

10.4 天文学に使えるお金

磯部琇三

isobesz@cc.nao.ac.jp

光科学専攻・国立天文台

10.4.1 観測による天文学の発展

天文学は医学とともに最も長い歴史を持つ学問であり、21世紀へ向かって急速な発展を遂げた学問でもある。その研究は太陽系から銀河系、さらに宇宙全体をまで取り扱えるレベルにまで達している。そのような大きな発展をもたらしたものは、古くはプトレマイオスやコペルニクス、そしてニュートンからアインシュタインと続く先端的理論研究ばかりではなく、天体の観測技術の発展が大きな原動力になっていることも確かである。

長い歴史を持つ光学天文学において、その転機となった観測技術としては次の4つが挙げられるであろう(図1)。1609年に望遠鏡が使われ始めたことがまず挙げられる。ガリレオ・ガリレイは望遠鏡を初めて使っただけで、月のクレータ、太陽黒点、木星の衛星、土星の環(ガリレオは耳と表現している)の発見をすることができた。これは人間の目では口径8ミリの瞳孔で天体の光を集めていたのが、口径25mmのレンズによって約10倍もの光を集められるようになったばかりでなく、約3分の1の細かい構造が分解できるようになったためである。

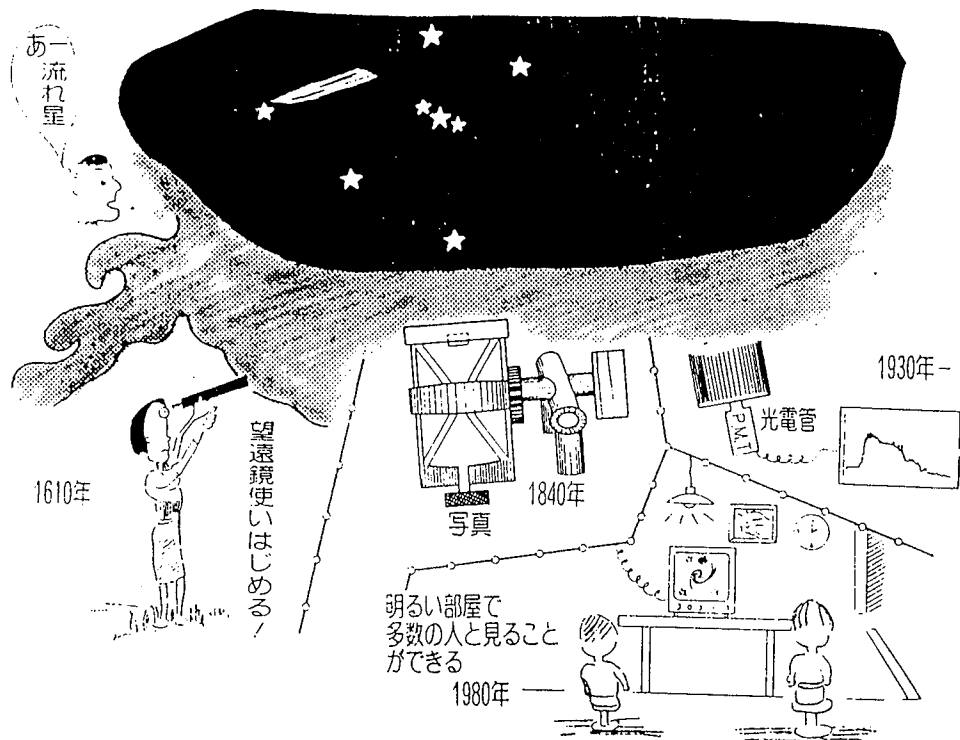


図1: 光学天文学においては新しい観測技術の導入が4回もあった。それにより天文学は飛躍的に発展した。

1840年頃には写真術が導入された。ヘンリー・ドレーパーが開発されたばかりの湿式乾板によって初めて月の写真を撮影した。当時の写真の感度は非常に悪かったので、望遠鏡の導入の時のようにすぐには大発見が続くことはなかったが、感度の改良につれて、天体観測では欠かせない技術となっていった。写真術の有用な点は肉眼の観測のように見た瞬間の観測者の記憶に頼るのではなく、記録することにより、後日いつでもその瞬間のデータを繰り返し見ることができ、多くの人が同じ現象を見て、より公平な評価が可能になったことである。

1930年頃には光電管が使われるようになった。天体からの光を光子として受け、そこから放出される電子の量が測定された。この光電子に磁場をかけて加速して次々と光電子量を増幅することにより、微弱な天体の光も精確に測ることができるようになった。写真術の欠点は天体からの光を写真乳剤に当てる時に、乳剤粒子毎の反応の差が大きいばかりでなく、その粒子の分布も一様ではないために、天体の等級決定精度が0.1等級（約10パーセント）と悪かったことである。光電子増倍管により0.002等級程度までもの精度で観測できるようになった。これにより、ごくわずかな星の光の変化をも捉えられるようになった。

光電子増倍管の欠点は1回の観測で1個の天体しか観測できないことであった。何本かの光電子増倍管を束にして使う方法も工夫されたが、それでも10本も束ねるのは難しかった。写真のように2次元の分布が観測でき、光電子増倍管のような精度で観測できる装置の開発が望まれた。その方向に向かった努力がテレビカメラの開発であった。光電面を電子ビームを順に振って、受光面上の各場所に蓄積された光電子量を測定していくものである。しかし、この方法ではなかなかよい感度のものが得られなかった。

1980年代から開発されたCCD(Charge Coupled Device)（電荷結合素子）は半導体技術の飛躍的進歩により1990年代には量子効率が90パーセントに迫り、受光面のピクセル数も増大し、現在では4000×4000という大きなものまで開発されるようになった。これにより、望遠鏡が集めた光は全て有効に使えるようになった。そして、現代の観測技術では、かけがえのないものとなってきた。

10.4.2 光子の量

前節では光学観測技術の発展について述べた。しかし、現代の天文学においては、光ばかりでなく、現在ではあらゆる波長での天文学が進められるようになってきた。波長の長い電波での観測は1930年にジャンスキーが銀河中心方向からの電波をたまたま受信したのが最初で、1940年代から本格的な観測が進められた。さらに第一次世界大戦のために開発された技術を使って赤外線、X線の観測が始まり、現在では全波長天文学の時代になってきた。

それぞれの新しい波長帯では光学観測が長い時間をかけて発展させてきた技術を短時間に獲得し、電波観測では天体を細かく分解して見るという点においては光学観測よりも高い能力を持つまでになってきている。このようになった結果、これまで光だけの観測では星や星雲のように可視光をよく放射する温度（3000度K-10万度K）の部分しか調べられなかったものが、星間空間にある極低温や超高温の部分の状態を示せるようになってきた。

宇宙の果てまで観測できるようになったり、他の恒星の周りの惑星を見つけようとする時には、より微かな光を捉えることが重要になってくる。再び光学観測を例にして話を進めると、多くの光子を集める努力がなされてきた。

初期の写真は満月の撮影にも何分もの露出が必要であったが、乳剤の改良が次々と加えられた。1980年代にはコダックがT-MAXと呼ばれるフィルムを開発し、受光粒子をきれいに配列させて、入射光子の20パーセント近い感度になっている。しかし、1970年代までは十分な感度は達成されていなかった。

より暗い天体を撮像するためには、より多くの光子を目的の天体から集めるしか方法がなかった。それは望遠鏡の口径を大きくすることである。その方向での努力は20世紀に入ってからも続き、アメリカのハールが1917年のウィルソン山の2.5メートル望遠鏡、1948年のパロマ山のハール5.0メートル望遠鏡建設への努力を行った。このハール望遠鏡は主鏡の重さが50トン近くもあり、これ以上大きな望遠鏡の建設は不可能であると長らく言われていた。そして、1980年代中頃までは口径4メートル以下の望遠鏡が多く建設された。

1960年代からのより多くの光子を集める努力は受光器の側で進められた。写真や光電子増倍管という光子の利用効率が悪い受光器から10パーセント程度まで利用できるテレビ方式の受光器、そして、90パーセント近くまで利用できるCCDの開発へと進んでいった。これにより、光子の利用効率が100倍を大きく越えたのである。そのため、現在では、口径50センチメートルの望遠鏡によって1960年代のハール望遠鏡の能力に匹敵するようになった（もちろん、現在ではハール望遠鏡もCCDを使っているのだから、当時より高い能力を発揮している）。

天体の出す光は微かである。仮に20等級の星を口径1メートル望遠鏡で観測すると、表1のように毎秒100個の光子が集められる（実際の光子数は星のスペクトル型等によって若干異なってくる）。25等級になると光子は降り出しの雨滴の落下のように文字どおり1粒、1粒集められる。CCDはいかに量子効率が良い受光器であっても、電子の集まりを読み出すには一定量の電子の蓄積（100個程度）が必要となり、露出時間を何分もかけなければならない。

さらに、天体の性質をより一層、明らかにするためには、光をスペクトルに分けたり、時間分解能を良くしなければならないので、CCD 1素子に入る波長分の光子数をもっと増やし、また単位時間内に入る光子数を増やさなければ測定できなくなる。そして、さらに多数の光子を集める必要に迫られる。CCD受光素子の量子効率が90パーセント近くになっている現在、これ以上の光子を求めるには望遠鏡の口径を大きくする以外には方法がなくなっている。

10.4.3 天文学と社会

天文学は我々の実際の社会活動とどのような関係にあるのだろうか。星の自転を調べたり、宇宙の果てを調べたりと人間社会とはまるで関わりがないように見え、そのように思われることが多い。天文学の発達史から考えると2つの側面があることがわかる。その1つが時や暦の決定である。これは歴史的には農耕時代の始まりと密接な関係にある。いつ種を蒔き、いつ収穫をするか決めていかなければならない。それは現代では間接的になってはいるが、1つの役目といえるものである。

もう一方の流れは、自分たちが住むこの世界の成り立ちを調べることである。地球が宇宙の中心にあるのか、ありふれた天体の一つであるのか。宇宙には果てがあるのか、地球は永遠に続くものではない。このように人類の宇宙観に影響を与えてきたが、その時間スールの長さからいって、人間の社会活動とはほとんど関係がなく哲学的思考にのみ影響を与えてきたといえるであろう。

17世紀初頭にガリレオ・ガリレイはコペルニクスの地動説を強く支持し、キリスト教世界と激しく対立した。これはキリスト教の神の存在と対立する重要な問題であったためである。しかし、歴史的にはその事件が天文学自体への影響は大きくはなかった。1675年にグリニッジ天文台、1667年にパリ天文台が創設されたのは、当時、ヨーロッパの列強の世界制覇のために大航海時代を迎えていたためである。そして、船の現在位置を知るために、星を使った天測が行われていた。その精度を上げるために星々の位置決定精度を上げなければならなかったのである。当然、南半球への航海もあり、そのためにイギリスは南アフリカに天文台を建設している。

このように17世紀以来、天文学は明らかに社会（植民地政策）のための実用の学問であったのである。そして、日本が明治以来、西洋科学を取り入れた時にはまさにその実用天文学であり、その潮流は1950年代にまで続いたのである。

国立の組織による天文学はこのような星の位置を決定するものであったが、一方では宇宙の構造のように直接社会に関連しない天文学はウィリアム・ハーシェルに代表されるアマチュア天文学者によって進められた。そして連星の発見や銀河系の姿の抽出が行われた。19世紀後半よりの分光学の天文学への応用は星や星雲・銀河の性質に関して急速な進歩を遂げた。この流れを進めるためには、前節でも示したように、より多数個の光子が必要となり、より大きな望遠鏡が必要となった。そして、そのためにはより大きな費用が必要となってきた。それは天文学はお金のかからないものではなく、個人の力で進めるのが不可能の時代になったといえる。

社会と直接かかることのない部分の天文学の推進により大きな費用がかかるようになったのに反して、社会との関連が深まると書いた「時」の決定や「暦」の制作、星の位置決定はほとんど必要がなくなってきた。はるかに高精度で時が決定できる原子時計が開発されたりしたことによっている。

10.4.4 天文学者のあるべき姿

現代の天文学はいわゆる純粋科学といえるものとなった。そのような学問分野は基本的には社会と隔離していても成り立つものである。逆にこのような種類の学問は何か社会に役立つことを目指して研究を進めるべきものでもない。しかし、逆に考えて、純粋科学者、特に、天文学者は人類や社会のことを考えないでよいのであろうか。

天文学を進めるのに、ウィリアム・ハーシェルやアマチュア天文家のように個人のお金を使って行える範囲であれば、社会と隔離していても構わないかもしれない。いわゆる“紙と鉛筆”の学問である時代もあり得た。理論天文学はこのような範疇にごく最近まで入っていたが、近年では巨大なスーパーコンピュータが必要となってきて、理論天文学も“紙と鉛筆”の学問ではなくなった。

先にも書いたように、天文学は長い時間スパンでは人類の存在と大きく関わる問題を提起してきている。例えば、星々の中心での原子核融合反応によって形成された酸素原子や炭素原子等が生命の形成に欠かせないものである。地球のような惑星が宇宙の中に多数見つかりつつあることも人類の存在について重要な提起をしている。しかし、現在の人類の生活に影響を与えることはない。

1997年の国際天文学連合総会時のあるセッションで、当時の会長L.ウォルチエが、世界全体で、地上における天文学に毎年500億円、宇宙からの天文学に5,000億円が使われていることを概算で示した。その金額はもはや紙と鉛筆の天文学等とは決して言えない額である。日本がハワイに建設したすばる望遠鏡は建設期間8年で400億円をかけており、ヨーロッパ南天文台は4台の8メートル望遠鏡建設に600億円をかけている。それらの金額は一見膨大であるが、それぞれの国家予算と比べればまだまだ少額で、戦闘機1機と比べられる金額でしかない。しかし、平気で次々と使って良い金額では決してないことも確かである。

アマチュア天文家は星を見ることは好きである。しかし、すばる望遠鏡のきれいな画像が一般の人々を楽しませるといっただけで何百億円のお金を使って良いという議論には決してならない（そのように論じる天文学者もいるが、それは論外である）。宇宙を純粋に理解することが重要であるというのは若干の理があるようであるが、それだけでは十分とは思えない。

一般の人々は、個々人の寿命は限られているが、人類としての種は永遠に続くと考えがちである。しかし、生物学の発展ばかりでなく、天文学の発展によっても人類が無限の存在ではないことを示せるようになった。ビッグ・バン宇宙の終焉は人類どころかあらゆる物質の終わりを意味している。50億年後には太陽が膨張してきて、地球を飲み込み高温のガスにしてしまう。約1億年毎に太陽系近傍で超新星爆発があり、地球上の生命は強烈な宇宙線（高エネルギー粒子）の照射を受ける。これはおそらく、遺伝子に大変化をもたらし、新しい生命種の誕生をもたらし、人類のよう

な高等生物は大打撃を受けることになる。地球の磁場は約10万年毎に反転していることが明らかになってきた。なぜそうなるかはキューサー等を背景基準系にした地球重心の変動からその答えが出るのではないかと考えられている。いずれにしても、反転時に地球表面の磁場が消滅し、太陽風が地球表面にまで達して人間の遺伝子に影響を与える可能性が強く、少なくとも、現代文明に欠かせないコンピュータ等のエレクトロニクス機器は壊滅的な打撃を受ける。幸いなことに、そのような事態になるのはまだ数千年先のことである。

小惑星の地球衝突も人類の存続に大きな影響を与える。数十万年に1度の確率で衝突する直径1キロメートル位のものでは、人類の大半は滅びる。数百年に1度の直径100メートル位では関東平野が全滅する。この現象は上に示した例とは異なり、現象が確率的に起こるので次の衝突が極端に言って、明日起こることもあり得るのである。

ここに記した問題は天文学者が人類や社会のためにと考えて見つけたものではない。純粋科学である天文学の研究を進める中で見つけてきたものである。純粋科学を進める上では、それらの現象は中心的な研究テーマでは決してない。しかし、その結果は社会にとっては最も重大な問題もとなり得るのである。

天文学にどれだけのお金を使えるかは、社会がどれだけの余裕があるかに関わるものである。100兆円の国家予算であれば、50億円であろうが500億円であろうが、アマチュア天文学家がその給料の中から小遣いとして使う金額よりずっと小さいのであるから、もっと多くの割合にしてもかまわない。筆者も天文学者の立場から言えば、よりお金のかかる巨大プロジェクトを推進すべきであると考ええる。

しかし、そのお金を無駄遣いして良いということにはならない。400億円かかる望遠鏡もその目的とするところを十分に整理して、150億円に近づけるための努力を最大限にするべき事はいうまでもない。さらに純粋科学の成果が、たとえ、その内容がその分野の本流ではなくとも、社会や人類そのものの利益になることがあれば、その成果を社会に実際に貢献させるための方策を提示し、推進に賛同し、可能な限り協力する態度は欠かせないものである。そのような考察が十分為されない段階で悪い方に進んでしまったのが原子爆弾の開発と利用であった。そして、その方向での議論は何百編の記事に書かれている。天文学の世界も同様であり、もし、天文学者が純粋科学者は純粋科学だけをやっていればよいと考えるなら、50億円や500億円を使う資格はなく、自身のポケットマネー（国の予算がなければポケット・マネーはないかもしれないし、チョコ・ブラーヘやハーシエルのように奇特な人の寄付があれば幸いといえるであろう）で、研究を進めるべきである。そのことは1節、2節に示してきた歴史をより深く考察すればより明確にいえる問題である。

天文学に使えるお金は一に、天文学者が社会の存在を考慮して、どのような態度で研究を進めるかにかかっているのである。