

第7章

天文学と社会

磯部琇三

isobesz@cc.nao.ac.jp

光科学専攻/国立天文台

7.1 人々の天文への関心度

近年、ハッブル宇宙望遠鏡や、すばる望遠鏡等によって得られた画像が雑誌ばかりでなく、新聞などにも数多く掲載されるので、多くの人々が天文への関心が高まったように感じる。さらに、しし座流星群を見に、何万人もの人が真夜中に観望に適した場所を求めて車を走らせている。日本中が天文ファンになった感じを与えるが、実際にはいろいろな関心度のレベルがあることは確かである。

磯部 [1,2] は天文学と社会との関わりに関して図1のような関心度分布を初めて示し、この表は磯部のダイヤグラムとして各国の天文学者に利用されている。そこでは人々を次の6つのグループに分けている。有用なデータを作り出せる人 (A)、しょっちゅう観測している人 (B)、1年間に何度か観測

する人 (C)、天文雑誌を買っている人 (10~20 万人) (D)、サイエンスマガジンを読んでいる人 (100 万人) (E)、新聞の科学覧を読んでいる人 (1,000 万人) (F)、それ以外の無関心な人 (1 億人) (G)。今はピラミッド型の階層構造になっており、Aのグループの人数が最も少なく、Fのグループの人数が最も多い。このような分布が当てはまる国は先進国の中に多い。発展途上国では図2のウのような形をしていて、関心度の最も強いAのグループの人々は確かに存在しているが、中間的なDやEの人の割合が少ない。

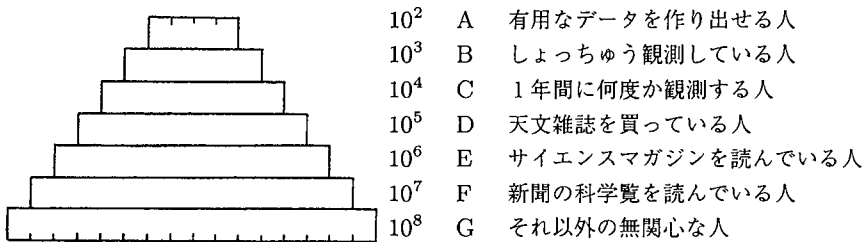


図1: 天文学への関心度の分布。先進国ではこのような分布をする傾向がある。

近年、科学と社会の関わりについての議論が多くなされるようになってきた。それらは科学技術の社会への影響を考える場合が多く、特に化学物質による公害や薬害問題などの直接人体に影響があるものから、原子核エネルギーの利用形態に関する問題までである。一方、天文学はその研究が直接社会に影響する面が少ないように思われる傾向が強いが、天体への関心を広く持ってもらおう努力もなされている。筆者は長年そのような活動を続け、国立天文台の中に天文情報普及室を1988年に初めて作り、その延長として現在の広報普及室へと発展している。

天文学者または天文学のコミュニティとして、人々の天文学への関心度がどのようなべきかを考える時、それは図2のイのような逆ピラミッド型ではないことは明らかである。それでは、世の中の人々がサイエンスをどのレ

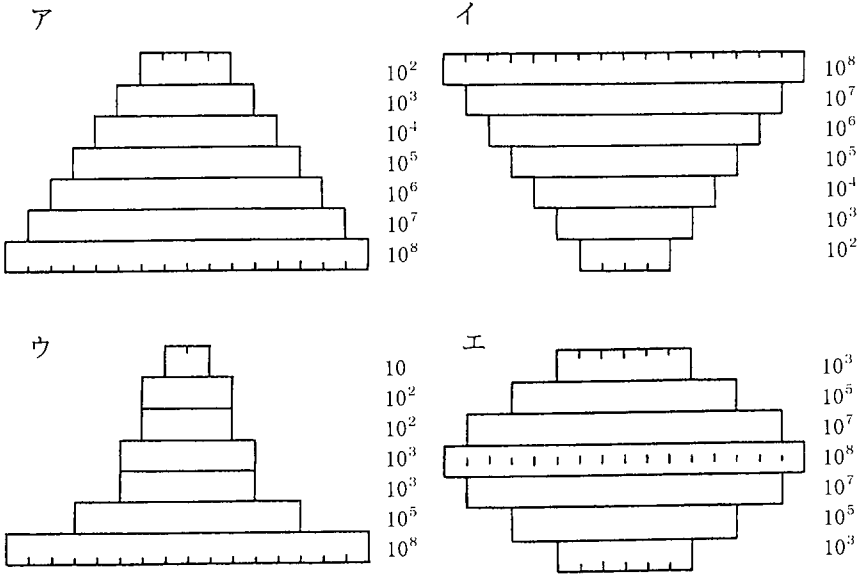


図 2: 考える天文学への関心度の分布

ベルで理解してもらうのがいいのか、ということを中心に社会とコンタクトをとりながら考えて行く問題であり、C、Dのグループが多い図2のエのピア樽型がよいと考えられる。ここでは、そのような分布への背景を見ることにする。

7.2 理性における天文学と感性における天文学

そもそも天文学は古代エジプトにおいて実学として始まった。ナイル川の氾濫を予報するために暦を作成する必要があったからである。また、宇宙観が形成されたのもその頃で、星座と神々の関連付けがなされたりした。学問の進め方には2つの流れがあると思える。一つは問題を数値的にさらには物

理的に解いていこうとする「理性」による側面と、現象を大づかみにして答えを導く「感性」による側面がある。現代の天文学では両者がより密接に作用して、天文学（学問と言ってもよい）を発展させている。しかし、古代では理性による実学と感性による宇宙観との間には大きな隔たりがあったといえる。その流れが極端になった例が占星術である。

ところで、最近になると、宇宙というのはプランクサイズ (10^{25} cm) から宇宙の果て (10^{30} cm) までのサイズがあることがわかり (図3)、それぞれのスケールは物理学で答えがわかるようになってきた。昔の感性の宇宙観とは変わってきているのである。17世紀に入ってガリレイ以降、観測技術の発展によって天文学はドラスティックに発展してきた。当時の天文学は純粋科学という側面だけでなく、応用科学という側面も色濃く持っていた。航海のために位置観測が大変重要な課題であり、そういった観測法の確立と引き替えにパトロンからお金を貰っていた。その延長として、1675年にグリニッジ天文台、1667年にパリ天文台が建設された。

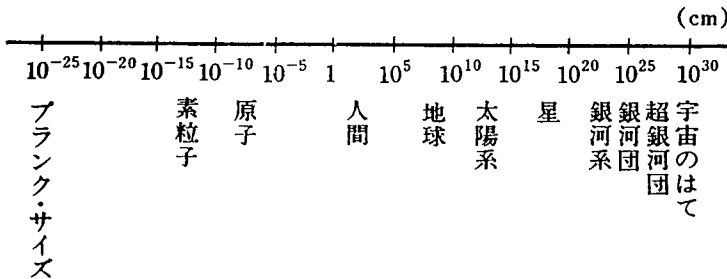


図3: 宇宙には様々な大きさのものがある。

写真術の開発によって天文学はサイエンスとしての確固たる位置付けがなされるようになった。それまでは目がよければ信用できるという程度のものだったのが、写真により誰が見ても存在する証拠として残るようになった。このように誰が行っても同じ結果が得られるという科学としての基礎を天文学はしっかりと確立したのである。しかし、天文学は物理学や化学と大きく異なる点を持っていた。物理学や化学の実験は研究者が自身で環境を設定

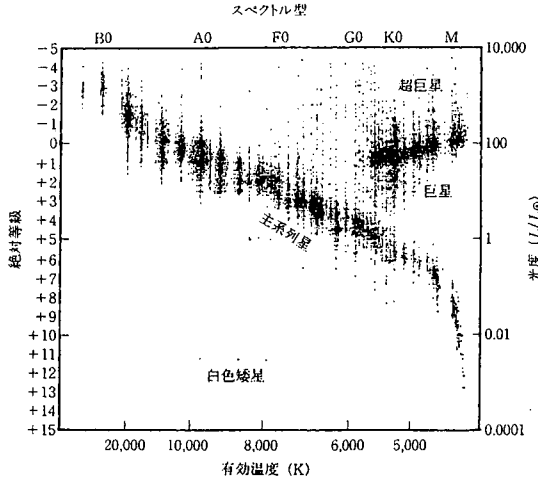


図 4: 1920 年代に描かれたヘルツスプルング・ラッセル図。

し、その中から結果を導くという理性的な手法を中心としていた。天文学は生物学や地質学などと似たところがあり、宇宙（自然）が与えた現象を観測を通じて整理し並べることによってその中から新しい法則を導かねばならない。どのような並べ方をするかは研究者の感性によるところが大きい点である。例えば、20 世紀初頭にヘルツスプルングとラッセルが星の色と明るさの間に一定の関係があることを示したヘルツスプルング・ラッセル図（図 4）は後の時代に星の進化を解く上で重大なテーマとなったのである。このように天文学は理性的な思考と感性的な思考が効果的に補い合うことにより大きく発展してきたのである。

7.3 巨大科学となった天文学

総合研究大学院大学グループ研究「新分野の開拓」の報告書（新分野開拓'99）の中でより詳しく記したが、天文学の発展には観測技術の発展は欠かせないものである。

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5)。1609年にガリレオ・ガリレイは初めて使った望遠鏡の開発がまず挙げられる。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。

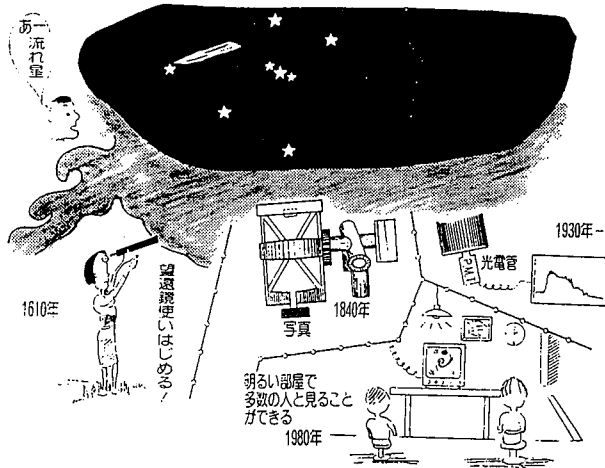


図5: 光学天文学においては新しい観測技術の導入が4回もあった。それにより天文学は飛躍的に発展した。

1840年頃には写真術が導入された。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。写真術の欠点は、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。

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。これはパロマ山の巨大な 5メートル望遠鏡と同じ事が CCD カメラを付けた口径 50センチメートルの小さな望遠鏡で実現できることを意味している。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。

さらに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。さらに第二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 (図 6)。

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。

天文学は宇宙の果てまで観測できるようになったので、これでおしまいということにはならない。恒星の周りの惑星、銀河の中心核、宇宙の大きさなど、より詳細な観測を必要とするテーマが数多く残っている。それにはより暗い天体を観測しなければならず、より多くの光を集める巨大望遠鏡が必要となる。そのために 2000年前後に表 1のように 9台もの巨大望遠鏡が完成する。それぞれ何百億円もの費用のかかるものである。まさに巨大望遠鏡の時代である。しかし、研究を進展させる中でより巨費を投じる観測装置の要

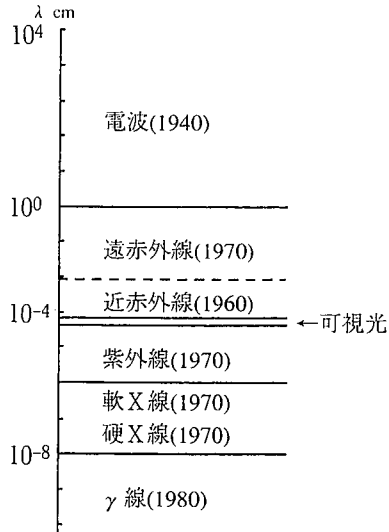


図 6: 天体観測は主に電磁波によって行われる。可視光ばかりでなく、いろいろな波長の電磁波が使われるようになってきた。

求が天文学者から出てくるのは、当然の流れのように思える。それではどこまで巨大化・巨費化が許されるのであろうか。それは当然その時代の社会と密接に関連していることは明らかである。

名 称	口 径	完成年	製 作 者
ケック望遠鏡 I	10.0 m	1993	カリフォルニア大学連合
ケック望遠鏡 II	10.0 m	1995	カリフォルニア大学連合
VLT I	8.2 m	1998	ヨーロッパ南天文台
VLT-II	8.1 m	1999	ヨーロッパ南天文台
VLT-III	8.1 m	2000	ヨーロッパ南天文台
VLT-IV	8.1 m	2001	ヨーロッパ南天文台
すばる望遠鏡	8.1 m	1999	国立天文台
ジェミニ望遠鏡南	8.0 m	2000	アメリカ・カナダ・イギリス連合
ジェミニ望遠鏡北	8.0 m	2000	アメリカ・カナダ・イギリス連合

表 1: 世界の大口径望遠鏡。VLT は「超大口径望遠鏡」、完成年は予定も含む。

7.4 社会に役立つ天文学

最近の天文学は巨大科学の様相を呈している。望遠鏡の口径がどんどん大きくなり、現在では8 mサイズのものが主流になっているし、宇宙望遠鏡も設置され使われるようになった。何百億円、何千億という金額が必要になってきている。そこで問題になってくるのが、これからのサイエンスが競争だけで成り立つのか、それとも共同でなければならないのかという事である。今までのサイエンスが国際的に競争を一生懸命行ってきたという事は事実である。望遠鏡は汎用に使える。たくさんの星を一度に撮ったり、スペクトルに分けて分解したり、時間分解したりといろいろなモードで観測すると一つの天体の姿がようやく見えてきて、たくさんの天体の姿を眺めると、ようやくそこに存在する物理が見えてくる。それはヘルツスプリング・ラッセル図の作成で示した通りである。日本として独立して研究するなら競争ということになる。そのためには新しいものをどんどん取り込んで、少々金額が高いものになってもいいという態度になる。共同という発想が出てくるのか出てこないのが、たくさんのデータを並べてやると何かが見えてくるといった種類の天文学という学問にとっては、非常に大きな問題になってくる。自分たちがやりたいサイエンスがコミュニティとしてどういう方向にあって、どういうふうにやればいいのか、という検討を十分に行ってミニマムなコストで有効な方法を選ぶべきである。今のシステムではいろいろな要求に応えるために様々な観測装置が望遠鏡に付け加えられており、かなり工夫されたシステムになっているが、ある観測装置から別の観測装置に移る時に新しい観測装置で完全な状態になるのにかなり時間がかかる。この時間のロスをどう考えるべきか。400 億円（すばるの値段）をフォトンの数で割って一つのフォトンが4円とか5円とかいう勘定をした時に、ロスのあるシステムが本当に成り立つのか。そういう評価をして国際社会の中でどう進めていくのかという議論をし、国際社会の中での協力を訴えていくことが今後のサイエン

スとして非常に重要になる。

天文学は環境と密接に関係している。例えば光害や電波障害は観測条件を悪化させる。光害というのは、夜空が明るいために起こる障害で、空が明るいところと暗い部分まで写すのにそれだけ余分に時間が必要になる。この光害は照明が空へ不必要に漏れているために起こるものである。日本では1年間に金額にして200億円ものエネルギーを無駄にしている(図7)。電波障害は電話やテレビの電波が空を走り回っているために生じるノイズを指している。それからスペース・デブリという問題もある。スペース・デブリというのは、人工衛星を打ち上げた際に生じる人工衛星以外のロケットなどのごみで、こういったごみが地球の周りをごろごろしている。1センチメートルの大きさのごみで宇宙ステーションの機能を破壊できるのである。

宇宙を考える時に宇宙のことだけという考えもあるが、我々がどうしてここにいるのかという人類進化の問題を考えるといろいろな爆発が貢献していることがわかる。3つの爆発が人類の存在をもたらした。一つはビッグ・バンで、これにより時空が生成された。もう一つは我々の体の材料となる元素の生成をもたらした超新星大爆発である。最後の一つが約6,500万年前に起きた小惑星衝突による環境破壊になる。これにより、恐竜などの大型生物が絶滅し、哺乳類などの小動物の進化が加速された。

このように天文学がその理性の力で発展させて来た内容によって一般の人々の感性に訴えうる人類の存在をもたらした過程を示せるようになってきたのである。天文学は純粋な学問で、研究者の知的好奇心を満足させる学問という側面があるのは確かであるが、天文学の成果が人々の宇宙観に影響を与えうるという点において社会と結びつくものとなる。

社会に直接役立つ天文学という観点では過去には暦や時の決定があったが、現代では他の有効な方法に変わられている。それでは社会との関連性の高い天文学の内容がなくなったためであろうか。他の直接的に人類社会と関

係するものの一つとしては小惑星の地球衝突がある。小惑星衝突は 100 万年に 1 回くらいの頻度で起こると考えられている。10 キロメートルの大きさの小惑星が衝突すると、人間一人に核爆弾一発を落としたのに相当するだけの爆発が起こる。現在のところ、発見されている小惑星の数はまだまだ少なく、衝突を避けるために小惑星を全て見つけ、衝突する可能性があるものを追跡観測する必要がある。小惑星の衝突を避ける方法として核の配備に意味があるのかどうかということをもう一度考える必要がある重要な問題である。例えば常に太陽の方向にある小惑星などは地球からは観測できないので、そういった小惑星が見つけられない限り核だけを配備すれば大丈夫という考えは無意味である。このような社会に直接関係する問題が天文学にも存在しているのである。

7.5 学校教育で扱う天文学

ここまでで社会の中の天文学としての現状やあるべき姿の一部を示してきた。一般の人々の天文学への関心度は何れにしても図 1 の分布に近いものである。大多数の無関心層に対しては、どのようにすればよいのであろうか。当然、不断の普及活動は欠かせないものである。また、皆既日食やしし座流星群のイベントも重要であるが、これらは天体現象で意図的に現象を引き起こすことは不可能である。

全ての人が天文学に接する機会は 1 つだけある。それは学校教育である。小学校・中学校では必修として天文学を学び、高等学校では地学の中で学ぶ。しかし、残念ながら高等学校における地学の履修率は 10 パーセントを切っており、大部分の生徒は学ばない。

一方、天文学は現在最も研究が進んでいる学問の一つであり、学校教育の中で教えられる天文学はかなり古いものとなる。しかも、図 8 に示すように天文学の分野は非常に多様であり、さらに他の学問分野と密接なものが多

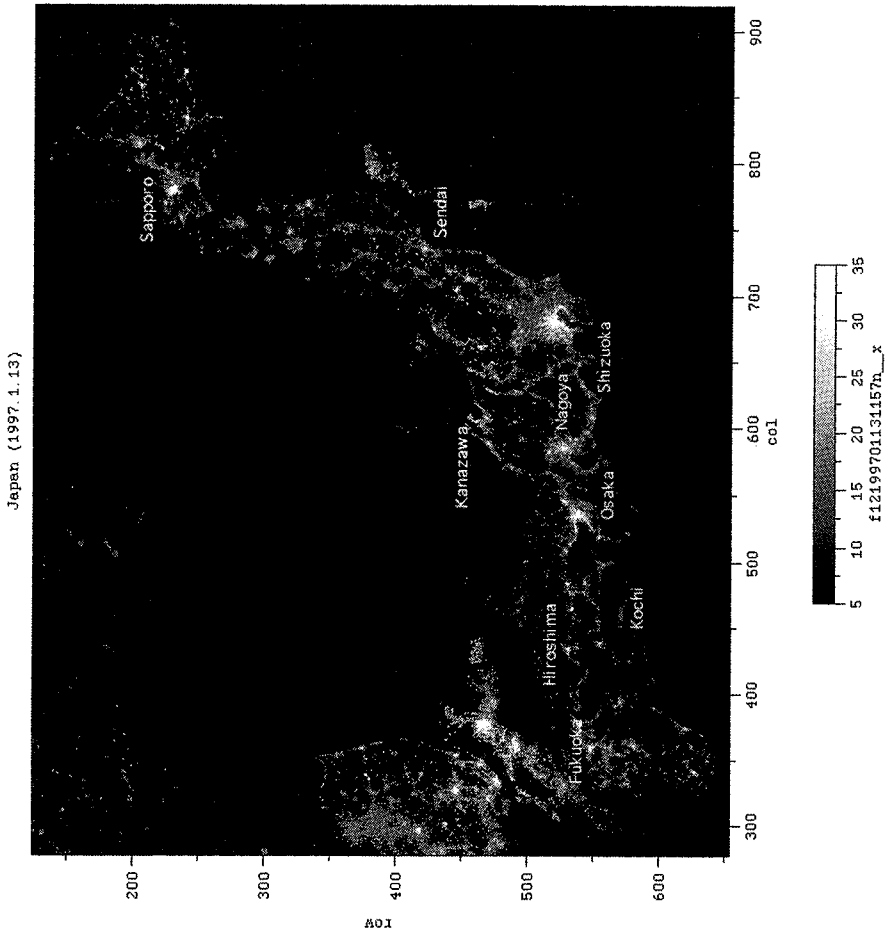


図 7: 人工衛星から見た夜の日本の光分布。この光の大部分は無駄になっている。

い。分野名だけを示すと天体物理学、宇宙生物学、宇宙化学があり、観測面では電子工学を始めとして、工学との関連も深い。そのような多様な内容を小・中・高の先生が十分に理解して教室で教えていくことは不可能に近い。

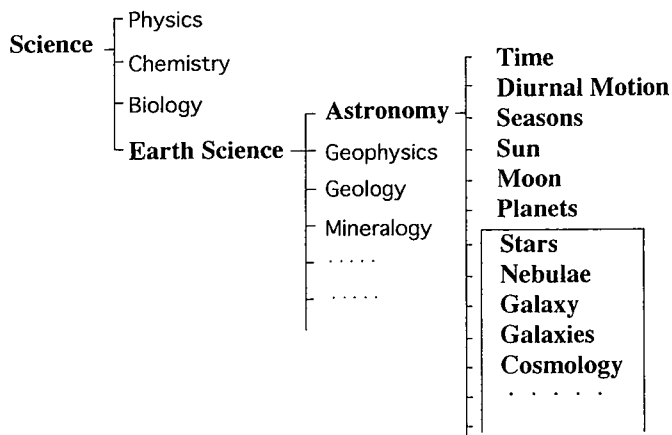


図 8: 高等学校の教科理科での分野。地学は天文学を含め多くの科学分野があり、天文学もさらに細分されている。

天文学の研究を進めるための基礎知識としては天文学そのものの割合は低く、物理学、数学、化学が中心であり、学問の国際性から考えて英語の勉強を十分にしておく方が好ましい。理性的な側面の基礎知識を獲得しておくべきで、天文学自体は感性的側面からおもしろい学問であると感じるだけで十分であろう。このことは一般の理工系学問においてもかなりの部分において当てはまる内容である。

図 2 のエのピア樽型の関心度分布が天文教育普及の目標であるとするれば、ほとんど全ての生徒が学ぶ小中学校の時代、及び以下に述べる方法による高等学校の時代に理科、特に天文学の楽しさを味わっておけるようにすることが大切である。特に天文学は小学生にとって関心の深い分野であるので、よけい大切である。現在のところ、生徒の関心は学年が進むにつれて薄れて

いている。これは天体の運行等、天文学にとっては基礎知識ではあるが、ブラックホールや宇宙の果て等のトピックスに比べて面白味のない部分が教えられているためと考えられる。

理工系に進まない児童・生徒にとって、理科への関心を無くすことは大人になって環境問題等を考えなければならない時には致命傷になる。これからの時代は多くの問題がグローバルになることを考えると、可能な限り、多くの人が理性的な立場で問題に対処しなければならなくなる。

先にも記したように多くの小学生は天文学に関心を持っている。それらの内容を中心として理科の他の科目と関連づけることにより、より関心の持てる内容を作っていくのがよいと考える。もちろん、あらゆる内容を教えることは不可能である。たくさん教えなくてもいいからどれか一つだけを教えればいいという教育が必要になってくる。例えば光害（天文学）だったらエネルギー損失（照明学）、光をどうやって利用していてそれをどう考えているのかという光利用心理（社会学）などを総合的に教えればよいし、地球近傍小惑星（天文学）であれば、環境がどう悪化すると（環境学）人類生存（社会学）はどうなるのかということ、また、スペース・デブリ（天文学）であれば人工衛星へのダメージと宇宙利用の限界などを教える。また、散光星雲中の水分子の存在と人類の誕生のための水、そして現代の私たちの生活に必要な水が関連づけられる。このように総合的なアプローチでまとめあげたいくつものカリキュラムからそれぞれ1つまたは2つを選んで学べば国民全体としてはあらゆる分野を学んだことになるであろう。いくら一生懸命天文教育だ、物理教育だといって、一部の人が一生懸命になっても国民の大半は無関心のままであるのが現状である。天文学は非常にユニークな学問であり、興味を持たせながら学問に引き込んでいくことができると思う。

これまでに記したことをまとめて考えると、天文学者は純粋科学を進めるという中に閉じこもってはいけない。積極的に人々の天文学への関心を深める努力をするばかりでなく、人類に役に立つことに対して、より一層支援を

する態度を持ち続けることが重要である。

文献

- [1] Isobe, S. 1990, Comparative methods for teaching an astronomical topic, in IAU Colloquium No. 105 "The Teaching of Astronomy, ed. by J. M. Pasachoff and J. R. Percy (Cambridge University Press, Cambridge), pp.103-107.
- [2] Isobe, S. 1991, Proposed Structure of education in astronomy, Proceedings of Astronomical Society of Australia, Vol. 9, pp.72-75.