

位置天文学の現状と将来

昭和48年11月

位置天文学連絡会将来計画小委員会

位置天文学連絡会に属する将来計画小委員会において、かつて、位置天文学の各部門相互の関連を示す系統図（天文月報61巻12号）とそれに付随する観測機器の系列図とを公表した。（天文月報62巻4号）さらに、その理念に基づいて、1971年に“位置天文学の現状と将来”と題する報告をまとめた。

それより今日にいたる間、内外の研究の進展は目を見張るものがある。ここに、位置天文学の現状と将来を再び新しい視点からみなおし、現在直面している問題点と将来の展望についてまとめた。とくに観測装置の強化の必要性を主体として、前回ではあまりふれなかった測地学や地球物理学との関連などについて述べる。今回の報告では1971年版との重複をできるだけ避けた。とくに、天文定数、太陽系天体、恒星系などの問題点については、1971年版（天文月報64巻6号）を参照されたい。

目次

1. 序文
2. 観測の座標系
3. 天体力学と地球物理学の役割
4. 観測設備と環境
5. 電子計算機の利用
6. 人材養成と研究体制

1. 序文

天文学の根幹ともいふべき位置天文学は、宇宙を構成する天体の位置と運動を研究し、宇宙を支配する時間と空間の法則性の本質を明らかにすることを目的としている。

いうまでもなく、天文学においては、天体観測による情報がすべての研究の基礎をなしている。位置天文学においては、長期間にわたる高精度の観測の比重がとくに大きく、さらに観測結果に影響をおよぼしている各種の因子を考慮しなければならない。

このような因子として、機械的なものとともに、地球物理学的なものも深くからみあっている。

したがって、位置天文学の観測研究には、一貫した方式と安定したシステムによる長期にわたる観測が必要である。

このような観測は、その基盤が汎世界的であるため、

国際協力なしには順調な発展は望めない。ここでいう国際協力とは、単に多国間で一緒に観測測定をするという消極的なものでなく最大限の精度で、測定点の分布を一樣かつできるだけ密にし、同時かつ連続的に観測測定を行なう必要がある。

最近、レーザー光や電波が位置天文学の研究に注目されるようになり、在来の光学観測とともに、観測における技術革新が進みつつある。

今日までの長期にわたり得られた観測の積み重ねは、将来にわたってさらに積み重ねられねばならない。この観点に基づき新しい技術革新に対応することが強く要望される。このことが今日までのわが国の位置天文学における輝かしい成果を、今後さらに飛躍させる原動力となるであろう。

2. 観測の座標系

位置天文学の観測において天体の位置を精密に決めるには、観測点の座標を確立しておくことが前提条件となるが、現実にはそこに解決しなければならない多くの問題が含まれている。

a) 天体座標系としての恒星系

恒星の位置と運動の研究は基本座標系の確立に重要な意義をもっている。

天体の位置と運動を記述する座標系は、理想としては、慣性座標系であるべきであるが、各種の困難から、できるだけこれに近づけた形で基本座標系を定めることが課題となっている。実際には、太陽系天体の運動理論とよく一致するように決められ、具体的には基本星の位置と運動で表示されている。そこで、これらをより一層高い精度で決定できるよう観測精度の向上に努力し、近い将来予想される基本星表の改訂(FK5)に貢献することが必要である。

恒星の固有運動は、ある時間において測られた位置の微小な変化量から求められる。そのために才差などの天文定数の研究は極めて重要である。この研究には、基本星系を微光系まで広げ、さらに基本星系を固有運動を無視できるような銀河系外天体と結びつける試みも一つの有力な手掛りを与えることができる。

赤道基本座標系の確立には、太陽の子午環観測が根幹であることはいうまでもない。太陽の子午環観測の精度

の向上によって、地球軌道の改良、さらに、春分点移動量のより正確な決定が可能となる。

現在、銀河系外星雲から求められた春分点移動補正值と、旧来の太陽系の観測からのそれとの間には、かなりの不一致があるが、その原因の解明には精度の高い太陽観測が欠かせない。

基本座標系に基づいて得られる非常に高い精度の絶対固有運動は、太陽近傍の恒星系の力学的性質、ひいては銀河系の構造を究明する有力な手掛りを与える。

b) 観測の場としての地球

地球は、脈動、自由振動、地球潮汐、季節変動などの比較的短周期の変動から、地殻変動、自転速度の変化、自転軸の移動、大陸移動、地殻を構成する物質の状態変化や、移動などのような永年変化にいたる不断の変化をしている。

したがって、観測地点の地球上の位置を正しく把握するには、地球の静的形状のみでなく、動的なふるまいも時々刻々知らなければならない。

そのために、天文観測による地球自転速度変化や、極運動の精密な測定を実施している。これらの研究には測地学的な測量の繰り返しや、多数の地点での地球物理学的な連続同時観測も一方では必要である。

そのほかに、人工衛星の観測を使ってジオイド変動の調査も有効と考えられる。ジオイドの変動は、重力ベクトルにも変動をもたらすが、その局所的な変動をとらえるには精密重力測定がより有効である。

このため、できるだけ多くの地点で重力を同時に、かつ連続的に測定する必要がある。

c) 測地座標

天体の観測では、地球上における観測点の座標を正しく知る必要があるので、測地座標系の問題とも関連を持つ。

現在の世界の測地系は、統一されたものでない。とくに、日本の測地系は特殊な地殻構造の上にあるため、その他の測地系に対して数 100 メートルの「ずれ」をもっている。観測点の地球上の座標を精密に求めた観測値を標準化するためには、世界の測地系を十分な精度で一元化する必要がある。これは、人工衛星、特に測地衛星や月レーザ測距、長基線電波干渉計などの利用によって達成できるものである。精度は 10^{-6} 以上とすべきである。

この種の観測からは、また、極運動、地球潮汐、などの解明の手掛りも得られるであろう。

3. 天体力学と地球物理学の役割

天体の位置と運動を研究する位置天文学は、天体力学によってその理論面を支えられている。天体力学は、本質的には宇宙にあるすべての天体の運動と形状を扱うも

のであるが、近來はもっぱら質点力学として太陽系天体の公転、および剛体力学としてこれらの天体の自転を扱って来た。太陽系諸天体の運動の研究は重要であるが、地球の自転と公転運動は、地球が天体位置観測の足場となっているため、位置天文学にとって特に重要である。

近年にいたって人工飛翔体の実現に伴ない、その運動学的研究は位置天文学に多大の寄与をしてきた。中でも地球の極運動を人工衛星の軌道面に準拠してとらえる試みは、その最たるものであろう。

人工飛翔体の運動理論を位置天文学およびその関連分野に応用するには、純粋の天体力学のみでは解決されない問題も多い。

すなわち、太陽や、月の摂動の様な、太陽系天体の力学と共通する部分のほかに、地球大気の影響や、太陽輻射などを考えなければならない。地球物理、惑星間空間物理、太陽活動との関連も生じてくる。

そこで、人工飛翔体それ自身の改良と、その運動の観測測定技術の発展と表裏一体の関係を持って解決されるべきである。

たとえば、“DRAG FREE SATELLITE”などは、このような問題に対して重要なデータを提供するであろう。

位置天文学の大部分の観測は鉛直線を基準としているが、鉛直線そのものは地球潮汐の影響を受けている。したがって、変形する地球の表面で行なわれている天文観測自体からも地球形状の時間的変化を克明に追跡し、ラプ定数などの値を決定できる。

いままでに地震学的研究などにより、地球の内部構造はかなり詳しく研究されていて、最近では大地震と極運動の関係も議論されている。また、地球内部構造理論から推定された準日周自由章動も観測データからほぼ確認されている。しかし天文学的な現象のすべてを十分に説明しようとするには、地球内部構造の最適モデルの設定と、諸現象の理論的研究も急務である。このような地球物理学的研究の結果は、具体的には黄道傾斜の永年項の原因、観測所の経度変化、および緯度変化の永年項の原因の解明の手掛りとなるであろう。

天文屈折は、古典的な問題ではあるが、最近の地球上層大気研究の発展により、新しい地球大気モデルを考慮し、天文屈折を量的に推定する提案がなされている。このことから現在、天体位置観測で要求している大気差の理論値の精度 0.01 秒 (天頂距離 80°) が、現実のものとなることを期待したい。

4. 観測設備と環境

科学技術の進歩により、天文学やすべての関連分野にわたって、測定計器の発展は著しい。在来から継続的に

観測に供されている装置にも、その周辺装置として新しい技術を取り入れるべきであり、また、まったく新しい観測技術にも、つねに注目を怠ってはならない。

感度の1桁高い測定は、研究の基礎となる情報量をそれだけ増加し、理論の精度を高め、従来は埋もれていた新事実を明らかにする。したがって、水準の高い研究のためには、最新かつ最高の観測測定装置の設置が必要欠くべからざる条件となる。

a) 子午環

第2節(a)で述べた、位置天文学観測が準拠すべき基本座標系を確立するための望遠鏡が子午環である。

現在、世界で14余りの主要天文台で子午環の連続観測が行なわれていて、いずれも新鋭の装置の導入に努め、緊密な国際協力のもとに観測を続けている。

東京の現子午環は、アジア地域で唯一の子午環であり、その観測結果に対する世界の期待は大きい。しかし、現子午環は70年以前に製作されたもので旧式で老朽化し、さらに悪化する環境の下で辛うじて観測を続けている。

面目を一新した新鋭の子午環が、早急に良好な観測環境の地に設置されることが内外から強く望まれている。新子午環では、外界の変動による光学および機械系の変動を自動的に測定する機能を有し、また光電装置と計算機により、シンチレーションによる観測誤差を最小にする必要がある。

また、個人誤差を避けるため、観測の自動化をはかる。

太陽系天体のように、満ち欠けする円板状天体に対しても高い観測精度を維持し、光学系は十分の口径をもって少なくとも11等星ぐらいまでの微光星を観測することができなければならない。これによって基本星系を微光星に拡張し、さらに銀河系外天体とのより高い精度での結びつけを可能とする。

子午環観測とともに、写真観測による固有運動や視差の研究も、位置天文学の研究の進展に重要な役割を持つ。

したがって、固有運動や視差の決定に威力を持つ望遠鏡の新設も望まれる。

b) PZT (写真天頂筒)

PZTは、時刻、緯度を同時観測できる最高精度の観測装置である。しかし、問題点は視野が天頂帯の約40'と狭く、7~8等星を主力とするPZT星系を用いるため、基本星表の星がきわめて少ないことである。

今後、世界の子午環の協力によって、PZT星系の平均位置、固有運動の再吟味を急ぐとともに、自らの結果による連鎖法を根気よく適用して、位置の値の高精度化が必要である。

PZTの観測結果から、極運動、自転速度変動が求められ、地球回転の研究の主力となっている。また、光行

差、章動定数、および地球慣性定数の決定にも深い関係をもっている。地球回転に関連した重要な事柄が山積みしていることは、第3節で述べたとおりであって、これにはPZT星系の改良とともに、装置の絶対数の増加、世界的適正配置と関連分野との密接な協力が必要である。

現在、世界で、12のPZTが活動中である。国際緯度観測所へのPZTの併設が勧告されたが、現在は、水沢のみがいち早くPZT第2号機を併設して併行観測を続けている。

東京のPZTは1954年以来観測を続け、現在では、BIH傘下の最も有力な観測点の1つとなっている。しかし、機械の老朽化と環境の悪化は、現在の子午環と同様であって、第2号機の導入が、焦眉の急務である。PZT第2号機は、新子午環と併設することが望ましく、その装置自体も、1号機の経験と、新しい機械および電子技術を応用して、高精度化をはからなければならない。

将来、光学系としても、大口径、長焦点として、プレート定数の増大、微光星や星雲にいたるまで観測能力の増大することも考慮の必要がある。装置は完全な自動化を考えなければならないが、観測したプレートをコンパレータで読む作業は、現在人力に頼っている。これの効率化ないし自動化は、個人差の除去とともに、今後に残された重要課題である。

c) アストロラープ

アストロラープは、PZTと並ぶ時刻、緯度の高精度観測装置であって、全世界に約20台が使われている。アストロラープは、基準星表の星を使用するので、星系の位置や固有運動に関する問題は少ない。したがって、その観測結果から基本星の個々の位置の改良に役立てることもできる。

現在広く使われているダンジョン式アストロラープは、直接人手で操作されることと、若干の個人誤差のいる余地があるが、わが国で、これらの欠点を除いた自動アストロラープが開発された。このアストロラープは、さらに、観測データを計算機で即時処理できる特長も有している。この種の自動アストロラープの開発研究はきわめて重要である。

d) 原子時計と国際原子時

全世界のセシウム原子時計の国際比較データを総合して、BIH(国際報時局)がまとめる原子時は、国際原子時(TAI)と呼ばれ、一般の学用時刻スケールとして使われている。TAIは、天文学的均斉時系である暦表時と、将来にわたって比較検討され、それぞれの時系の研究の不可欠な資料が得られる。

現在のセシウム原子時計は、個々には 10^{-12} の桁の器差をもつほか、各種短期変動や長期変動、特性の折れな

どもをもつ。これらの変動を分離し、原子時を連続保時するには、最低3台1組を常時相互比較して、その運行を監視することが必要である。しかし、原子時計の定期保守と、不測の事故による運休を考えると、1局あたり5台が最低必要保有台数である。東京天文台、緯度観測所とも、この最低保有台数の確保が望まれる。

セシウム原子時計は、また、一般相対論の検証実験にも有用である。このためには不断の相互比較を通して、個々の時計の性格の把握が必要である。

各国天文台、研究所の原子時計のデータは、ロランC網、運搬セシウム時計、TV電波などを仲介として比較され、BIHへ集計される。

しかし現状では、日本を含めた南西太平洋地域では、BIHへの0.1 μ sの精度での連結がとれていない。南西太平洋地域でのロランC網の完全な世界的精密連けいと人工衛星の利用が促進されなければならない。

わが国としては、ロランCやTV電波を仲介として、地域的に0.1 μ s精度の相互比較が可能であるのを利用して、少なくとも、国内での原子時系の確立を急がなければならない。これには、比較測定機器の充実と、各研究機関の緊密な研究協力が必要である。

e) 人工衛星の光学観測

人工衛星の光学観測としては、現在、ペーカーナン型と、ナイフエッジを用いた小口径可搬型カメラとが活動している。これらの観測精度は角度の秒の桁である。

今後、測地座標の整備、人工衛星運動理論の精度向上のために、観測地点、したがって観測装置の数を増やす必要がある。

人工衛星観測の新技術として脚光をあびつつあるレーザー測距は、東京天文台においてその基礎開発を終り、定常観測にはいっている。精度は、3,000 km程度までの距離の衛星に対して誤差1 m以下である。今後、測地座標の高精度化のために、人工衛星カメラとレーザートラッカーの同時観測を推進する必要がある。

また、測距精度についても、東京天文台の現状は約 ± 60 cmであるが、これを ± 10 cm以下にすることには、技術的に問題はないはずである。今後のレーザー装置はこの精度を持つべきである。

このような人工衛星のレーザー測距を国際的に行なえば、測地原点の高精度化、極運動、地球潮汐などの解明に役立つであろう。(第2および第3節参照) そのために、国内各機関でもレーザートラッカーを設備し、そのうちの何台かは可搬型として、国内各地で観測を行なう必要がある。

f) 人工衛星の電波観測

極運動観測のまったく新しい技術として、電波による人工衛星のドップラー観測が注目されている。

1960年のTransit IB衛星打ち上げ以来、航法衛星計画の一環として、ドップラー観測が実施された。これを利用して新しい極運動決定の方法が、研究開発された。これは、極軌道の人工衛星の軌道面に準拠して極運動を決めるもので、衛星と受載の2波の電波を用いることにより、電離層の影響が除去される特長を持つ。

ドップラー観測の特長は、本質的に鉛直線と無関係に、CIO(国際慣用極原点)に関し瞬間極の座標を決定できることで、このことは第3節に指摘したとおりである。

この結果を従来の天文経緯度観測と併用すれば、地球回転運動研究の有力な手掛りとなるであろう。

わが国の研究機関において、できるだけ早くドップラー装置を導入する必要がある。

g) 月および静止衛星レーザー測距

月測距用のレーザーレーダーは、現在、東京天文台において建設中である。近い将来、逆反射器をとう載した静止衛星が打ち上げられたとき、その測距も月レーザー装置で行なうのが合理的であろう。

月および静止衛星のレーザー測距によって、月の運動および静止衛星の受ける摂動の精密測定ができるのみでなく、測地原点の高精度化、極運動、地球潮汐などの解明などにも役立つであろう。

月レーザー装置として、現在、わが国で建設中のものは、精度 ± 1 mを目標にしているが、この精度は、将来、さらに改善する必要がある。

h) 長基線電波干渉計

長基線電波干渉計について、わが国では、若干の理論的考察以外の作業は行なっていない。しかし、長基線干渉計の超高精度に着目し、電波星の座標決定などについての検討を怠ってはならない。

長基線(基線長1000 km以上)とともに、場合によっては中基線(基線長100 kmぐらい)電波干渉計が、経緯度、極運動、地球自転、電波星の座標などの測定に有用である可能性もある。

電波干渉計の観測の大きな特長は、鉛直線に無関係であることである。

長基線電波干渉計の実用化は、ひとえに高安定周波標準の進歩に負っている。初期の長基線干渉計では、準星を利用して基線の長さの精密測定のみが行なわれたが、今では、いくつかの準星同志の座標の測定が可能になってきた。そこで、これら準星の座標の電波観測の結果を、基本座標系の恒星の光学観測に連結すれば、固有運動のほとんどない準星の位置を利用して基本座標系の改善に役立つであろう。

しかし、電波干渉計は、巨大な設備と複雑なデータ処理を必要とし、ごく近い将来に、これを位置天文学グループだけで維持運営することは困難であろう。他の研

究, または, 業務グループとの共同作業の方向をまず探るべきである。

i) 重力絶対値と地殻変動の測定

位置天文学的観測の場としての地球の変化をとらえる1つの手段として, 重力の絶対測定は, きわめて重要である。0.01 mgal の精度をもつ絶対測定を, 日本の数ヶ所においてぜひとも実施すべきである。

水沢緯度観測所においては, バリーの BIPM (国際度量衡局) で開発された絶対重力測定装置の導入に着手した。実施の暁には, 重力変化の補正のみでなく地球潮汐の観測も同時に行なう。これにより極運動と地球潮汐の関係を天文観測と重力測定の両面から研究できるであろう。また, 地殻変化による重力場の変化は天文観測と密接な関係を持つので, 菱形基線などのレーザー測距と重力場の観測によって局所的な地殻変動を検出し, それと天文経緯度の変化との関連を求めることも重要である。

j) 環 境

前述のように, 位置天文学に必要なデータは, すべて地上の観測から得られる。しかし, わが国の近年の急速な工業化と, 都市への過度の人口集中によって, 環境破壊が著しくなってきた。これは, 天文学を始めとする自然を対象とするすべての科学観測にも甚大な影響をおよぼしている。

その害のうちおもなものは, 不当に明るい夜間照明による害, 振動による測定機器の誤差増大, 有害ガスによる精密機械の腐蝕, じんあいによる光学系のよごれ, そして, 電気雑音による電子装置の誤動作などがある。

一貫したシステムによる長期にわたる観測の積み上げが, 位置天文学にとって是不可欠である。万止むを得ず観測所の移動をするにしても, 少なくとも, 数年の並行観測と慎重な準備を必要とし, 簡単なことではない。

科学観測の重要性とそのかけがえのなさを一般世論に訴え, 為政者の適切な処置により, 環境保全がはかられることを強く望むものである。

5. 電子計算機の利用

位置天文学は, いわゆる精密数理天文学としての性格から, 元来, 膨大な計算作業が伴っており, 電子計算機をいち早く利用してきた。将来も, 電子計算機の発達とともに, その利用度がいよいよ増大することは明らかである。

a) 一般的な計算

電子計算機利用の最も一般的な形は, 在来の手計算の肩代りである。これは, つとに, 実行されていることで, いまさらいうまでもない。

天体力学と計算機の関連について, 計算機の非数値的利用の一環として, リテラルデベロップメント (数式処

理) が主流になりつつある。この場合, 機械的能率のよい一般摂動論の要求がますます高まるであろう。

今後, 観測研究は必然的に増大する方向にあるのに対して, 人員の増加は必ずしも十分ではなくなるのが考えられる。そのため, 各研究グループ間での共通的なソフトウェアを有効に相互利用できるような方向を探らなければならない。

それはまた, 当然, 計算機の規格の共通性の問題を生ずる。そして, 各研究グループは, 将来の計算需要の最適予測をつねに行ないつつ, それぞれの研究機関の計算機の容量の強化を行なっていかなければならない。

b) データファイルの問題

第2は, 各種データのファイルである。各種のデータは, 必要なときに, 直ちに能率的に利用できなければ無意味である。

各種データとしては, 基本星表を始めとする基本データと, 観測値のファイルに大別される。これらのデータファイルは, その量と使用上の便を考慮して, 最も適切な形式で収納されなければならない。通常, データ量の増大は, アクセスタイムの増加を招きがちであるので, 必要なものは2種以上の形式 (例えばカードとディスク) で収納することも考えなければならないであろう。

それとともに, データセンター的なものを, 国内の適当な研究機関に設けることも考慮に値しよう。

観測値の収納については, なるべく中間に人手をわずらわさないよう, 注意しなければならない。観測者が原始データをチェックすることの有効性は否定できないが, 中間的な人手による転写の際の誤りや労力を考えると, なるべく計算機に直結できる型式でデータを出力するよう努めるべきである。

そのため, 各研究グループは, 計算機とその周辺装置の進歩に絶えず注意を払いつつ, 有効にそれらを利用しなければならない。この場合にもまた, 海外を含めた研究機関相互でのデータファイルの交換を考慮して, フォーマットやコードの共通化, または変換プログラムの整備を考慮する必要がある。

c) 観測の計算制御

観測の高精度化や, 能率化とさらに個人誤差の除去のために, 小型計算機を観測機器に直結して制御することは, 一部で実行され始めているが, 今後, これはさらに押し進めなければならない。

ある特定の観測に対して, 在来も“コントローラ”というべき特殊な単能装置によって制御することは行なわれてきたが, 最近, 特殊な単能コントローラを特別につくる経費と汎用小型計算機の価格関係が逆転しつつある。したがって, 小型計算機による制御はきわめて有効であろう。

このことにより、観測の原始データのファイリングの問題も簡単に解決するであろう。

さらに、計算機の高い能力を利用して、人間では現実的にできないような複雑な観測手続きを実行することもできる。

それは、多数の観測機器の同時制御や、多数の測定点のデータの一括処理、また、人工衛星のように複雑な動きをする天体の追尾などである。

今後、この面での計算機利用をさらに発展させるために、観測機器の運転やデータの読み取りのための特別なエンコーダーやアクチュエーターの開発が必要となるであろう。

6. 人材の養成と研究体制

位置天文学とそれに関連する分野の今後の発展を進めるための、人材の養成と最も機能的な研究体制の検討もきわめて重要な課題である。

a) 人材の養成

すべての学問と同じく、天文学もその目ざましい発展により、その最前線をますます幅広いものとしている。その結果、各先端分野にたざさわる研究者の密度が小さくなるのは、世界的に避けられない傾向である。とくに、長期にわたる観測の比重が大きく、国際協力を必要とする位置天文学の分野では、地道に研究に取り組む優秀な人材の養成が急務である。このため、大学において、所要の講座の拡充をはかる必要があり、また位置天文学に

関連した講義時間の充実が必要である。

また、大学外においても、位置天文学の主導的テーマを取り上げて、広く討論の場を提供し、関心のある人材を集めることが有効であろう。さらに、各研究機関相互に講師を交換し、位置天文学に志す人達の関心に応え、レベルアップの努力が必要である。

さらに、各研究機関は、位置天文学という長期の観測成果に基づく研究の特質から、若い人材に落着いて研究できる場を確保拡充しなければならない。

b) 研究体制

本委員会は、研究体制の問題について、かなりの時間をかけて討議してきた。

すなわち、巨大化する観測機械、新しい観測事業が位置天文学に欠かせないものとなり、たがいに情報を交換し、緊密な連絡のもとで研究を進める必要性が急速に増加するであろう。

そのようなときに、どのような研究体制が最も有効で位置天文学の進歩に役立つかを、さらに時間をかけて討論を続ける必要がある。

最近の情報科学の進展は、諸外国とのデータの交換を容易にし、研究に必要な資料の収集が迅速に行なえるようになった。位置天文学では、とくに諸外国のデータの収集や交換が重要であるが、このためのデータセンターの設立も、研究体制の一環として考えなければならない。

正 誤 表 (9月号, p. 224)

(天文学の歴史的展開に対する一考察)

頁	行	誤	正
224	脚注	Frankfhrt	Fcankfurt
"	右, 24	従属理論	惑星理論
"	右, 25	の惑星に	従属変数
"	右, 26	離心率誤差変数	離心率の誤差に
"	右, 下より5	系統誤差	系統的誤差
"	右, 下より2	地球軌通	地球軌道
225	左, 13	Vistat	Vistas
"	左, 下より14	Brace	Brache
"	左, 下より1	$\dots r \cot a + r' h = a \dots$	$r \cot a - r' h = a$
226	左, 6	A, B, C 慢	慢の字行末へ移す。
"	左, 18	bolphinae はの Tycho	dolphinae は Tycho の
"	右, 10	発生,	発生し,
"	右, 10	態形	形態
"	右, 12	Copesnicus	Copernicus
223	右, 下より3	Corpenicus	Copernicus