

天文計測と蜘蛛の糸

深谷力之助*

はじめに

天文計測器械で眼視観測の場合、対物レンズの焦点面にある十字線は一般に良質の平面ガラスに細線を刻んだ焦点鏡であるが、高い精度の観測器械ではくも糸やタングステン、白金などの細線を使用する。特にコガネグモ科のくも糸は精密観測器械の測定線として優れた性質をもっている。

眼視子午環のマイクロメーターに組込まれて、天文学に貢献してきた蜘蛛の糸についてあれこれ解説する。

四分儀から子午環まで

むかし 17 世紀後半になって四分儀の焦点面にフィルムマイクロメーターを取付け、その頃考案されていたバーニャとの組合せによって角度目盛の読取り精度が格段に向上したことにより、観測精度が飛躍的に良くなった。記録によるとシングル角度秒の精度が得られたとのことであるから、このときすでにくも糸が天文計測器械の測定線として活用されていたものと思われる。

その後イギリスではハレーやブラッドレーによって四分儀が次々に改良されていった。この四分儀は天頂距離を測って北極距離を求め、結局星の赤緯を決めるために用いた天文器械である。

この頃の赤経観測はトランシットによるアイアンドイヤーすなわち耳目法方式で、時計の秒音を聞きながら固定して張ってある複数のくも糸の間のどの位置に星像があったかを知ることによって星の子午線通過の瞬間を求める方法であった。そして器械の設定誤差の補正はドイツの天文学者マイヤーによる方法を採用した。

このトランシットの固定糸は十字線になっており、明視野でこの十字線を見るための光源として石油ランプが使われていた。

四分儀は目盛が 90 度しかないので、目盛の読取り精度の向上に伴って目盛を刻んだリムの歪が影響して精度に限界があった。やがて全周 360 度の目盛をもった子午環が考案され、19 世紀の中頃イギリスではアーリーの子午環が設置されて長い間活躍した。

子午環では星の赤経、赤緯が同一視野内で観測できるようになったので、星の位置が均質に求まるようになった。19 世紀の後半になってレプソルドが自記マイクロメーターを考案するにおよんで眼視子午環の最終モデルができ上がった。

子午環と蜘蛛の糸

子午環を代表格とする光学天文計測器械で眼視観測の

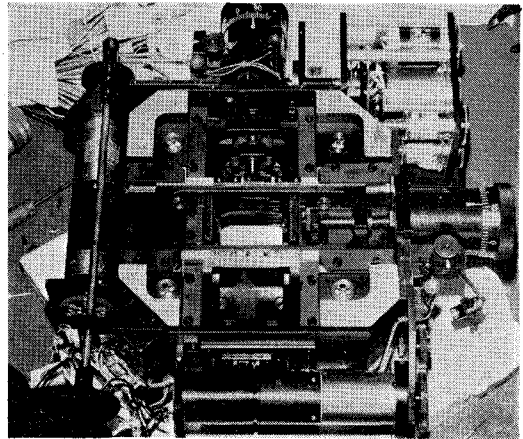


写真 1 子午環マイクロメーター内部

場合には、測定線としてほとんどくも糸を使ってきたので子午環のマイクロメーターのくも糸を中心にして説明する。

東京天文台の三鷹の敷地内にあるゴーチェ 20 cm 子午環は 1904 年製のもので接眼マイクロメーターを 2 回更新している。1969 年に製作した現役の接眼マイクロメーターの内部を写真 1 に示す。真中にある窓の先方に対物レンズがあり、その対物レンズの焦点が窓の上方にあるくも糸の張ってある枠の面上にある。写真 1 で真中の窓の右方に平行した白い線の群が一部見えているがこれも糸である。

写真 2 は国定枠の駒に張ってある 10 本のくも糸と、内側にある赤経可動枠の駒に張ってある 2 本のくも糸をそれぞれ示す。写真 3 はくも糸全部を拡大して示す。くも糸の太さは 12~16 ミクロンの範囲である。

写真 3 で中央の縦方向の 2 本のくも糸は赤経観測糸であって横方向に動き、その他縦方向の糸は固定糸で 10

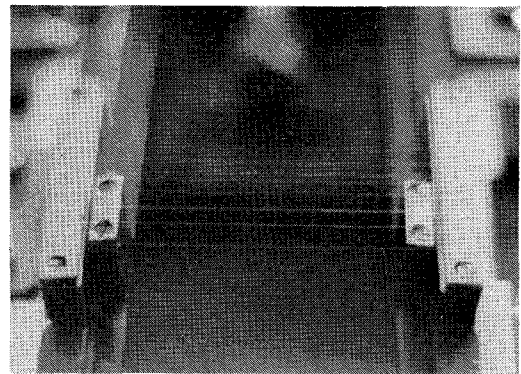


写真 2 固定糸と赤経観測糸

* 東京天文台 Rikinosuke Fukaya: Astrometry and Spider thread

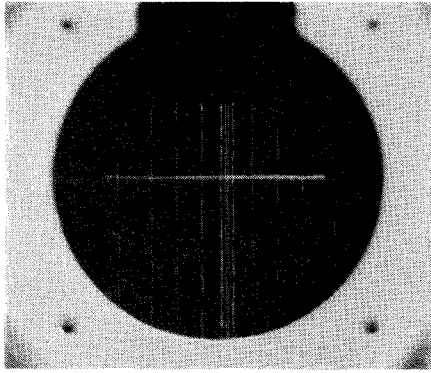


写真3 くも糸の拡大写真

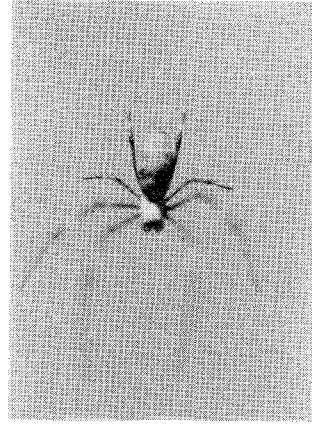


写真5 女郎蜘蛛の雌

本ある。また横方向の2本のくも糸は赤緯観測糸であって縦方向に動く。これら固定糸、赤経観測糸および赤緯観測糸の3面は0.1mm以内に並列して、接眼鏡の焦点深度の中に入っているため視差の影響はない。そして対物レンズの焦点はこの面内にあるので、星像はくも糸と同じピント内にある。

このマイクロメーターによる測定精度は±1ミクロンであり、角度では±0.1秒になる。しかしくも糸による個人差が加わるので観測精度は±0.2秒どまりである。眼視観測ではこの種の個人差の壁を越えることができなかったのである。

子午環マイクロメーターに使用する蜘蛛の糸はコガネグモ科のこがね蜘蛛か女郎蜘蛛の糸である。これらの蜘蛛の成虫の糸は分割すると素糸として10ミクロン強の太さの糸になる。この太さのくも糸は引張り強さ、弾力、耐湿性さらに均質性等を考慮して、天文計測器の測定線として極めて優れている。

蜘蛛の糸の採集

こがね蜘蛛と女郎蜘蛛は成虫になる季節がちがう。こがね蜘蛛は8月下旬から9月中旬に産卵を終って夏が去ると急にいなくなる。女郎蜘蛛は10月下旬から11月中旬産卵を終り、降霜に追われて姿を消す。このようにこがね蜘蛛と女郎蜘蛛は成虫になる時期がちがうと共に形態にもちがいがあつた。写真4(=表紙)にこがね蜘蛛の雌、写真5に女郎蜘蛛の雌の成虫をそれぞれ示す。

ここでこがね蜘蛛と女郎蜘蛛の特徴を書くこととなる。

1) こがね蜘蛛。こがね蜘蛛は節足動物コガネグモ科に属し成虫の雌は約25mm、雄は約8mmで背甲は暗褐色の地に銀白色の短毛で覆われる。腹部の背面は黒褐色の地に3本の黄色い縞模様がある。草間や軒下に丸網を張り、X字状の隠れ帯をつけ中央にあしを2本ずつ揃えてとまり昆虫を捕食する。本州、四国、九州の特産で鹿児島では雌を訓練してクモ合戦をさせる。

2) 女郎蜘蛛。女郎蜘蛛は節足動物コガネグモ科に属し成虫の雌は約30mm、雄は約10mmである。歩脚は黒色で腿、脛に黄輪があり、腹背は白黄地に3本の青黒帯があつて側面後方に鮮やかな紅斑がある。樹間に丸網または三角網を張り巣の縦糸が分枝して平行になっている。巣の中心に陣取つていて驚くとさかんに網をふるわせる。本州、四国、九州、朝鮮、台湾、中国等に分布している。

こがね蜘蛛と女郎蜘蛛は同じコガネグモ科に属しているためかこれら2種の蜘蛛はしばしば混同されている。

蜘蛛の糸は蜘蛛の腹部内の糸腺に蓄えられた粘液状の蛋白質が糸イボ微細管から数本まとめられて1本になって出てくるものである。

雌の蜘蛛がつくつた産卵の繭を探してこの糸を使えば均質で一樣な太さのくも糸がつくり易い。しかしこの繭は山林の落葉の中にあるのでなかなか見つけ難い。それに糸のくせを除くと同時に幼虫を煮殺するむごさがある。

このような手段で蜘蛛の糸を手に入れなくても、秋の終り頃大きく育つた女郎蜘蛛の雌の成虫が新しく巣をつくるために樹枝の先端から早朝の風に流している糸は一樣な太さで良くも糸になる。実際には風になびく糸を採るのでなく、風に乗って離れた場所に一端がくつくと蜘蛛はこの糸を伝つて何回か往復して巣のステータとする。すなわち掛けた巣のステータの糸を採集するのである。このステータの糸を分割してつくつたくも糸は自然が与えたすばらしい測定線となる。

こうして秋の終り頃の雌の女郎蜘蛛の成虫の巣のステータの糸を梓に採集しておくならば、この糸は何年でも保存が可能で必要なときに何時でも使用できる。

大きな女郎蜘蛛を捕えてきて、この蜘蛛のおしりから強制的に引き出した糸は素糸が撚れて出てくるので一樣の太さになっていない。この糸からつくつた素糸はルー

ペで観察すると数珠のようなムラになっており、測定線としては不合格である。すなわち無理はだめである。

蜘蛛の糸の実用

用意した蜘蛛の糸を分割して目的の太さのくも糸をつくる方法の概略を説明する。

先ず準備する道具として、3cm程の長さの木綿針の先端を約1.5mmの長さに直角に近く曲げて鋭くしたものの針穴部分をペン軸にさした分割針をつくる。直径1mmの針金を2cmと1cm程の長さに切って0.5gと0.2g程度のおもりをそれぞれ10個くらいつくり、一端をあぶってピッチを付けておく。アルコールランプ、ピンセット、ワニス、エチルアルコール、メチルアルコール、小筆、7cm程の間隔をもった枠、ルーペ等を揃える。

蜘蛛の巣のステーの糸はどこどこに強めのための結節があるからこの結節をさけて長さ10cm程に切りとり、この切りとった糸の両端に0.5gのおもりをアルコールランプで溶かしたピッチによってブラさげて枠にのせる。ルーペで覗いて結節などがなくて一様であることを確かめて、小筆の先にエチルアルコールをつけてこの糸を清拭する。次いで分割針の鋭い先を枠の途中で蜘蛛の糸に突き刺すと、先端が糸に引掛かるから静かに横に動かすと糸が分かれる。この分離した糸の端に0.2gのおもりをつけて切りとれば分割したくも糸がとれる。この手続きを4~5回くり返すとくも糸の素糸が得られる。素糸になる前に2~3本の素糸の束の段階で分割をやめれば太目の測定線となる。勿論素糸を重ねれば良い測定線になる。女郎蜘蛛の雌の成虫の糸の素糸は10~16ミクロンの太さであるからルーペでしらべて、目的に応じて素糸を重ねて適宜の太さにする。

分割した素糸の捩れを除いて、エチルアルコールで再び清拭して一昼夜枠の上に放置すると程良い弾力をもった様な太さのくも糸となる。この糸をマイクロメーターの駒に刻んだ溝に正しく入れた後、メチルアルコールで溶かしたワニスで固着し、数時間後余分な糸を切除すれば測定線としてのくも糸ができて上る。

素糸を重ねて複糸としたとき引張りが不完全であると明視野にしたとき測定線が波をうって見える。

ワニスでくも糸を固着する要領は写真2を参考にするとよい。

くも糸の性質

蜘蛛の糸からくも糸として望遠鏡のマイクロメーターに張ったとき、張ってあるスパン全体を通じてくも糸の太さは一様でなければならない。すなわち明視野で見たとき、くも糸の黒さにむらがあってはならない。また子午環では11等前後の微光量を観測するので暗視野にするが、照明を受けたくも糸の輝きが一様でなければ星を

見失ない易くなる。人間の眼は微小なものを見るとき視細胞が主として桿状体であるので、測光学上色盲に近くなり黄か青に近い色として感じる。したがってくも糸がムラに輝くとくも糸の太さに近い星像は色が同じに見えて区別が難かしくなる。

こがね蜘蛛の糸は濃い黄色であり、女郎蜘蛛の糸は淡黄色であってマイクロメーターのくも糸としたとき前者の糸は明視野で濃い黒線として見え、後者の糸は微細な線として浮き上って見える。したがってこがね蜘蛛の糸では明るい星の場合でも星像をうまく2分割できるが女郎蜘蛛の糸では2分割の誤差が大きくなる。

こがね蜘蛛の糸は粘液質が強く、くも糸として張った後この粘液質が部分的に集まって瘤状となることがあって、くも糸の様な太さを損なうことがある。

こがね蜘蛛が成虫になる季節に同じコガネグモ科に属するおに蜘蛛がいるが、この蜘蛛の糸は引張り強さはあっても色素が少ないので白く透けて測定線には向かない。

マイクロメーターのくも糸として大切な要素は一年の寒暖の変化に対して糸が切れたり、弛んだりしないことである。すなわちゴム紐のように適当に引張っておけば弾力によっていつもピンと張っていることが必要である。この点についてはコガネグモ科の蜘蛛の糸は条件を満してくれる。実験によれば12ミクロマンの太さの女郎蜘蛛の糸で50mmの長さに張って0.2gのおもりを両端に下げて固着したものの中央を2mm押しでも完全に復元した。すなわち中央を押したとき長さが0.16mm伸びたが外力がなくなったら元の状態に戻ったことになる。この場合変化率は 3×10^{-8} で鉄の線膨張率 1.2×10^{-5} を考慮して十分温度変化の影響をうけないことがわかる。

弾性に関係した縦弾性係数を求めた実験がある。

16ミクロンの太さのくも糸の一端を固定して他端を2.2gの力で引張ったとき156mmの長さであったものが、力を増して2.9gの力にしたら長さが162mmになった。さらに力を増して3.6gの力で糸が切れた。このような実験をこがね蜘蛛の糸と女郎蜘蛛の糸について多く行なった結果、引張り強さとして14~18kg/mm²、縦弾性係数として100~140kg/mm²を得た。換言すれば断面1mm²のくも糸は14~18kgの力で切れ、引張って元の長さの2倍にするためには100~140kgの力が必要である。2種の蜘蛛の糸の太さは10~16ミクロンで、蜘蛛の種類による差はなかった。

比較のために金の線条を例にとると、引張り強さ19~29kg/mm²、縦弾性係数 8.1×10^3 kg/mm²である。したがって引張ったときくも糸は金線の2分の1の力で切れてしまい、くも糸は金線の70分の1の力で元の

長さの2倍になるということで、くもの糸は伸び易いことを意味している。

芥川竜之介の小説「蜘蛛の糸」の話があるので、65kgの人間を引き上げられる蜘蛛の糸の数を計算すると5千匹のこがね蜘蛛か女郎蜘蛛が必要であることになる。したがって一匹の蜘蛛が引き上げられるのは人間の魂だけである。

あとがき

現在天文器械で人間の眼は光電管に置き換えられ、人間が頭の中で視覚を整理することによって積分、平均化をした観測技術はコンピューター制御による高密度、高

品質の高速観測技術に代ってしまった。時代の変遷と共に観測技術も変わってゆくが、アイデアの本質はリバイバルが多いものである。大きくちがうところはその時代の装置を使っていることである。

これからも容易手に入ってくるくもの糸の十字線や測定線をつくってみようという向きの一助ともなり、いつか天文史でのみ見るであろうくも糸をもった眼視マイクロメーターについて解説した次第である。

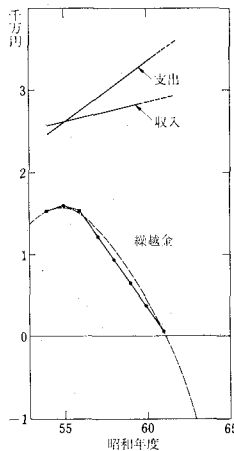
本文中蜘蛛の糸は素材としての意味であり、くも糸もしくはくもの糸は測定線としての意味である。

学会だより

日本天文学会の財政状態について

学会の運営は主として会員諸氏の会費によって行われております。本会費は昭和50年に値上げを行って以来、一般会員3,500円、特別会員10,000円/年にすえおかれております。この間、会員増、事業収入の改善などにより、収入増につとめておりますが、はかばかしい伸びを示すにはいたっていません。一方、支出は物価の値上がり、出版物の増加などにより年々確実に増加しております。

ここで本会の繰越金の推移をみてみますと、これは $\int(\text{収入}-\text{支出})dt$ で表わされ、点線で示すように上に凸の放物線で近似されます。このままですと次年度から赤字となり、くるしい運営が予想されます。



本会としましては事業収入の増、運営の改善など一層の努力をしてゆく所存ではありますが、加えて、次年度(62年度)から会費の値上げにふみきらざるを得ない状況であることを、会員諸氏に理解いただきたく、この紙面をかりてうったえる次第であります。会費値上げの件につきましては61年春季年会にくわしく説明させていただきたいと思ひます。御意見をおよせ下さるようお願いいたします。

日本天文学会会計理事 祖父江義明

日本天文学会評議員の候補者名簿

1986年度通常総会に推薦される評議員(1986年5月～

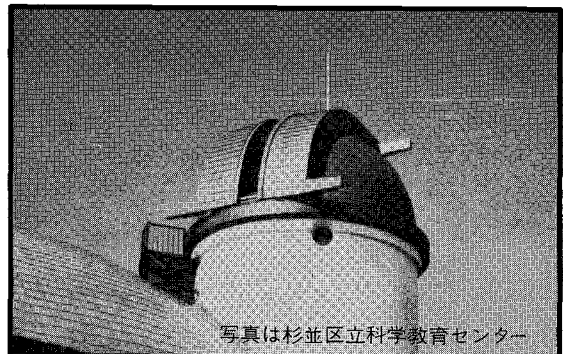
1990年5月)の候補者には、次の方々が選ばれました。

- | | | |
|-------|-------|---------|
| 青木 信仰 | 磯部 秀三 | 内田 豊 |
| 戎崎 俊一 | 奥田 治之 | 小田 稔 |
| 海部 宜男 | 小暮 智一 | 小平 桂一 |
| 高窪 啓弥 | 土佐 誠 | 日江井 栄二郎 |
| 藤本 光昭 | 舞原 俊憲 | 吉田 重臣 |

なお、有権者は563名、投票者数は224名(うち無効2名)、投票総数2220票(うち無効票17)でした。

1986年2月13日

第6期 選挙管理委員会



写真は杉並区立科学教育センター

★営業 **ASIB** 品目★
天体望遠鏡と双眼鏡
ドームの設計と施工

▶主なドーム納入先◀

東京大学宇宙航空研究所/東京大学教養学部/東京大学芸術学部/埼玉大学/福島大学/川崎市青少年科学館/杉並区立科学教育センター/駿台学園高校(北軽井沢)/船橋市立高校/高知学園/土佐市民館/刈谷市中央児童館等の他、日本全国に100余基の実績。

アストロ光学工業株式会社

東京都豊島区池袋本町2-38-15 ☎03(985)1321