

極運動研究のすすめ

弓

滋*

まえがき

地球の形状軸が自転軸と一致しない場合には、すでに18世紀の半ば頃、有名な数学者オイラーが提唱しているように、形状軸は自転軸のまわりをある周期で回転する。ところが、地表に固定された地点から見ると、自転軸が周期的に変動しているように見える。これを極運動と呼び、自転軸の動く道筋を極軌道と称している。

極運動すなわち自転軸が形状軸のまわりを周期的にまわるということは、もともと地球自体にかかわることであって、地球の形とか、その固さ、ひいては地球の内部構造のいかんに関係するところが深い。このことからすると、極運動の研究は、むしろ地球物理学的であるというべきである。ところが極運動はごく最近まで緯度変化観測という、まったく天文学的な手段によってだけ求められてきた。地球の南北両極点に立ってみても、自転軸が地表に顔を出している訳でもないで、極運動を目で追跡することはできない、またいまだかつて、地球物理学的手法その他の方法で極運動を求めするのに成功したという話を聞かない。

近年における観測機器の改良と、水晶時計、それに続く原子時計の開発によって時刻観測の精度は一段と向上してきたので、その結果としての経度変化からも、ようやく極運動を求めることができるようになった。また天文方位角の変化も精度さえ十分にあがれば、第三の有力な手段として採用することができる。そのいずれもが天文学的方法であり、極運動の決定およびこの研究は天文学だけの一分野であるかの観がある。現に国際天文学連合 (IAU) の第19委員会“地球回転”は極運動の観測と研究をその大きな柱として立てており、以前には緯度変化委員会の名がつけられていた程である。しかしふりかえてみると、緯度変化によって極運動を求めようという国際緯度観測事業 (ILS) が1899年に発足したのは、その当時の万国測地学協会の決議によるものであり、多分に測地学、地球物理学の方からの要求によって生れたものであることは明らかである。現在では国際測地学・地球物理学連合の中で、測地分科が極運動をその重要な研究項目の一つとしている。

極運動の観測には、たしかに天文学の知識と観測技術

* 緯度観測所

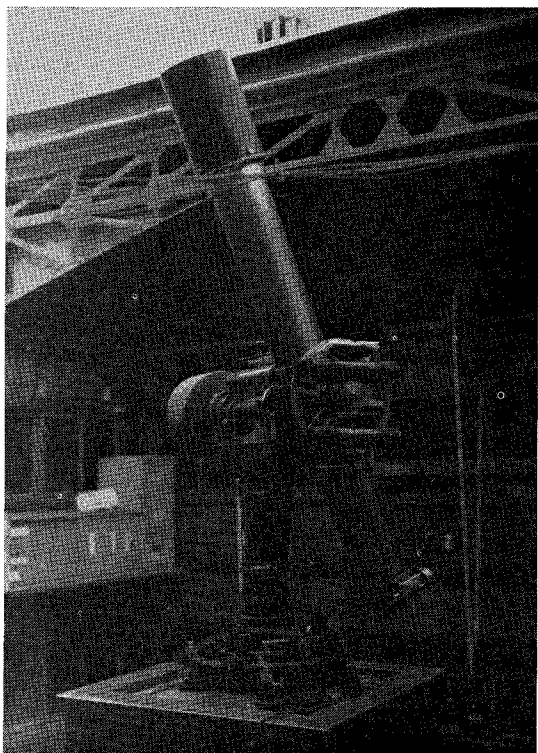
S. Yumi: Suggestions to the Problems on Palar Motion

を必要とし、また一般にはこれまで、それだけでおおよそ事足りるものであると考えられていたが、研究が進むにつれて、天文の分野だけでは到底間に合いそうにもないことが段々にわかってきた。ことに理論的研究の面では天文学だけでなく、測地学、地球物理学その他各分野の知識を導入しなければ、どうにもならない段階にきているように思われる。といった次第で、ここでは極運動の観測と研究がどのように行なわれ、天文学はもちろんその他の各分野と、どのように結びつき、将来どのような形態で進展してゆくであろうかについて述べることにしよう。

極運動はいかにして起るか

地球の形の上の軸と自転軸とは必ず一致していなければならぬという理由はどこにもない。一致しない場合にはどうなるか。それを教えたのが、オイラーの理論 (1765) であり、形状軸は自転軸のまわりを304日の周期でまわることを示した。裏を返せば、自転軸が形状軸のまわりを同じ周期でまわることを意味する。その後120年ほど経った1888年頃、ドイツのキュストナーとアメリカのチャンドラーとがそれぞれ独立に、天文観測の結果から、その実在を証明することに成功した。たしかに自転軸の位置はごくわずかではあるが、時々刻々変っている。しかし驚いたことに、その周期はオイラーの予言をはるかに上まわって約14カ月であることがわかった。これをチャンドラー周期と呼んでいるが、この食違いはきわめて重大である。オイラーは地球を剛体として取扱って304日の周期を与えたが、アメリカの天体力学者ニューカムは、地球は剛体でなく弾性体であるとして計算した結果、みごとにオイラーの理論値と観測値との食い違いを説明することができた。それによると、地球の平均の剛さは、ほぼ鋼鉄ぐらいのものになる。このように極運動の観測から地球の内部構造を知る手がかりが得られる。

これまでの観測結果が示すところによると、極運動は時に大きくなり、時に小さくなっている。チャンドラー周期も一定でなく、約14カ月を平均として、時期によっては1月位長くなったり短くなったりしている。ということは、地球の剛さがその都度変化しているとは考え難いから、地球の内部に何らかの大きな変動が起っていると考えざるを得ない。何が起っているかは、残念なが



第1図 眼視天頂儀

ら、現在直接に知る術はないが、極運動が間接的にこれを示しているともいえる。地震、重力、地磁気、地球潮汐その他諸々の地球物理学的現象の観測が精力的に行なわれているので、近い将来には地球内部がもっとはっきりとなるであろうし、その変動の様子も解明されることと思われる。そうなってはじめて、極運動がどのようにして起るかという問題もはっきりするであろう。極運動励起の理論的研究がいくつか進められ、各種地球モデルについて検討されているが、完成しているとは言い難い。平均的な極運動については説明できるとしても、これまでの観測から得られている複雑な極運動をうまく説明するに足る理論に到達するのは、余程先のことになるであろうと思われる。

すっかりした理論がまだ出ていないだけに、極運動の予報は至難である。わずかに過去数年にわたる実績の解析をもとにして数カ月位先を予報することは試みられているが、予報期間が長くなるに従って精度はグングン悪くなる。これらのことはすべて極運動の研究には、地球物理学の協力がいかに大切であることを示している。

極運動はどのように観測されるか

自転軸の位置が移れば、地球上各地の緯度、経度、方位角のすべてが変化するため、反対に地球上の各地で緯度、経度、方位角の変化を観測して、それらを総合すれ

ば極運動を求めることができる。観測地点が多ければ多い程、極運動はよく決まる訳であるが、反面困った問題も起ってくる。すなわち、これらの天文観測では、いつも星が中間媒体として入っている。星それぞれの位置を示す星表の値には、ある程度の誤差が入っているため、星の観測によって得られた緯度、経度、方位角には、星の位置誤差がそのまま入りこんでくる。これをなくすためには、各観測所が同じ星を同じプログラムに従って観測することが必要になる。緯度観測の方では、この条件に従って、1899年末に国際緯度観測事業 (ILS) が誕生した。北緯 $39^{\circ}08'$ 線上に6観測所を設け、全く同型の天頂儀で(第1図)、同じ星を同じように観測することにした。こうすると、各観測所で観測された緯度変化を総合して北極の位置を決定する時、それは数学的取扱いによって星の位置誤差の影響を蒙らないで済むようになり、極めて精度の高い極運動を求めることができる。この精神と手法は70年経った今日にも受けつがれている。

一方世界各地に点在する地点で、それぞれ異なった星を独立に観測して緯度変化量を求めた場合には、それぞれの観測値に対して星の位置誤差の影響が入るが、多数をたのんでかかれれば、平均的には総合された結果が受ける影響は少ないとする考えから、国際極運動観測事業 (IPMS) が1962年に発足し、現在では北緯 $39^{\circ}08'$ 線上の5 ILS 観測所の外に40に近い場所で緯度が観測されている。ある理由から今のところ極運動は5 ILS 観測所の結果だけから求められているが、近く全観測所の結果が極運動決定に寄与するようになる見込である。それはある観測所の結果が、かりに星の位置誤差の影響を受けていたとしても、多数観測所との組合せによる総合結果と照合して、誤差の量をかなり正確に推測できることが最近の研究によって明らかにされたからである。この外厳密には、IPMS では極運動を決定するのに役立つ観測の結果は、すべて取入れることになっているので、緯度の外に時刻観測の結果も方位角観測の結果も計算に入れなければならない。しかし今のところ、連続的な方位角観測を実施しているところはないらしい。また時刻観測は約50ヶ所で行なわれているが、現在まだ極運動決定に利用されるには至っていない。緯度変化の場合は、赤道というはっきりした基準を持っているので取扱いが比較的簡単であるが、時刻の場合には、緯度における赤道に相当する基準をどこに求めるかについての問題があって、結果の活用を遅らせているといえよう。しかしこの問題も原子時系の確立に伴って自然と解決され、時刻観測結果の極運動決定への寄与も近くなると考えられる。

極運動を天文観測によらないで、地球物理学的手法で求めようという案を出した人があるので、その要旨をこ

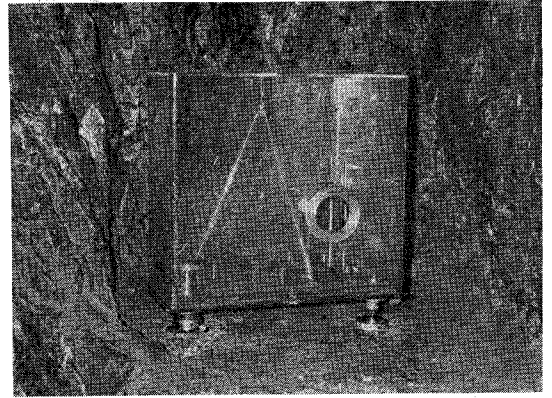
ここに紹介しよう。原理は極めて簡単である、すなわち北極または南極の極点近くに設定された正三角形の各頂点における重力の値を精密に測定し、三つの値が全く等しくなるように三角形を順次移動して極点を見つけようという訳である。重力の値としては、地球の引力と自転による遠心力とが合成されたものが観測されるから、極点を重心とするような正三角形の三頂点では重力値がまったく等しくなり、極点からはずれたらそれぞれが異なった値を持つというのが考案者の論旨である。構想は誠に結構であるが、まだ成功した報告に接していない。重力観測機器の精度にも問題があるであろうし、また酷寒の極地で果して実施可能であるかどうかにも疑問があるが、斬新なアイデアとして敢えて紹介する。

極運動の算出

極運動による緯度変化量と北極の位置を表わす座標との間には $\Delta\phi_i = x \cos \lambda_i + y \sin \lambda_i$ の関係がある。ここに $\Delta\phi_i$ は i 観測所で観測された緯度変化量であり、 λ_i は i 観測所の西経である。座標の原点は形状軸の北極にとるのが望ましいが、その決定は非常に難しいので、便宜上それに近いところにあると思われる平均北極の位置にとり、 x, y 両軸はそれぞれにグリニジと西経 90° の方向にとる習慣になっている。

ILS の観測結果から北極座標を求める場合に当初は上の式によっていたが、 $\Delta\phi$ の観測値と理論値とがどうもうまく合わないことに端を発して、1902年木村博士によって発見されたものが ILS における z 項であり、式の上では $\Delta\phi_i = x \cos \lambda_i + y \sin \lambda_i + z$ として表わされ、今日でもこの式が重視されている。すなわち z は観測所の経度とは全く無関係であり、各観測所に共通したものである。しかも振幅 0.03 程度の年周変化をすることも判っている。この z が果して何であるかについては多くの学者が研究を重ねた結果、ILS の共同観測所に共通な気象の影響によるものであるらしいという見方がなされたこともあるが、最近それは星の視位置を計算する時に使う半年周期章動項の係数や、日周強制振動項の係数が実際の地球構造から求めたものでなく、地球を剛体であるとして計算されていることによって起っているのではないかと論証を試みる人もあり、今後における興味深い研究課題の一つである。

z 項はこれまで ILS 観測所だけに共通に現われるものであると一般には考えられていたが、それぞれ独立して異なった星を観測している IPMS の各観測所での結果を z を含む式で解いても、やはり ILS の時に得られたものとほぼ同じ量の z が得られることが最近明らかにされたことは注目に値する。すなわち年周 z 項は緯度、経度とは無関係に現われるようであり、その原因はむしろ



第2図 地盤傾斜変化を観測するベルギー王立天文台式傾斜計

る最近の論説に近いように見えるが、さらに慎重な検討を重ねることが必要であろう。

極運動観測の障害となるもの

極運動の量は極めて小さく、これまでの実績からすると、その振幅は高々 0.3 であり、 z のそれはさらに桁小さい 0.03 程度のものである。これから見ても極運動研究のための経緯度観測がいかに精密でなければならぬかがうかがえる。大気屈折にもこの程度の量は十分に予測されるので、余程慎重でないとい何を測定しているのか判らなくなる。普通の大気屈折については、その影響から免れるだけの方策が観測法の中に仕込まれているので一応問題外にするとしても、大気各層の密度異常分布、ことに観測機器近くの気層異常による異常屈折が大変な障害となることが予想される。このために経緯度観測所では特別に気温分布とか風向風速の常時測定も行なっている必要の補正を加えることができるように研究が進められている。こういった意味からすると、望遠鏡の近くに大きな熱源になり得るような構築物があるのは望ましくない。望遠鏡の近くを走るコンクリート道路の影響であろうと思われるような異常値が観測結果の解析によって見出されている。広々と開けた原野のただ中で、四方対称の観測室の中心に望遠鏡を設置するのが望ましいのもこの理由による。

地盤の軟弱も大きな障害となる。近くを車が走っただけでも振動が起り、星像を悪くし、従って観測の精度を悪くする。緯度も時刻もともにその時の自転軸の方向と、重力の方向とによって定まるものであるから、緯度変化、経度変化を観測するためには地盤が安定し、重力方向も安定していることが必要である。地盤が軟弱であれば、地盤の潮汐現象によって多少のずれを生じたり、重力方向の変化が大きく生ずることがあり得る。従って地球潮汐を常時観測することによって、その補正を考え

てゆかなければならない。(第2図)

さらに困ることは地殻自体が動くことであろう。最近の地質学的研究、ことに古代地磁気の研究から地殻の移動、大陸移動の可能性が論ぜられていることや、地震、火山活動の状況から見ても、地殻がじっとしているとは思えない。もし地殻が少しすべったとすると、それに応じた分量だけ各地の緯度や経度は変化してしまい、極運動によって起る経緯度変化に加算されるおそれは十分にある。このような動きを今後どのようにして正確に求めるかが重大な課題として残る。

地殻変動の問題をかかえこんでいる地球には、その形がいつも一定で不変であるという保証はない。実際の形が変形しているのか、重力ポテンシャル面が変形しているのかはわからないが、そういうことが起っているのではないかと思われる証拠が最近極運動の研究から次々と提出されている。正確な極運動を求めるには、どうしても天文観測結果から推定されるこの種の変化の存在を地球物理学、測地学その他の手段で直接実証し、すっきりさせなければならない。

このような事柄を反映して、国際天文学連合 (IAU) も国際測地学・地球物理学連合 (IUGG) のいずれもが、正確な極運動の決定が天文学的にもまた地球物理学、測地学の面にもますます重要視されていることから、経緯度観測の強化を強調すると同時に、大気異常屈折の研究およびその関連事項ならびに鉛直線方向の局地的変動の有無を明らかにすることを決議しており、IAU の第 19 委員会が、これまでの“緯度変化”の名称を“地球回転”と改称した折に、その取扱う主要研究項目に鉛直線方向変化の局地性を追加しているくらいである。また、IAU, IUGG はともに 1967 年に開かれたそれぞれの総会において地殻変動、大陸移動を重要問題として取上げ、その天文学的手段による実証の方法として、南北両半球上それぞれにおける同一緯度上の共同観測を強化することや、PZT, アストロラープのような経緯度両用機を適正に配置すること等を決議し、その上にまた人工衛星や月面上反射プリズムによるレーザー測距や、観測所の地殻、鉛直線方向の安定度を地球物理学的方法で測定することを勧告している。

以上述べたように、経緯度の観測にはさまざまな障害が加わっていることが予想されるが、これらは当然適正な方法であらかじめその影響を取除いておかなければならない。経緯度観測結果に対しては、天文学の見地からの補正は可能な限り施されているが、まだまだそれ以外の未知の系統誤差が混入していると考えざるを得ない。ことに地殻変動とか重力方向の変動については手がつけられていない。それにもかかわらず、たとえば緯度観測値から極運動を求める時には $\Delta\varphi_i = x \cos \lambda_i + y \sin \lambda_i + z$

の式を使い、 n 個の観測方程式の最小二乗法解として三つの未知数 x, y, z を求めているが、そのことに重大な問題がひそんでいるといわなければならない。最小二乗法は元来、系統誤差を含まない観測、測定値にだけ適用されるものであり、偶然誤差だけが許される。この趣旨に沿って最近では経緯度観測値を推計学的に取扱ひ、その信頼度を高めていこうという態度が生れてきている。ソ連ではかなり熱心にこの問題と取り組んでいるし、日本でもその方向の研究が熱心に進められている。

極運動の解析から何が得られるか

原子時計が 10^{-11} とか 10^{-12} とかの高い精度で時を刻み、飛び交う人工衛星の位置観測から地球の形とか、重力の場の様子が算出される今日、地表各点の位置を正確に知ることは必須のこととなってきた。測地測量でもって、各点の位置は一応定められるが、これはあくまでゼオイド上での相対的のものである。地球の北極ないしは南極に対してどこにあるかを正確に知るためには、どうしても、そのときどきにおける北極の位置がわかっている、星の位置観測によって決定しなければならない。また長年月の間に地点がどのような動きをしたかについても、何か基準になるものがほしい。その基準になるものが、ある適切な地上固定点であり、それを原点として表示される極運動によって計算することができる。

先に極運動は約 14 カ月の周期をもっていると述べたが、実はこの 14 カ月周期のチャンドラー変化と 1 年周期の年周変化とからなっている。前世紀末以来の信頼できる極運動座標値を解析してみると、たしかに周期 1 年のものと約 14 カ月のものが見出される。ただし後者については、常に 14 カ月ではなく、13 カ月足らずに短かくなったり、時には 15 カ月になったり変動しており、最近 6~7 年間のものでは 14.5 月を示し、平均の 14.1 月より多少長くなっている。

極運動の振幅について調べてみると、年周のものではほとんど変化がなく $0^{\circ}10$ 程度であるのに反して、チャンドラー周期のものは $0^{\circ}10$ から $0^{\circ}30$ の間を 40 年周期位で大きく変動しているかに見える。

極運動がどのようにして起されているかについては、現在まだ判然としないが、現実の極運動は安定した年周的なものと、周期、振幅ともに変化するチャンドラー的なものからなっていることを示している。年周項の原因は、むしろ地球をとりまく大気の構造や、地表上の降雨、降雪、植物の繁茂の様子などが年周的变化をしていることと密接なつながりがあるように思われる。大気大循環によって起される極地上空の渦の移動による地球主軸の慣性能率の変化によって極運動の年周変化部を説明しようとする試みもなされている。

一方チャンドラー項から地球の剛さを示すラブ常数を導き出すことができる。このことによって地球の内部を推測することができるが、地球潮汐の観測から求められるラブ常数と必ずしも一致しない。極運動の観測は勿論、地球潮汐の観測とその整約にも問題点があるであろう。ここで特に重要に思われるのは、チャンドラー周期が時とともにその平均値の数%から10%以上にも大きく変化することである。地球の内部で何か余程大きな変動が起っているためであろうと考えざるを得ないし、極運動の解析結果は地球の内部を探る大きな手がかりを与えるものであると信じている。極運動の解析研究とともに地震、重力の絶対値、地球潮汐その他できるだけ多くの地球物理学的連続観測が行なわれて、地球内部構造の時間的変化を解明してゆく必要がある。

経度変化観測では以前の精度があまり良くないので何ともいえないが、70年に近い緯度観測の結果からは、観測所の位置関係は必ずしも一定不変ではないだろうと考えられる結果が出されており、先にも述べた大陸移動の可能性ともつながりがある。それはまた、たとえば、水沢が年に 0.001 南進し、アメリカ西岸のユカイアがほぼ同じ量北進するという推定は、環太平洋造山活動地帯において、地球内部から、ある程度の熱の流れが地表面向う場合、水沢、ユカイアそれぞれに南北進があり得るといふ地球物理学的理論研究の帰結とも一致している。

空を仰いで星を観測した事柄から足許の動きが推定されるということは極めて奇妙に思えるが、実は当然のことである。足許の動きを無視して空だけを仰いでいる天文学者はいつかはドブに落ちこむ危険がある。

かつては極運動の研究に役立てる資料は ILS を構成する数観測所から得られるだけに過ぎなかったが、1962年以降では IPMS 参加の数十観測所の資料が活用される。それらによると、地球の形が重力ポテンシャル面の変化であるかは区別できないが、少なくとも地球そのものは常に一定不変、安定した状態にはあり得ないであろうことがわかってきている。シュマティックに見て、地球の形、ないしは重力ポテンシャル面がゴムまりのように片方が凹めばそれに直角方向が膨らみ、次にはその反対の動きをしているのかもしれない。また三角おにぎりみたいな形のものが自転軸を中心としてゆっくりまわっているのかしれないと考えることができる。現在の観測、整約の方法による限りにおいては、はっきりした結論を得るのに、もう20年、少なくとも10年の歳月は必要とするであろう。変化の形式がどのようなものであるにせよ、その変化の原因は地球の内部にあると考えられる。地球の各種モデルについて電磁流体力学的取扱いをする必要も生じてくる。

各地で行なわれている時刻観測の結果には、当然のこととして極運動の影響が入り、また地球自転速度変動の影響が加わっている。二点間の経度差だけをとり上げる場合には、後者の影響は一応除去できるけれども、その基準点をどこに求めるかについて色々面倒な問題があるので、原子時系の確立した今日では、むしろ極運動決定には時刻そのものの観測結果を利用した方がよいように思われる。この場合、自転速度の変動は時刻観測自体の整理によって求めることができるが、できることなら、別の独立した方法で求めたいものである。それは経度差変化は微量であり、自転速度の変動量にくらべてずっと小さいからである。

自転軸が形状軸のまわりを動くということ、すなわち極運動と、自転速度変動とは無縁である筈がない。極運動を起す程に主慣性能率の変化があるならば、その原因と考えられる地球内部あるいは地球形状の変化は、当然地球の自転速度を変動させる筈である。最近、緯度観測の側から求められた地球形状(重力ポテンシャルを含む)の変化と自転速度変動との関連が、かなり明確にされてきているのも、このことを裏づけるものである。

このように書き上げていると、極運動からいろいろの事柄が際限なく引出されるが、紙面の都合もあり、このあたりで袋の紐をしぼることにしよう。

他の諸分野とどのように結びついているか

極運動と他分野との結びつきは、改めて取上げるまでもなく、これまでにも各項目で必要の都度出てきているが、理論的には天文学、地球物理学、測地学、地質学等と密接に結びついており、内部構造を考える場合には、天体物理学的理論の応用発展も必要になってくるであろうし、それぞれとの協力提携が絶対必要となる。また観測の面でも、天文学的手法による緯度、経度観測には観測地点の安定度を地球物理学的に確めることは欠くことのできないものである。このことはこれまで、一般に軽視されがちであったが、ことに天体位置を観測する分野においては、足許に対して十分な考慮が払われなければならない。測地学を含む固体地球科学とは、このように観測、理論の両面において固く結びついている。

最近、カナダの地球物理学者は大規模地震と極運動との関係を論じている。世界各地で観測される程の大地震が起るためには、それなりのかかなり大きなエネルギーを必要とするであろうし、それは当然主慣性能率をかえ、極運動にも何らかの変化を来たすであろうという考えによっている。

昔は光学望遠鏡に頼り、目で直接観測し、手力で計算をしていたが、現在では写真観測の導入、電子工学的自動計測の方式が取り入れられ、時計は振子の周期が分子の

振動にとって代られている。このように現代の観測技術には写真科学、電子工学の助けをかりることが多くなり、球面天文学を知っているだけでは間に合わなくなっている。

地球の自転速度を実験室内で測定しようとする試みも始められている。これはレーザー光線を利用した回転計を地球自転速度の検出に利用しようというものである。十分な精度が得られるならば、自転速度変動も検出できる筈であるが、レーザー回路の構築、その安定度等について電子工学的にも、また工作技術的にもまだまだ困難な問題が山積している。

近く月に向けて発射されるアポロ11号が月面到着の暁には、そこにコーナ・リフレクターという特殊な反射プリズムを据えつけることになっており、地球上からレーザーを発射してその反射光をとらえ、往復に要する時間(3秒弱)を精密に測って、月までの距離を誤差15cm程度の確かさで求めようという計画がアメリカで進められており、日本にもその観測協力を申入れてきている。地球からの平均距離約37万kmを、計画どおり測定できるとすれば15cmの、悪くいても1.5m位の誤差できめることができるということは大変なことである。極運動決定の精度は色々の条件とてらし合せてみて今のところおよそ30cmぐらいであるから、ほぼこれと同

じ程度である。場合によっては月面コーナ・リフレクター利用によって極運動を求めることができるようになるかもしれない。大陸移動の検出もこれによれば、かなり容易になる筈である。このような意味では人工衛星の観測からも、その精度を上げる工夫さえ進めば、極運動決定に利用し得る可能性が生じてくる。

また最近話題になっているキューサーを利用する長基線電波干渉計は、その設備に大変な費用を要するそうであるが、極めて小さい電波源から出されている強い電波を受信するので、その基線長は極めて精密に測られる。このような観測が地表上各地で行なわれるならば、極運動を求める有力な手段となるかもしれない。

む す び

以上述べたように、極運動そのものは振幅がおおよそ0.3以下という程の小さい量のものであり、地表各地での緯度とか時刻の連続観測から一応は容易に求められるが、極運動の根源は意外と深く、地球の内部に秘められているといえよう。ましてや、地殻の変動とか重力方向の変化がある場合には見かけ上の緯度変化や時刻変動が起り、極運動の追求を妨げる。要するに、極運動は地球自身の謎を解明する有力な武器であると同時に、地球の秘め持っている特性によって見せかけの極運動がひき起

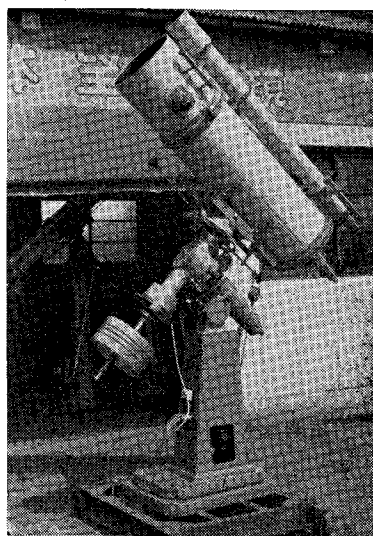
西村製の反射望遠鏡

- | | |
|----------|-------------------|
| 30cm “A” | カセグレン・ニュートン兼用 |
| | 10cm 屈折望遠鏡 (f/15) |
| “B” | カセグレン焦点 |
| | 15cm 屈折望遠鏡 (f/12) |
| 40cm “A” | カセグレン・ニュートン兼用 |
| | 15cm 屈折望遠鏡 (f/15) |
| “B” | カセグレン焦点 |
| | 20cm 屈折望遠鏡 (f/12) |

株式会社 西村製作所

京都市左京区吉田二本松町27
電話 (771) 1570, (691) 9589

カタログ実費90円郵券同封



30 cm 反射望遠鏡

ニュートン・カセグレン兼用

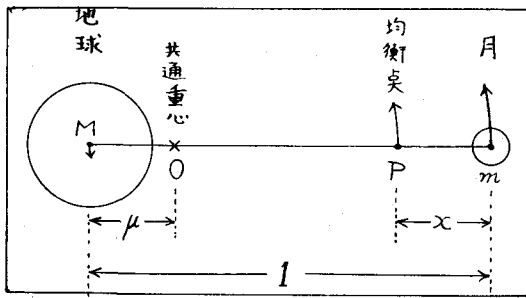
され、本来のものと共存する結果を示しており、その説明はあだかもいたごっこに似たものがある。手をこまねいているだけでは、この謎はいつまでも解きほぐすことはできない。天文学者は勿論のこと、測地、地球物理、

地質、数学、電子工学その他のありとあらゆる関連諸分野の研究者は互いに力をかし合い、極運動の解明にその精力を傾注すべきであり、ことにヤングパワーの奮起を期待すること切なるものがある。

《投稿欄》

引力の均衡点

アメリカのアポロ宇宙船がしきりに地球と月の間を往復しているが、もしかりに宇宙船が地球と月を結ぶ直線上を運動するとしたら、月からどれだけの距離のところまで引力がゼロとなるだろうか。



簡単のため月の公転角速度 ω は一定とし、地球と月以外の天体の引力は考えないことにする。地球と月の質量をそれぞれ M, m 、万有引力定数を G 、地球と月の距離を l 、共通重心と地球中心との距離を μ 、引力の均衡点と月中心との距離を x とすれば、均衡点 P にある単位質量に働く地球および月の引力は大きさが等しく方向が反対であるから

$$\frac{GM}{(l-x)^2} - \frac{Gm}{x^2} = 0 \tag{1}$$

これを解くと $x = \{1 + \sqrt{M/m}\}^{-1}$

$M/m = 81.303$ であるから $x = 1/10.02$

すなわち均衡点は月から地球までの距離の 10 分の 1 (3.84 万 km) のところにある。

実はこれは正しくない。地球と月を結ぶ直線は 1 恒星月の周期で回転しており、点 P には引力のほかに回転による遠心力も働くからである。ゆえに (1) は、正確には

$$\frac{GM}{(l-x)^2} - \frac{Gm}{x^2} - (1-\mu-x)\omega^2 = 0 \tag{2}$$

でなければならない。ところで地球と月に働く公転の遠心力は、両者間の万有引力と釣り合っているから

$$GMm = M\mu\omega^2 = m(1-\mu)\omega^2 \tag{3}$$

(2), (3) より M, m を消去すれば

$$\frac{1-\mu}{(1-x)^2} - \frac{\mu}{x^2} - (1-\mu-x) = 0$$

すなわち $x^5 - (3-\mu)x^4 + (3-2\mu)x^3 - \mu x^2 + 2\mu x - \mu = 0$

$\mu = 3\lambda^2$ とおけば、この 5 次方程式の実根は、

$$x = \lambda - \frac{1}{3}\lambda^2 - \frac{1}{9}\lambda^3 + \dots$$

(3) より $\mu = m/(M+m) = 1/82.303$ であるから

$$\lambda = 0.15940, x = 0.15048 = 1/6.6454$$

すなわち均衡点は月から 5.784 万 km のところにある。

実は点 P は制限三体問題における直線解の 1 つで、ラグランジュ平衡点と呼ばれる。直線解の第 2 の解は月の向う側にあり、月までの距離は $x = 0.16742 = 1/5.9730$ である。3 番目の解は月と正反対の側にあり、地球までの距離は $x = 0.99283$ である。

ラグランジュ点で宇宙船の速度がちょうどゼロとなっても、この点は不安定であるから宇宙船はこの点に長く止まることはできず、間もなく地球か月の方向へ動き出してしまふ。本誌 2 月号 43 頁で畑中至純氏がアポロ 8 号の軌道を 2 体問題で解いておられる。この解説は 2 体問題の応用としてまことに興味深いものである。氏が故意に避けた 3 体問題をわざわざもちだして蛇足を加えたことをおわびしたい。

(大阪市立電気科学館 佐藤明達)

学会だより

大塚奨学金希望者募集 昭和44年度の大塚奨学金を希望される方は9月10日までに下記事項記載の上“三鷹市大沢東京天文台構内日本天文学会理事長”宛お申込み下さい。(1)氏名、生年月日、年令、性別、(2)現住所、(3)学歴、(4)職業、(5)研究題目、(6)内地留学をしたいと思う研究機関、(7)留学を希望する期間と日程、(8)奨学金としての希望額、(9)これまでの主な研究経歴、なお詳細は大塚奨学金内規を御参照下さい。

秋季年会 1969年度日本天文学会秋季年会は次の通り開かれることになりました。

日時 10月14日(火)、15日(水)、16日(木)

場所 宮城県仙台市片平町大町頭 2

宮城県医師会館(東北大より徒歩 10 分以内)

(電話: 仙台 27 局 1591~2)

申込規定 天文月報 8 月号附録の講演申込み用紙に記載して、御提出下さい。

申込締切 8 月 31 日(日)

なお、仙台支部より適当な宿舎のリストが各支部理事あてに送られておりますから、それを御覧の上、各自で宿舎の予約をされるようにお願いします。また、講演申込者の中で、出張旅費の補助を希望される方は、各支部理事に御相談下さい。