

## 国立天文台水沢の歴史



亀谷 収

(水沢 VLBI 観測所)

★国立天文台水沢（現水沢VLBI観測所）は、1899年に臨時緯度観測所として産声を上げました。その1世紀以上にわたる観測研究の歴史は、位置天文学を切り口とした世界の天文学の動向と日本の天文学の歴史を見事にトレースしています。2012年10月号「日本の暦の歴史」に続く歴史トピックスの第2弾として、国立天文台水沢の歴史を概観しながら国立天文台のルーツのひとつを辿ることにしましょう。

### I 1899年～国際緯度観測事業 (ILS) 時代

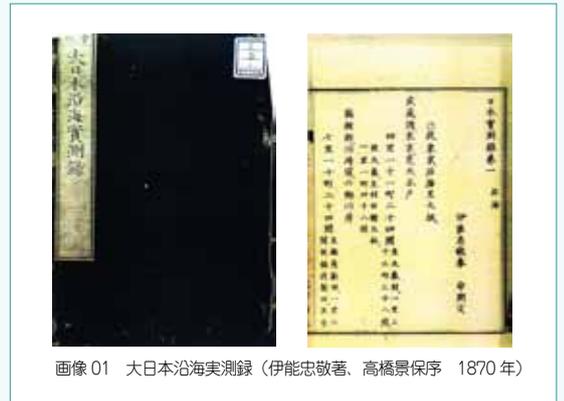
なぜ臨時緯度観測所が水沢に設置されたのかについては、次のような経緯によります。当時、地球の極軸が地球自体に対して動く現象（極運動）の解明が、天文学の最先端の研究テーマのひとつでした。このような運動が存在して、地球が完全な剛体であれば周期が10か月になるはずであることを予言したのはスイスの有名な数学者であるオイラーで、1767年頃（今から約250年前）のことでした。この極運動が存在すれば、地球上の任意の位置で緯度（および経度）が少しだけ変化することになります。例えば直径10m程度の大きさの極運動があれば、緯度変化は最大0.3秒角ほどになります。

19世紀中頃からそれを検出する試みがなされましたが、実際にそれが発見されたのは、1884年にキュストナーによります。ついで1891年、チャンドラーにより極運動の周期が10か月ではなく14か月であることが発見され、地球が完全剛体ではない事が示されました。これは、緯度変化の観測により地球内部の物理状態を調べる手段を我々が得たことになります。そこで、1895年にベルリンで開催された第11回万国測地学協会総会で、ILSを設立することが決議されました。極運動の決定精度を格段に上げるため、国際観測網を同一緯度上に展開し、全ての観測所が同じ星を観測し、星の位置誤差に起因する誤差を取

り除くことにしました。観測所の選定作業の結果、北緯39度8分上にある世界の6か所（アメリカ大陸のゲイザーズバーグ、シンシナチとユカイア、地中海の島カルロフォルテ、中央アジアのチャルジュイ、そして日本の水沢）に観測所を置くことに決めて、1899年から観測を開始しました。

日本の観測所を日本人の手で観測運用する事については、西欧諸国は当初は懐疑的で、ドイツから技師を派遣する提案もありました。しかし、結局、物理学者・田中館愛橋（たなかだて あいきつ）らの主張がとおり、水沢局は日本人自身が観測することになりました。実は、この背景として江戸期の観測技術の蓄積がありました。ILS開始の約100年前の1801年に伊能忠敬が蝦夷地の測量を開始しましたが、その頃から天測の技術は高いものでした（国立天文台ニュース2012年10月号・歴史トピックスを参照・画像01）。明治時代になり、明治政府は1872年に太陽暦に切り替えると共に、フランス武官から測地測量の指導を受け、日本人は高い観測技術を習得していました。さらに1891年に発生した濃尾地震（M8.0、死者7000人以上）で様々な測地観測が行われています。そして、東京帝国大学星学科を卒業した木村榮（ひさし）は、当時麻布にあった東京天文台で1895年に緯度変化観測を行い、田中館愛橋に測地測量などを学んでいました（画像02）。これらの下地があり、弱冠29歳の木村榮は、ポツダムでのILS観測準備の後、ドイツから借り受けた眼視天頂儀（画像03）と共に帰国し、臨時緯度観測所の所長に迎えられました。そして1899年12月よりILS観測を開始しました（画像04）。

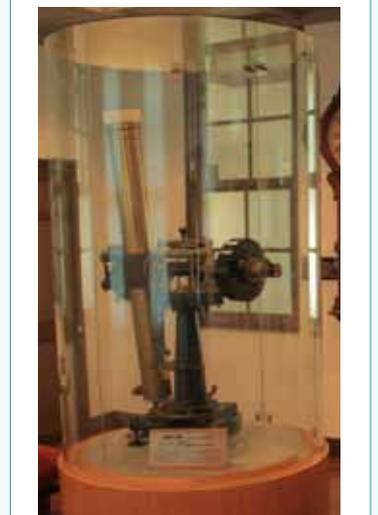
観測開始から約2年後の1902年（今から約110年前）、木村は緯度変化と極運動の関係にさらに一つ項（後にZ項と呼ばれる）



画像01 大日本沿海実測録（伊能忠敬著、高橋景保序 1870年）



画像02 田中館愛橋(右)と木村榮(左)



画像03 眼視天頂儀1号機。

を加えると観測結果をうまく説明できることを発見しました。このZ項の発見は、日本の天文学の世界への初めての貢献と言っても良い快挙でした（8ページ参照）。

その後、中央局であったドイツは第一次世界大戦で大敗を期した事もあり、さまざまな駆け引きの末、中央局は1922年～1934年の間、水沢が担うことになり、木村が中央局長になりました。同時に、それまで臨時の設置観測所の位置づけであった臨時緯度観測所が緯度観測所と改名され、恒久的な位置づけになりました。また、新しく大きな庁舎（現在の奥州宇宙遊学館）も建設されます（画像05・06は観測所の全景）。中央局を担当した間に木村は、大戦で少なくなった観測局を増やす努力や、南半球でも観測する努力を惜しまず、2度に渡り詳細な中央局のまとめを発行しています。

一方、なぜZ項が必要なのかという根本的な疑問については、当初木村は地球の気圧に何らかの原因があると考え、当時の最新の気象装置を導入して、高層大気の研究を初めとして、様々な観点から原因を追求します。しかし、結果は全て否定的でした。実はZ項の原因が地球の内部にある流体核（外核）の存在によると判明するのは、Z項発見から68年も経った1970年になってからのことです（後述）。

その後、緯度観測所では、最新の望遠鏡と写真撮影により、測定精度の向上をはかります。浮遊天頂儀（1939年／画像07）、写真天頂儀（これにより経度変化・地球自転速度変化の観測も可能になった・1955年／画像08）、ダンジョン・アストロラープ（1964年／画像09）なども同じ緯度線上に置かれ、観測が進められました。

国際的な観測体制の面では、再び勃発した第二次世界大戦によって、極運動の観測を行う局が減り、しかも交戦国に分かれたため、データのやり取りが一時期中断しますが、水沢の緯度観測所では、黙々とデータが蓄積されていました。戦後、解析が再開されることとなります。

## II 1962年～国際極運動観測事業（IPMS）時代

1962年にこれまでのILSがIPMSへと拡大改組され、水沢に再び中央局がおかれまして。初代中央局長に服部忠彦が命名されましたが、急逝したため、弓滋が引き継ぎました。

このころには、観測精度の向上により、極運動による変化は、緯度変化だけでなく、経度変化や自転速度変化も捉えられるようになり、これらの測定も必要になりました。一方、これらの測定には、精密な時計が必要となりました。緯度観測



画像04 1901年ごろ。左から夜間休息所、観測所、気象観測器。



画像05 日本館のたたずまい。1921年に新築された。



画像06 1935年ごろ。研究施設も充実。



画像07 浮遊天頂儀



画像08 写真天頂筒（右はその観測室）。



画像09 ダンジョンアストロラープ（右はその観測室）。



所でも水晶時計やその後の最新鋭の時計を導入して、対処していきました。これが、現在、水沢VLBI観測所天文保時室として中央標準時を担っている素地になっています（画像10・6ページ）。1967年には、国際天文学連合（IAU）の分科会も「緯度変化」から「地球回転」に名称変更



画像 10 標準時セシウム時計

なっています。つい最近までこの分科会名が続いていました。それまで別々に扱われていた極運動と自転速度変動はまとめて扱う必要が出てきています。その趨勢を受けて、世界時を決めていたバリの報時局 (BIH) は、この年、極運動と自転速度変動のデータ公開が開始し、水沢の中央局も遅まきながら1978年からBIHと同様の極運動と自転速度変動のデータ公開に踏み切っています。

一方、なかなか原因が判明しなかったZ項ですが、地震波観測などから、地球内部に流体核 (外核) とその内部の固体の核 (内核) が存在することが判明していました。さらに一晩の中での観測データを増やすことにより、Z項が一晩の間にも変化すること分かりました。1970年に当時の緯度観測所所員であった若生康二郎が、Z項の原因が、流体核とその外側が独立に動く事による共鳴現象である事を究明しました。1971年にIAU国際シンポジウム「地球回転」が盛岡開催され、1899年から始まった緯度観測が一つのエポックを迎えます。

その後、世界では人工衛星ドップラー追跡法による極運動の観測、月レーザー測距法★01による地球自転速度変動の観測 (1972年)、NASA地殻動力学計画 (1977年) など、新しい地球回転の計測方法が刷新され、光学観測によらない新世代の観測手法に移る事になります。水沢の緯度観測所は、極運動と自転速度変動のデータ公開開始 (1978年)、水沢ILS再計算データの成果公開 (1980年) を行うとともに、これまでの光の観測の限界を感じ、人工衛星ドップラー追跡法の導入や月レーザー測距法の検討後、精度が一挙に数十倍向上するVLBI (超長基線電波干渉法) 観測★02に軸足を移すことを検討します。当時の日本電信電話公社・横須賀通信研究所から譲渡された3mのアンテナをVLBI用に改造して、VLBI技術を

身につける事を始めます。並行して地球回転研究専用の大型VLBI装置計画 (VERAの前身の計画) についての検討を1983年から始めます。一方、眼視天頂儀観測は、1986年まで続けられました。また、写真天頂塔の観測は1991年まで続けられました。ここで、光の地球回転観測は終止符を打つことになります。

## 1988年～国際地球回転観測事業 (IERS) 時代

1985年11月のIAU総会で、VLBIなどの新技術を駆使した新しい国際地球回転観測事業 (IERS) を行うことに決定し、1988年1月から開始しました。緯度観測所では、この新しい事業に参加するためにVLBI技術を自前で持つ必要性を感じ、当時の東京天文台野辺山宇宙電波観測所のグループや郵政省電波研究所 (現在NICT) 鹿島グループや国土地理院のグループの協力を得ながら、鹿島にある26mVLBIアンテナを借用してIERSに参加してVLBI観測を行っています。

このような光から電波技術への移行の荒波の中で、BIHが国際度量衡局 (BIPM) へ改編された要因もあり、緯度観測所は、その使命を一応終え、1988年7月に東京天文台や名古屋大学空電研究所の一部と共に国立天文台という新しい組織に改組されました。緯度観測所は、国立天文台の中で地球回転研究系5部門と水沢観測センター (及び理論研究系1部門) という位置づけになり、野辺山のグループと密接な協力の元に、VLBI観測の新技術観測等を推進していくことになりました。

その後、笹尾哲夫や横山紘一を中心に、段階的にVLBIを発展させていく事を検討し、実行していきます。まず、三鷹で使用されていた6mミリ波望遠鏡をいったん水沢に移設し、VLBI用に改造した上で、水素メーザ原子時計とVLBIバックエンドがある野辺山地区に移設して1990年からIERSへ参加しています。また、水沢地区では、10m電波望遠鏡 (画像11) を設置し、水素メーザ原子時計 (画像12) とVLBIバックエンドを用意して、1992年からVLBI観測を開始しています。そして、究極の目標であるVLBI専用装置VERAの建設に向けた実績を積んでいく事

### newscope <解説>

#### ▶ 01 月レーザー観測法

月に置いてある反射器に対してパルス状のレーザー光を放射し、反射して帰ってくるまでの時間を正確に測定することで、レーザーを放射した場所と月の間の距離を正確に測る方法。地球の自転により時間とともに距離が変化することから地球の自転速度を求める事ができ、長期に観測することで、自転速度の変動を求めることができる。

### newscope <解説>

#### ▶ 02 VLBI

超長基線電波干渉法 (Very Long Baseline Interferometryの頭文字をとった) の事で、電波が波である性質を利用して、遠く離れたアンテナ同士を組み合わせ、一台の巨大なアンテナを実質的に作る。アンテナの位置を1cm以下の精度で測定したり、天体の位置や構造を非常に高精度で求める事ができる。各アンテナで天体の電波情報を時刻情報と共に磁気テープやハードディスクなどに個別に記録する。このデータが送付される相関局では、各アンテナのデータの同時再生作業 (相関処理) を行って、アンテナ同士を実質的につなぎ合わせる。



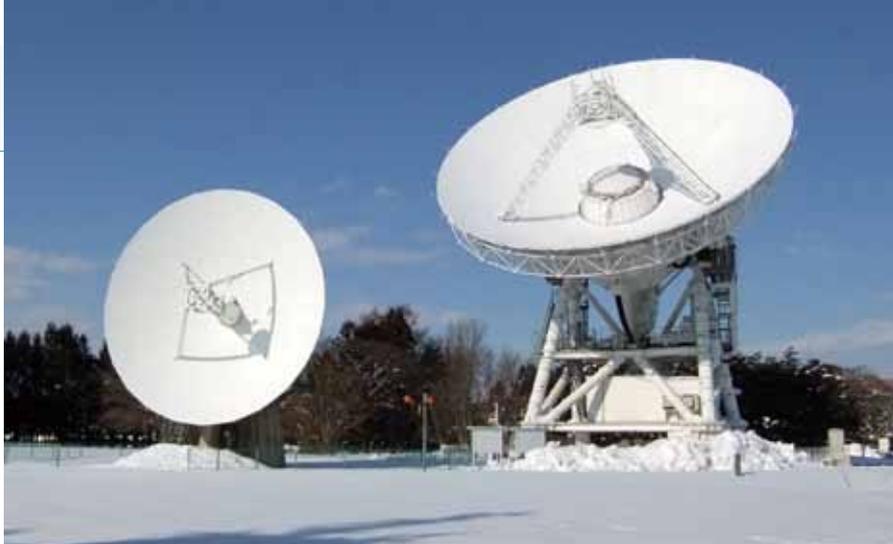
画像 11 水沢 短波長高精度 VLBI用10m アンテナ



画像 12 水素メーザ原子時計 (奥)。手前は世界時 UT の表示装置。



画像 13 鹿児島6m電波望遠鏡



画像 14 水沢局のVERA20m電波望遠鏡(右)。左は10m電波望遠鏡。

を選択します。

その頃、野辺山のグループは45m電波望遠鏡と電波研鹿島の34mアンテナを組合わせたKNIFEというユニークでパワフルなVLBI観測を開始していました。そこで、10m電波望遠鏡は、これに相乗りし、さらに、鹿児島大グループの主導により鹿児島に移設した6m電波望遠鏡(画像13)を組み合わせ、天体詳細イメージを得る国内VLBI網(J-Net)を実施しました。これにより、地球回転研究のためのVLBI装置だけでなく、天体イメージを得るVLBI観測の経験も積むことができました。また、国内に多くの若手研究者を育てることができました。

その後、これら若手の研究者が主体になって、新しい発想から新VLBI装置であるVERAのコンセプトが検討され、当初の地球回転観測専用のVLBI装置から、位置天文学専用のVLBI装置へと発展し、現在のVERA建設へと続いていきます(画像14/VERAの詳細については、国立天文台ニュース2010年8月号の特集記事を参照してください)。

また、緯度観測所時代から育ててきた固体地球と測地の研究グループは、GPSと重力計を武器に江刺地球潮汐観測施設(画像

15)や南極昭和基地など地球各地に装置を展開し、地球内部と地殻の研究を進めていきました。また、地球の動きから月や惑星への研究対象の拡大を行っています。その例が、RISE(Research In SElenodesy)グループで、ご存知の月周回衛星「かぐや」のミッションの一翼を担当し、詳細な月面の地形図と重力異常図を完成させることに成功しました(画像16)。出来て間もないVERAも使って、精度をあげる観測を行って成果を上げています。現在、その成功を受けて、RISE月惑星探査検討室として、次期計画★に向けた研究を行っています。

このように、緯度観測所時代には極運動から地球回転研究を中心に行っていた研究は、現在では、精密に測定する数々の手法を駆使して、銀河系の位置天文学研究や月や惑星の研究へと広がっています(画像17)。

このように、緯度観測所時代には極運動から地球回転研究を中心に行っていた研究は、現在では、精密に測定する数々の手法を駆使して、銀河系の位置天文学研究や月や惑星の研究へと広がっています(画像17)。

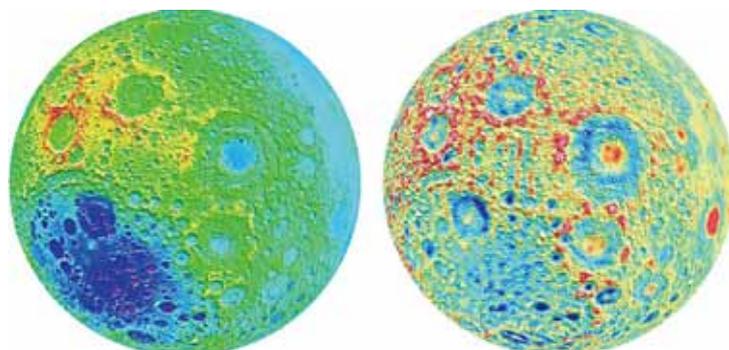


画像 15 江刺地球潮汐観測施設

newscope <解説>

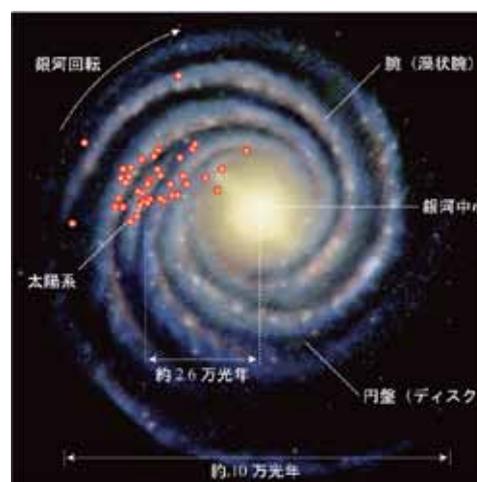
▶次期月惑星探査計画

天体の内部構造を調べることで、その進化と起源を探るといった研究の軸を発展させます。次期月探査計画「SELENE-2」や、次期小惑星探査機「はやぶさ2」、次期火星探査計画「MELOS」でも機器開発に加わっています。さらに水星や他の惑星の探査においても、新たな開発と研究を行っていきます。それとともに、国立天文台内外の惑星科学、太陽系天文学、系外惑星の研究者との協力を深めていく予定です。



画像 16 RISEグループが作成した月の地形図(左)と重力異常図(右)。(©NAOJ/千葉工業大学/JAXA)

画像 17 VERAの観測によって、銀河系内の数万光年遠方の天体の精密な位置や運動の測定が可能となった。図の赤印が測定された天体の例(欧米のVLBI観測の結果も含む)。



## Z項の発見

亀谷 收（水沢 VLBI 観測所）

木村榮（ひさし）初代所長が1899年12月から観測を開始してから1年が経過し、1901年9月にポツダムの中央局より初期観測結果の報告が出されました。極運動についての高精度の成果が出された一方、水沢とチャルジュイの観測誤差が大きいとの指摘がありました。その結果に日本の関係者は衝撃を受け、木村たちは徹底的な調査を行いました。その結果、観測機器や観測手法には全く問題がないことが判明しました。観測測定の結果自体に原因を探った木村は、半年ほど悩みましたが、好きなテニスを行ったあと、ほっとして所長室に戻って、ポツダムからの手紙のデータを見直した時に各観測所の観測誤差のデータが長期に同様に変化していることに気がつきました。その後、詳しい解析を行い、緯度変化と極運動の関係式に、さらに一つ項（後にZ項と呼ばれる）を加えると観測結果をうまく説明できることを発見しました。Z項とは極運動を求めるとき、観測局（緯度 $\phi$ 、経度 $\lambda$ ）の緯度変化 $\Delta\phi$ と極位置（X、Y）の関係式に対し、観測値残差をより少なくするために導入された項の名前です。

$$\Delta\phi = X \cos \lambda + Y \sin \lambda + Z$$

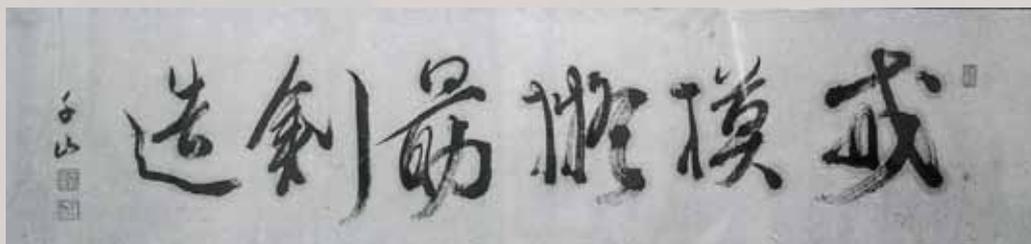
この結果は、すぐポツダムの中央局に報告するのではなく、まず、学術論文の形でアメリカとドイツの専門雑誌に投稿し、掲載が決まってから報告しました。この結果は、中央局でも認められ、その後、このZ項を含めて極運動の解析がされるようになりました。解析後の残差は、水沢が一番少ないというおまけも付きました。このZ項の発見は、日本の天文学の世界への初めての貢献と言って良い快挙であったといえ

ましょう。1902年の発見は、今から約110年前になります。

木村は、この快挙により、1911年に第一回帝国学士院恩賜賞を受賞しました。また、1936年には英国王立天文学会ゴールドメダルを日本人として初めて授与されています。これらの結果を受け、翌1937年には第一回文化勲章を受賞しました。水沢では、文化会館（Zホール）、Zアリーナ、Zバス、日本宇宙少年団水沢Z分団など、多くの名前に今なお“Z”の文字が使われていて、Z項発見の快挙が市民の記憶に留められています。



木村榮の肖像画（橋本八百二画伯作）。



木村榮の自筆「模倣を戒め、創造につとめよ」。



木村榮がやり取りした様々な手紙や手記が保存されている。

# 世界に挑んだ木村榮

## 日本天文学の歴史的快挙 "Z項発見"の記録



Z項を発見した眼視天頂儀 1号機。



木村榮が使用していた所長室を再現。



緯度観測所で使用していた歴代の観測機器。右は浮遊天頂儀

### 木村榮記念館

国立天文台水沢キャンパスの一角に、緯度観測所の初代所長、木村榮の業績を顕彰する記念館があります。

この記念館は、1900年（明治33年）に臨時緯度観測所の庁舎として建築された建物で、1966（昭和41）年の現庁舎新築にあわせて、現在地へと移転しました。

木村榮記念館では、木村が使用していたテーブルや椅子など当時の所長室が再現され、Z項発見当時の緯度観測所の様子を忍ぶ事が出来ます。また、木村の直筆の書や論文、観測記録、音声などのほか、Z項の究明のために用いられた歴代の観測装置、木村に授与された第一回の文化勲章など貴重な資料も多数展示されています。

木村榮記念館の前には、水沢観測所の前身である緯度観測所本館であった奥州宇宙遊学館があります。水沢キャンパスに立ち寄った際は合わせて見学したい歴史スポットです。



#### 木村榮記念館

開館時間 09:00 - 17:00（入館は16:30まで）

休館日 年末年始、火曜日（祝日の場合は翌日）

観覧料 無料

電話番号 0197 - 24 - 2020（奥州宇宙遊学館）

WEB [http://www.miz.nao.ac.jp/content/tour\\_guide\\_mizusawa\\_campus](http://www.miz.nao.ac.jp/content/tour_guide_mizusawa_campus)