳しい報告があった。これまでのところでは、8観測所の位置決定精度および軌道決定精度は約50cm、地球の GM 値の決定精度は約9桁、5日平均極位置については BIH と比べると $0''.07$ 近くはずれることもある。また GEOS-III は、米国および大西洋に観測所があり、観測精度等については前報告と同程度であった。これらはいずれも1976年頃の結果であり、その後著しく向上したという話はなかった。他に、廉価なレーザ受信システムの紹介などもあった。また、ここでは話が出なかったが、ヨーロッパ各国、日本などにも独自の計画がある (後述)。

月レーザについては、これによって月の運動ばかりでなく地球の自転を調べる計画 (EROLD) が早くからあり、米 (マクドナルド、ハワイ)、日、豪、仏の各地に観測所が作られたが、マクドナルド以外はいずれも技術的にかなり困難な問題をかかえており、今の状態では極

* 東京天文台 K. Nakajima: Study of the Earth's Rotation: Role of Japanese Astronomy in the World Today (Part 1)

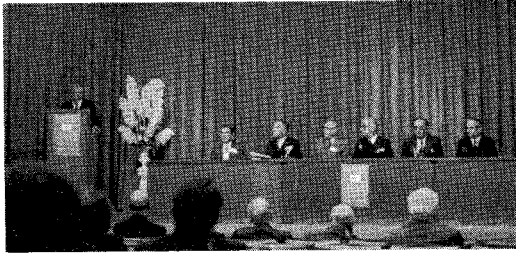


写真2 シンポジウム開会式。講演者は、第31委員会委員長で、ホスト役のサンフェルナンド天文台のオルテ氏。

運動は決められない。しかし他で決めた極位置を用いれば UT0 の比較観測は可能である。従ってカデイスでの報告は、主に、月レーザの原理・利害得失・運用方法などの検討の話、および UT0 の観測の結果 (BIH と比べて 1~3 ms の差がある) が紹介されたにとどまった。

衛星ドブラーは、既に 1969 年から現在まで NNSS 衛星による定常観測が行なわれており、極運動についても DPMS として長期間のデータが蓄積されつつある。従って従来の方法による天文観測極運動との比較検討が詳しく行なわれるようになり、このような報告が中心となった。これまでのドブラーシステムの精度としては、5 日平均極位置のインターナルな精度は 20 cm、軌道精度は 1~2 m。また極運動の経路については、DPMS と天文観測とは、年周などを除くと細部まで良く一致するので、このままで行けば天文観測は不用になる、という議論さえも出された。NNSS 衛星はしかし測地専用ではなく、その改廃は米国 DMA の一存で決まることなので、将来のことは確実でない。そこでこれに対処すべくヨーロッパでは仏の GRGS を中心に MEDOC 計画が進められている。現在のところこれは、DMA の NNSS 観測に MEDOC 独自の観測所のデータを加えて、システムのテストを行なっている状況であり、結果は DPMS よりまだ悪い。その他単一の観測所でのドブラー・天文観測の比較の報告 (カナダ) もあり、良い一致を示して注目された。

以上、新技術に関しては少し詳しくとり上げてみたが、その他の研究報告については大まかな紹介に留める。

まず我々が最も注目していたこととして、77 年のキエフのシンポジウムの際の決議の混乱について各研究者がどのように考えているか、という問題があった。後で詳しく述べるように、日本ではこの「章動定数の決定」の問題に関するワーキンググループを作成して、昨年初めから検討を重ねていた。問題点はいくつかあったが、第 1 の「自転軸の選定に関する誤解」の問題は、キエフの責任者であるフォードロフを始め、全員が誤解を認める結果となり、むしろあっけないくらいであった。(この

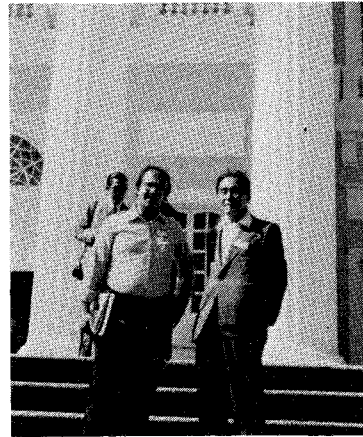


写真3 サンフェルナンド天文台正面。イタリアの A・ボマ氏と高木氏。後にヴィセンテ氏も見える。

結果については、昨年 5 月の天文学会春季年会で、ワーキンググループ速報として報告した。) 1974 年のトルンのシンポジウム以来、観測座標系に関してはいろいろな議論が行なわれてきたが、今回はこの章動係数の観測値や自転軸の概念などが話題の中心となった。

伝統的な研究方法の 1 つに、極運動や自転速度変動などのこれまでの観測値を統計的に解析して、新しい現象を見出そうとする行き方があるが、これに関しても多くの報告があった。やはり周期解析に関するものが多く、最新の統計手法をとり入れているものもあったが、結果は各人各様であり、いずれも今後地球自転研究の動向を大きく左右するようなものとは思えなかった。

地球自転研究における理論的研究と言え、やはり地球物理学的なテーマおよび手法が主となるが、今回はプログラムはこのような報告がかなり多く予定されていたにもかかわらず、この分野の人の欠席が多く、実際には非常に少なかった。これは前年のキエフで既にいろいろ発表されたため、と考えられる。

これらの報告の他に、各地の個々の天文台の独自の活動報告もいろいろあったが、これについては次節にまとめる。

最後に決議および提案関係について。このシンポジウムの公式の決議は 2 つあり、1 つは IAU のこの分野 (主に第 19 「時」および第 31 「地球自転」の両委員会) の長年の待望であった「ILS データの統一再計算」が緯度観測所 (ILOM) の努力により完成したことに満足の意を表し、ILOM のスタッフに感謝するというもので、他の 1 つは、新技術による地球自転観測が軌道にのり始めた現在、今後の国際共同観測事業をどのように進めるかということを検討するワーキンググループ (W.G.) を作ろうというものである。前者に関しては、このシンポ



写真4 サンフェルナンド天文台子午環。上に上がっているのは天文台長オルテ氏(右)とヤッキフ氏。

ジウムで ILOM 横山氏より結果の公表があり、名実ともに完成している。また後者の W.G. のメンバーは、委員長ウルクィンス以下新技術を含む各分野の十余人となっており、日本からは古在氏、横山氏が参加している。

いろいろな提案の扱いについては次のとおり。まず例によって BIH のギノーから新しい UT の定義に関する提案があった。これは、地球自転角を春分点からでなく赤道上の不動点 (Departure Point) から測ろうというものであったが、これには疑義をとらえた人も多く、はっきりした結論は出されなかった。結局、前述の W.G. でひきつづき検討されるものと思われる。その後送られて来たギノーのプレプリントを見ると、これは将来の高精度観測時代の到来に備えて今から概念や定義を精密化しておこうという試みの一部であるようで、これは筆者も同感の所である。「千分の1秒の天文学」という標語はどうだろうか。

マルホランド(会場では「室蘭」と聞えてしまう)が、第19と31両委員会を一つにまとめることを検討せよという提案を行なったが、挙手採決の結果否決となった。しかし今回の提案は次回の総会での提案の布石のようにも思われた。

その他、キャフの決議の誤解に関しても多くの意見が出されたが、この問題については既に国際 W.G. が存在、活動しており、各自の意見は直接 W.G. の委員長に申し出るように、ということになった。なおこの W.G. には日本から木下宙氏が参加している。

以上、カディスの内容をまとめてみたが、これを7年前の盛岡と比べてみると、やはり新技術のウェイトの増大が明らかである。他の解析・理論研究などは、全て新技術のデータが出そろうのを待ってそれから始まる、と

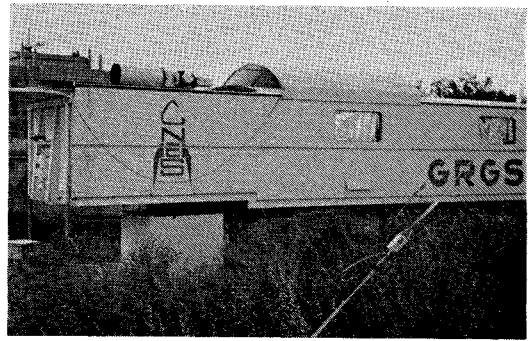


写真5 サンフェルナンド天文台内に置かれた、フランス GRGS 所属のレーザ測距トレーラ。

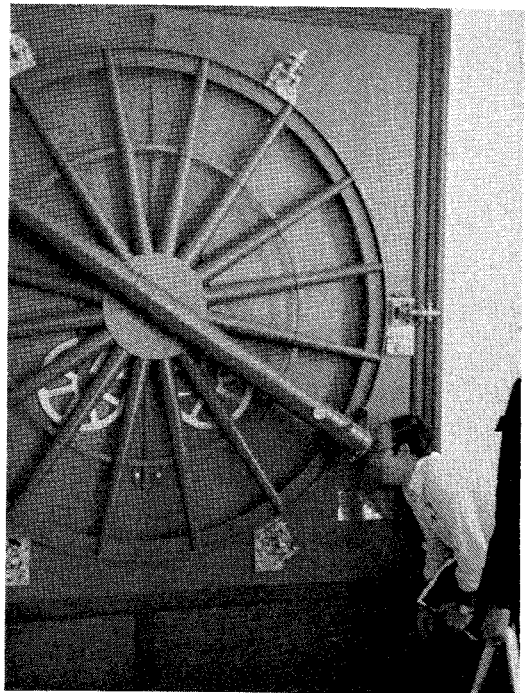


写真6 サンフェルナンド天文台内の展示

いう態度さえも感じられる。この辺に「日本の役割」を考えるキーポイントがあるのではないだろうか。

各国の天文台の活動(その1)

1週間のシンポジウムで知り得た範囲、およびその後のバリ天文台(市内)などの訪問、さらに各氏の各地訪問報告などを総合して、各国天文台の活動をまとめてみる。

カディスでは、シンポジウムの裏方役を果たしたスペイン海軍サンフェルナンド天文台を見学した。南スペインらしい美しい建物がまず目につく(写真3)。ここは観測の面では子午環(写真4)とアストロラーベが有名であるが、他にも地震、地磁気などの観測、あるいは兵



写真7 セブリヤ市内の古いアラビヤ風宮殿。

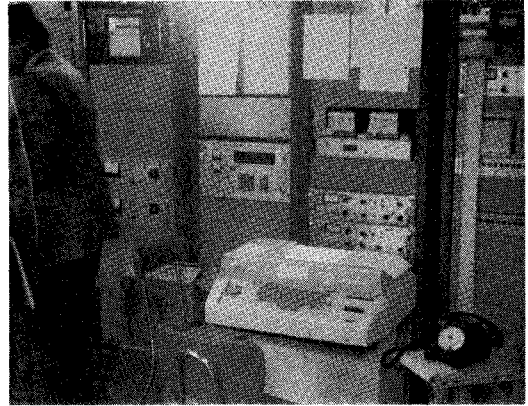


写真8 NTS 衛星受信機 (ラック中央)。左はギノー氏。

隊の教育などの仕事も行なっている。また特に注目されたのは、フランス GRGS (後出) の所有する衛星レーザ用のトレーラが置いてあったことで、これはコンピュータなどの処理システムまで含めたレーザ測距一式を搭載して世界各地で観測を行なうことができるものである (写真5)。しかし写真のように、天文台のすぐ近くまで高層住宅化の波が押し寄せており、困っているということであった。それから、これはどこの天文台でも皆そうだったが、伝統的な古い観測機器・古い書物などをよく保存・展示してあるのが印象に残った (写真6)。

次に、パリ天文台の BIH について。ここの活動は、我々の今後の活動を考える上で大変参考になると思う。まずこのタイムサービス関係の設備であるが、筆者の見た範囲では Cs 原子時計6台、ロランC受信機4台、NTS 衛星受信機1台 (写真8)、ソニーのテレビを用いたテレビ比較装置一式、その他の時計比較設備が少々、という程度であった。そして高価なロランC受信機も1台は USNO から、また NTS 受信機は NASA から、それぞれ預かりのものであり、また原子時計のビーム管も廉価なレギュラータイプ (これは短期安定度は悪く VLBI 等の観測には使えないが、長期的に安定な AT を保持することはできる) を用いていることなど、あまり設備投資はしていないように思われる。今後移転する新しい建物にはいろいろな設備もできるのだそうであるが、これまでの旧時計室などはロクな空調設備さえもなかった。

BIH をして世界の「時」の元締めたらしめているものは何かというと、それは、そのタイムサービス業務に徹した研究活動、および各国各研究所との緊密なコンタクト、さらにこれらを可能にしたアクティブな対外的活動にあると思う。例えば、BIH では高安定時計や天文観測機器、衛星受信機などの開発はやっておらず、地球自転の理論的研究にもあまり手をつけていない。もっぱら、一様な UT1 および TAI 作成のためのデータ処理

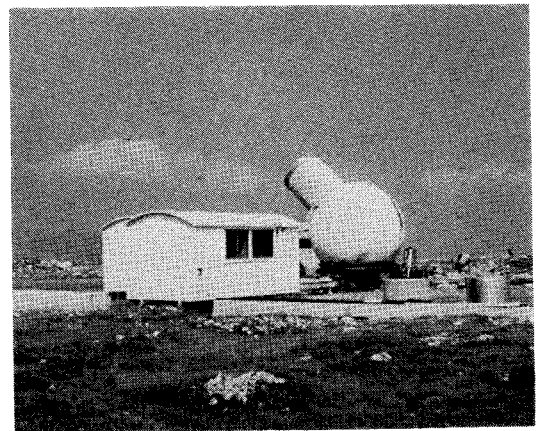


写真9 CERGA の風景。

法や、時計比較の新技術の精度テストなどに主力を注いでいるように見える。UT1 のランダム変動の研究などもあったが、これも地球自転変動の原因をさぐるためではなく、UTC 管理のデータ処理研究のためであるとのことであった。また BIH には時計は少ないが、テレビ電波を利用した高精度時計比較ネットワークによってパリ周辺の原子時計 (15 台) を総合し、「パリ標準時」とも言うべき時刻を保持している。これがあれば他の欧米各国の主要研究所が保存しているそれぞれの標準時と高精度比較が可能となり、ついには世界中の原子時計を集めて国際原子時 (TAI) を作成することが可能となる。少ない「もとで」から大きな取引きをするようなものか。ただし現在のところ日本を含む東アジア地域は高精度比較法が確立しておらず、日本は世界の 12% の学用原子時計を持ちながら TAI には参加していない。この点に関しても、BIH では静止衛星を利用したレーザ時計比較などを計画し、積極的な姿勢を見せている。(これについては日本からも改良案を提出した。)

アクティブな対外的活動という面では、BIH は世界各

地で行なわれる研究会に常に積極的に出席し、またそこでいろいろな提案や新しい問題提起を行っている点が注目される。そしてさらに、規則的かつ頻繁なデータの出版公表、几帳面な手紙のやりとり、いろいろな情勢へのすばやい対応、などの面にもこれは現われていると思う。一つにはギノーの個人的なカラーの表われとも考えられるが、やはりこれは徹底した業務化・合理化・専門化によってはじめて可能となっているのではないだろうか。

ところでフランスという国は、測地学に関しては17世紀末のカッシニの子午線長測量以来の伝統があり、この上に立つ意気込みとも言えるような雰囲気がある。現在でも感じられる。特に衛星などの「新技術」による測地の面では、米国のNASAに似たフランスの宇宙開発機構

CNESの中にGRGSという研究グループがあって、これが測地衛星計画、月レーザなどを独自に推進している。衛星ドプラーに関しては前出のMEDOCチーム(Médocはまたフランス産の有名なワインの名)が活躍しており、また月レーザは南仏の香水の名産地グラース(ラベンダーが有名)にある天文・測地センターCERGA(写真9)に建設中であり、米国マクドナルド天文台とも親密な関係にあるようである。

CERGAには前出のトレーラ式衛星レーザ装置も置いてあり、いずれはVLBI用の設備も備えるということで、将来ここに一大天文測地センターが実現することになる。(以下次号につづく)

本文に使用した略語

- BIH: Bureau International de l'Heure 国際報時局
(仏, パリ)
- CERGA: Centre d'Etudes et Recherches Géodynamiques et Astronomiques 地球力学・天文学研究センター (仏, グラース)
- CNES: Centre National d'Etudes Spatiales 国立宇宙研究センター (仏, トゥールーズ)
- DMA: Defence Mapping Agency 国防地理局 (米)
- DPMS: Dahlgren Polar Motion Service ダールグレン極運動事業 (米, ヴァージニア)
- DSN: Deep Space Network (遠方の)宇宙空間観測網 (米, スペイン, オーストラリア, JPLによる)
- EROLD: Earth Rotation from Lunar Distance 月測距による地球自転研究
- EUDOC: European Doppler Observation Campaign ヨーロッパドプラー衛星観測計画 (欧)
- GRGS: Group de Recherches de Géodésie Spatiale スペース測地学研究グループ (仏)
- GPS: Global Positioning System 全地球的位置測定システム (米)
- ILOM: International Latitude Observatory of Mizusawa 緯度観測所 (日, 水沢市)
- IUGG: International Union of Geodesy and Geophysics 国際測地学および地球物理学連合
- JPL: Jet Propulsion Laboratory ジェット推進研究所 (米, パサデナ)
- LAGEOS: Laser Geodesic Satellite レーザ測地衛星
- MEDOC: Motion of the Earth by Doppler Observation Campaign ドプラー衛星観測による地球運動研究計画 (欧)
- MRAO: Mullard Radio Astronomy Observatory マラード電波天文台 (英, ケンブリッジ)
- NNSS: Navy Navigation Satellite System 海軍航海衛星システム (米)
- NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration 国立海洋大気局 (米, ワシントン)
- NRAO: National Radio Astronomy Observatory 国立電波天文台 (米, ヴァージニア)
- NRL: Naval Research Laboratory 海軍研究所 (米, ワシントン)
- NTS: Navigation Technology Satellite 航海技術衛星
- POLARIS: Polar-motion Analysis by Radio Interferometric Surveying 電波干渉計による極運動解析 (米, NOAA)
- PZT: Photographic Zenith Tube 写真天頂筒
- RGO: Royal Greenwich Observatory 国立グリニッチ天文台 (英, ハーストモンソー)
- SAO: Smithsonian Astrophysical Observatory スミソニアン天文台 (米, マサチューセッツ)
- SBI: Short Baseline Interferometer 短基線干渉計
- SURGE: SEASAT Users Research Group for Europe SEASAT 衛星利用者, ヨーロッパ研究グループ (欧)
- TAO: Tokyo Astronomical Observatory 東京天文台 (日, 三鷹市)
- USNO: U.S. Naval Observatory 米国海軍天文台 (米, ワシントン)
- VLBI: Very Long Baseline Interferometer 超長基線干渉計