

宇宙観測技術の歴史と展望

家 正 則*

* 国立天文台 光学赤外線天文学・観測システム研究系
東京都三鷹市大沢 2-21-1
* National Astronomical Observatory, 2-21-1, Osawa,
Mitaka, Tokyo, Japan
E-mail : iye@optik.mtk.nao.ac.jp

キーワード：望遠鏡 (telescope), 検出器 (detectors), 電磁波のスペクトル (spectrum of radiation), 补償光学 (adaptive optics)
JL 0012/98/3712-0815 © 1998 SICE

1. はじめに

最も歴史の長い学問といわれる天文学。古代より人類は満天の星空を見上げ、太陽と月の運行の様子を観察してきた。文明の指標ともなる暦は、天体運行の計測技術の進歩に伴い改良されてきた。天文学は研究対象に働きかけることができない唯一の学問とも言われる。天文学者はひたすら宇宙からの信号に目を見張り、考えるしかない。それだけに、微かな信号を読みとろうと、その計測法の開発には野心的であり、飽くなき追求が続けられてきた。

会誌編集委員会から本特集の相談を受け、天文学の各分野で開発中のさまざまな挑戦的な計測技術の解説を第一線の研究者にお願いすることを提案した。観測天文学は計測技術の上に成り立っている学問分野であり、宇宙のかなたからの微かな信号を捕らえるため、より高感度、低雑音、高空間分解能、広視野、高分光分解能、高時間分解能など、計測技術へのさまざまな要求をもっている。このような要求機能の中には日常生活や実社会での応用からは出てこない発想のものがある。しかしながら、純粹に学術的な要求から開発された新しい計測技術が実社会や工業界への応用を見いだしている例も少なからず生じている。

打診した執筆者は研究現場で活躍されている忙しい方々ばかりだが、幸い多くの方に協力していただけたことになった。そこで特集を2回に分けて、電波関係の先端的開発については機会を改めて特集していただくこととし、今回は可視光・赤外線、および計測技術として関連の深い重力波、X線分野の解説をお願いすることにした。

2. 望遠鏡技術の歴史

1609年にガリレオ・ガリレイが対物凸レンズと接眼凹レンズを組み合わせた口径4cm程度の望遠鏡を自作し、夜空を見上げたのが天体望遠鏡の始まりである。ガリレイは木星の4大衛星、土星の輪、太陽黒点、天の川の無数の星などを発見した。その後、対物凸レンズと接眼凸レンズからなるケプラー式望遠鏡が発明されると、実像をつくる焦点面上にくも糸を張ることにより、星の位置の計測ができるようになり、天体の位置計測が進歩した。レンズには色収差があるため、色収差を軽減しようと焦点距離の長い望遠鏡が作られたが、これは使い勝手が悪く、実用上の限界

があった。フラウンホーファーが色分散の異なるクラウンガラスとフリントガラスを組み合わせた色消しレンズを発明してから、実用的な大型屈折望遠鏡が作られるようになった。だが、内部屈折率の一様な大型レンズをつくるには限界があり、屈折式望遠鏡の大型化はヤーキス天文台に建設された口径101cmのものが頂点となった。

反射望遠鏡はアイザック・ニュートンの反射鏡が歴史の始まりである。色収差のない光学系として、ニュートンは金属鏡を放物面に磨き、放物面の焦点の前に平面斜鏡をおいて鏡筒の外から覗けるようにしたニュートン式望遠鏡をつくった。金属鏡はせっかく磨いても比較的短期間に曇ってしまうという問題があったが、ガラス鏡材を磨いてその表面にアルミニウムメッキを施す方法が開発されて、反射望遠鏡が実用化された。反射望遠鏡は凹面主鏡の近似焦点に補正光学系を装着して得られる主焦点、凸面副鏡との組み合わせで得られるカセグレン焦点、赤道儀架台の場合は極軸の中を通して実験室まで光を導くクーデ焦点などが利用できる。望遠鏡の架台は1軸定速駆動の赤道儀が主流であったが、コンピュータ制御の発達により、2軸変速駆動が可能となり、最近の大型望遠鏡では構造が対称で単純かつ安定な経緯儀が主流となってきた。経緯台方式の場合には第3斜鏡で高度軸内に光を折り曲げて得られるナスマス焦点も利用されている。

光学系はザイデルの5収差といわれる、球面収差、コマ収差、非点収差、像面湾曲、像面歪曲を必要に応じて除去するように設計する。光軸上で完全な結像が得られる放物凹面主鏡と双曲凸面副鏡を組み合わせた古典的なカセグレン望遠鏡が当初主流であったが、近年は双曲凹面主鏡と双曲凸面副鏡の組合せでコマ収差と球面収差を除去できるリッチ・クレチアン式望遠鏡が主流となっている。いずれの場合も主焦点を用いる場合には通常3枚組レンズからなる補正光学系を装着する必要がある。

望遠鏡の姿勢の変化による主鏡と副鏡の位置関係の狂いが最小になるように、望遠鏡のトラス構造を設計する。望遠鏡の光学性能と並んで重要なのは追尾駆動精度であり、ここにもさまざまな技術が織り込まれている。

望遠鏡の大型化は20世紀前半のウィルソン山の100インチ反射鏡、パロマー山の200インチ反射鏡といったん頂点に達した。その後、ソ連の6m鏡を例外とすると、1980

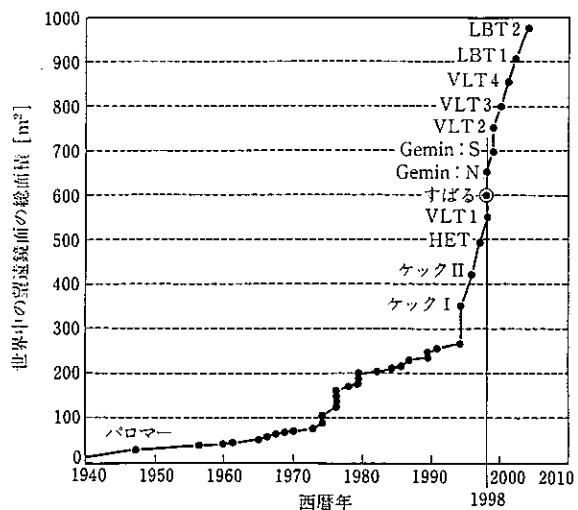


図1 人類のもつ望遠鏡鏡面の総面積の増大

年代中頃までは口径の増大よりは、望遠鏡としての精密化が重視された。そして21世紀を迎える現在、地上望遠鏡は8~10m鏡の時代に突入しつつある。図1に望遠鏡口径の増大の歴史を示す。宇宙を見る人類の瞳がいかに急速に大きくなってきたかを感じていただけたであろう。

3. 宇宙からの信号

天体からは、そのエネルギー状態に応じて、ガンマ線からX線、紫外線、可視光、赤外線、電波に至る広範な波長域の電磁波(図2)、高エネルギー粒子としての宇宙線、

ニュートリノ、重力波などさまざまな信号がやってくる。20世紀前半までは宇宙を観る手段は可視光域の観測に限られていたが、20世紀後半に入って観測波長域が広がり、電磁波以外の情報も得られるようになって、天文学は大いに発展するようになった。

地上からの天体観測では、地球の大気が計測の障害となる。まず、大気による吸収のため、可視光、電波、赤外線の一部以外は地表にまで届かない。したがって、X線、紫外線、遠赤外線の観測は観測装置を大気外へ打ち上げて行う必要がある。宇宙科学研究所を中心とする日本のX線天文学グループは、独創的なX線天文衛星を打ち上げ続けており、世界をリードする立場にある。すだれコリメータ、X線反射鏡、X線CCD、X線マイクロカロリメータなどを用いて、超高温ガスからのX線を計測する技術については、本特集の井上氏の解説記事をごらんいただきたい。大気外からの観測のもう1つの大きな柱が赤外線観測である。この分野でも日本のグループは国際協力で大きな成果を挙げてきた。赤外線はX線とは逆に低温の天体から放射される。地球大気や観測装置が放射する赤外線を避けるには宇宙空間に冷却した望遠鏡を打ち上げる必要があり、スペースからの赤外線天文学観測の歴史は意外に新しい。だが、中川氏の解説記事にあるように、赤外線画像検出器の急速な進歩に助けられ、この分野では魅力的な計画が目白押しである。大きな進展が期待されている。

3.1 連続スペクトルと線スペクトル

天体からの電磁波を波長についてスペクトル分解する

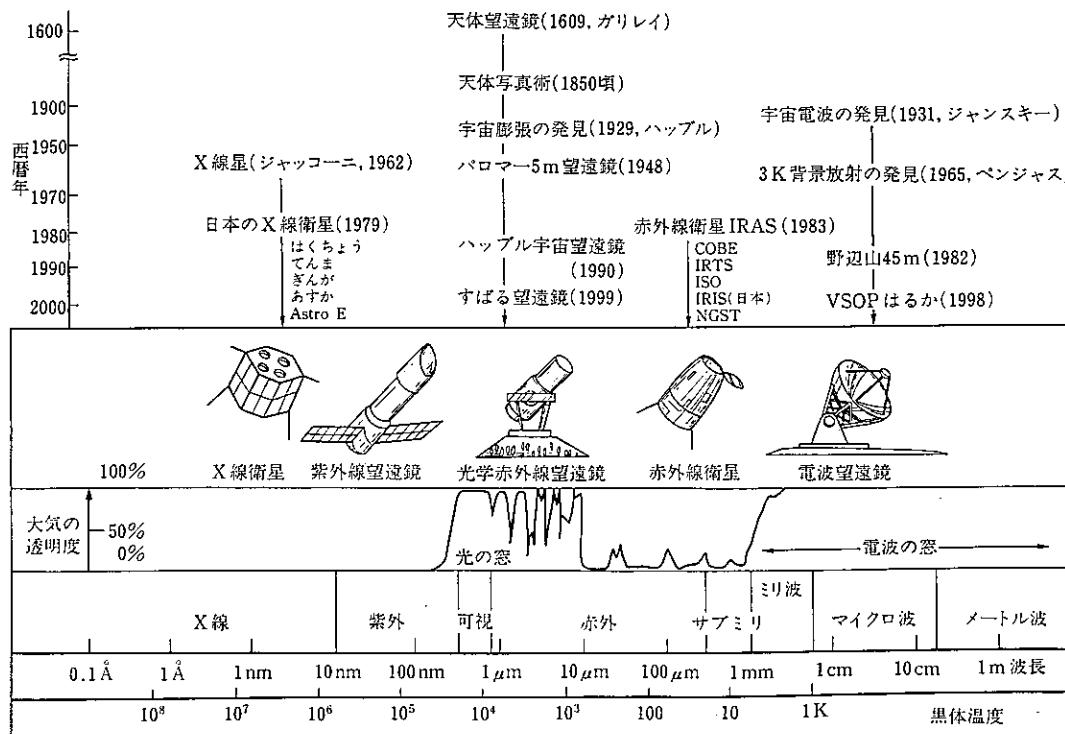


図2 大気の透明度の波長依存性。天体観測における波長域制覇の歴史

と、連続スペクトル成分、輝線スペクトル成分、吸収線スペクトル成分の3種類があることがわかる。

恒星のスペクトルは基本的には虹のような連続光スペクトルである。プリズムで屈折した太陽光が壁に虹になって映るのや雨上がりの空の虹を想い浮かべればよい。可視光と赤外線領域では、連続スペクトルは自由自由遷移と自由束縛遷移からなる熱的放射が主であるが、シンクロトロン放射などの非熱的放射成分が認められることがある。熱放射の場合、可視光ではおおむね1万度程度の恒星からの放射が主であるのに対し、赤外線ではより低温のガスや塵の雲からの放射が主となる。連続スペクトルはいくつかの波長帯域で定義した等級と色指数により記述することができ、天体の温度の目安を与える。

だが、より詳しく調べると星のスペクトルには数多くの吸収線が刻み込まれている。吸収線スペクトルは、星の表面大気中の原子や分子が連続光の中の特定の波長の光を吸収して、電離したり励起状態になるために生ずる。これは、原子や分子の電子準位や分子の振動・回転準位が量子化され離散的であるため、2つの異なるエネルギー準位間での転移に応じて、そのエネルギー差に相当する光子が吸収されるためである。

これに対して、オリオン星雲などのスペクトルを測定すると、特定の波長でだけ強い光が出ていていることがわかる。密度が低くて温度が高い星間ガスからの放射スペクトルは、吸収線ではなく輝線スペクトルになる。色とりどりのネオンサインは輝線スペクトルの代表例である。ネオンは赤、ナトリウムはオレンジ、カリウムは紫、と元素によって決まった色で発光する。彗星のスペクトルにはさまざまな分子の輝線が確認できる。これらの線スペクトルの波長とその強さはスペクトル線の吸収または放射を起こす原子、イオン、分子の状態とその量に依存するから、線スペクトルを調べると、天体の密度、温度、圧力、元素組成などの物理状態を診断することができる。

救急車のサイレンの音は、近づく時は高く、遠ざかる時は低くなる。これは音波の波長がドップラー効果により、近づく時には短く、遠ざかる時には長くなるためである。一様に膨張する宇宙では、遠い天体ほど大きな速度で遠ざかっている。われわれから遠ざかっている天体の発する電磁波も、ドップラー効果のためその波長が長くなる。波長の長くなる割合を赤方偏移という。赤方偏移 z の大きさは、視線速度 v が光速度 c に比べて小さいうちは、視線速度と光速度の比に等しく、 $z=v/c$ と書ける。スペクトル線の波長の偏移を測ることにより、天体の運動速度や、ガスの乱流速度などの情報を導き出すことができる。このように、分光観測は撮像観測以上に重要な情報をもたらすことが多いが、光を細分するため暗い天体ほど困難となり、集光力をもつ望遠鏡が必要となる。



図3 夜の地球。都市明かり、オーラ、油田などが輝いている。日本列島は光の海であり、光害の深刻さがうかがわれる。

3.2 夜空の明るさ

人類文明の発達とともに天文観測は光害に悩まされるようになってきている(図3)。街明かりがまったく届かないところでも、夜空は真っ暗ではない。地球の上層大気中の分子や原子が放つ大気光、惑星の公転軌道面上に散在する微小な塵が太陽光を散乱して光る黄道光、それに個々には識別できないほどの暗い星々や遠くの銀河からの背景星野光によって、夜空はほぼ一様にほのかに輝いている。その明るさは1平方秒角あたり青色域で22等星1つ程度、赤色域では20等星1つ程度に相当する。波長2ミクロン以上の赤外線では約300Kの地球大気からの熱放射が空を輝かせているため、赤外線では夜も昼も明るさには大差がない。このため、特に波長2ミクロン以上の赤外線領域では、暗い空を求めて大気圈外に観測装置を打ち上げるのが有利である。ただし、地球の外に出さえすれば完全な闇の世界となるかというとそうでもない。宇宙にはビッグバンの残照の3Kの黒体放射が満ちており、この放射がピークとなるマイクロ波では、宇宙背景放射観測衛星(COBE)が確認したように、宇宙全体が一様に光っている。

天体の明るさと色、あるいは線スペクトルを精密に測定するには、地球大気や星間空間に漂うダストや分子による吸収や放射の影響を除去する必要がある。吸収量は一般に波長が短いほど大きいため、吸収量が大きくなると色が赤くなる。このことは2色図上での恒星の分布を調べることにより、星間赤化、星間吸収現象として確認されている。

4. 光検出器の進歩

観測天文学の進歩の背景にあるのが、光検出器の進化である。20世紀初頭の天体写真観測の普及は、それまでの肉眼による観測に比べて大きな変革となった。人間の目はかなり感度の良い検出器であり、脳という優れた非線型画像処理機能つきの記憶媒体への良い外部入力装置である。したがって、発見的な計測をリアルタイムで行うには大変有効なシステムであるといえる。だが、この記憶媒体は、情報に強く依存したタイムスケールで記録信号が減衰し、雑音が混入する。場合によっては検索不可能となることがある。

り、記憶情報の再現機能には問題があるというしろものである。外部入出力装置がアナログ音声モードと記憶再生後のテキスト化モードしかないというのも、客観的な検証を困難にしてきた原因であった。

4.1 乳剤写真

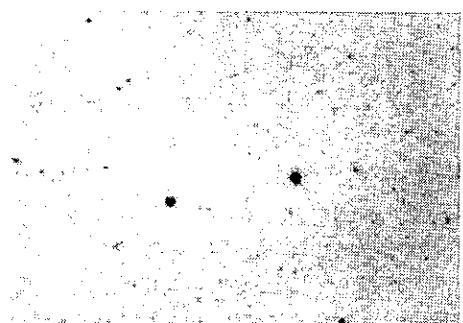
その点、臭化銀などの光化学反応により、銀粒子の黒みとして乾板上に光の分布を記録する写真技術の導入は、「見た、見なかった」という論争に終止符をうつ画期的なできごとであった。乳剤写真観測は、量子効率は高くないが、長時間光を蓄積することができるため、肉眼の及ばない感度を達成することができる。また、保存性も良いので何年も前に撮影された写真乾板を取り出してみれば、そのときの観測の客観的な再現が可能である。こうして、20世紀に入ると天体写真観測により、天文学が飛躍する時期を迎えた。

4.2 CCD カメラ

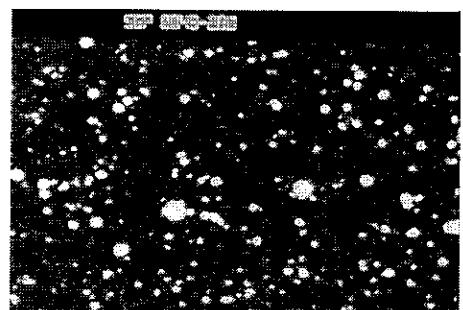
1980年代には、光検出器としてこれまで主流であった写真乾板やフィルムが CCD(電荷結合素子)におき換わった。光化学反応を利用した従来の写真乾板やフィルムでは光を捕える効率は1%程度でしかなかった。半導体内部での光電効果を利用した CCD は、入射光子の最大約 80% を捕えて電子(光電子)に変換することができる。通常の CCD は約 100 万個の画素からなり、おのこの画素には発生した電子を数 10 万個まで蓄えられる電気的なバケツがついている。動画用の通常の CCD とは違い、低照度で用いる天体観測用の CCD では、各画素に光電子を蓄積し、露出終了後に各画素にたまつた電子をバケツリレー(電荷転送)して読み出す。CCD 内部の熱的ゆらぎにより発生する電子(熱電子)を抑制するため、CCD は真空容器の中で通常 -120°C 程度に冷却して用いる。

CCD カメラで撮影した画像と乳剤写真乾板の画像を比較すると(図 4)¹⁾、その違いが一目瞭然となる。これは光に対する感度が良いうえに、その再現性が大変良いためである。写真乳剤粒子のムラは再現性がないが、CCD の画素感度ムラは小さいうえ、あるとしても再現性が良い。この違いが大きく、CCD による観測は乳剤写真とは質的に違う世界を開いた。CCD の欠点とされていた撮像面積の小ささについても、最近は大型でかつ隣接配置が可能な CCD の開発が進み、1億画素をもつモザイク CCD カメラの実用化が進められている。天体観測用の最先端の CCD の開発状況については、本特集の宮崎氏の解説を参照されたい。

検出器の半導体化の流れはもちろん可視光に限ったことではない。波長 1 ミクロロン以下の光子に感度のあるシリコン半導体での内部光電効果を用いた CCD に続いて、1~5 ミクロロンの近赤外線用として、HgCdTe, InSb などの複合半導体を用いた 2 次元撮像素子が実用化されてきた。20年前には望遠鏡を振って赤外線強度分布を調べていた赤外線観測も今では画像観測があたりまえの時代となってきた。



(a)



(b)

図 4 南銀極天域の(a)乳剤乾板写真と(b)CCD 写真(Tyson 1988)。感度の違いが著しいことがわかる。

バンドギャップのより小さい半導体を必要とする中間赤外線用にも GaAs, GaSi などを用いた撮像素子が開発されている。特に過去 20 年間における赤外線観測での観測機能の向上には目を見はるものがある。

5. 補償光学

地上からの天体観測は上空大気の状態に観測精度が左右されるため、1970 年頃から欧米の天文台は観測条件の良い場所を世界規模で求めて、ハワイ島マウナケア山頂、南米チリのアンデス高原、大西洋のカナリー諸島などに、最先端の望遠鏡を建設するようになってきた。良い場所に良い望遠鏡を作つて、観測条件の良い夜を待つというスタンスである。大気ゆらぎは地表近くの数 10 m までの接地境界層、その上高度 10 km 程度までの対流層、高度 10~300 km の高層大気に起因する成分があるが、1980 年代に望遠鏡やドーム自体から発生する熱揺らぎを抑制する研究が進み、大気ゆらぎの克服に力が注がれてきた。

最近では、さらに一步踏み込んで、観測条件を積極的に制御してしまおうという考え方のもとに一連の新しい光制御技術開発が成果を挙げ始めている。8 m 級大型望遠鏡の建設が可能となったのは能動光学方式の導入による。これは主鏡を薄い 1 枚物のガラスでつくり、その表面形状を常時、制御してしまうという考え方で、精密な形状計測技術とコンピュータ制御技術の発展で実用化されたようになった。8.2 m すばる望遠鏡にはこの技術が用いられている。能動光学

方式で、鏡の自重変形、熱変形、研磨誤差などの補正が可能となった。このあたりについては佐々木・家の解説をごらんいただきたい。だが、変化の速い大気による光波面擾乱については固有振動数の低い主鏡では対応できない。これに対処する小型の可変形鏡を組み込んだシステムを補償光学システムと呼んで区別しているが、原理的には似た技術である。

補償光学の原理そのものは実は1953年に天文学者が考えたものである³⁾。当時はそのようなアイデアを実用化する技術が成熟していなかったが、1970年代後半から米国の防衛研究の中で衛星監視遠鏡の解像力を向上させる技術として、巨額の予算を投じて実用化研究が秘密裏に進められた。80年前後の技術に立脚したシステムができあがりかけた頃、天文学観測の立場からよりスマートで安価なシステムが独立に開発され公表された。幸いこのころ冷戦が終結したこともあり、防衛関係で開発された補償光学関連技術は公開されるようになった。これをきっかけとして、天文学での補償光学技術が一斉に花開くことになった(図5)。

波面測定には波面の局所的勾配の分布を測る方式と波面の局所的曲率の分布を測る方式が実用化されている。前者の代表はシャック・ハルトマンカメラと呼ばれる装置であり、望遠鏡光学系の瞳位置にマイクロレンズアレーを配置し、それぞれのマイクロレンズがつくる明るい星の像位置の変位を測り、その情報から波面擾乱を計算する。後者は文字通り曲率センサと呼ばれる装置であり、望遠鏡焦点の前後で測定した光束の照度ムラから、波面の局所的曲率の分布を測る。波面の補正には、薄板鏡または薄膜鏡を積層型あるいはバイモルフ型のピエゾ素子群や静電駆動型の電

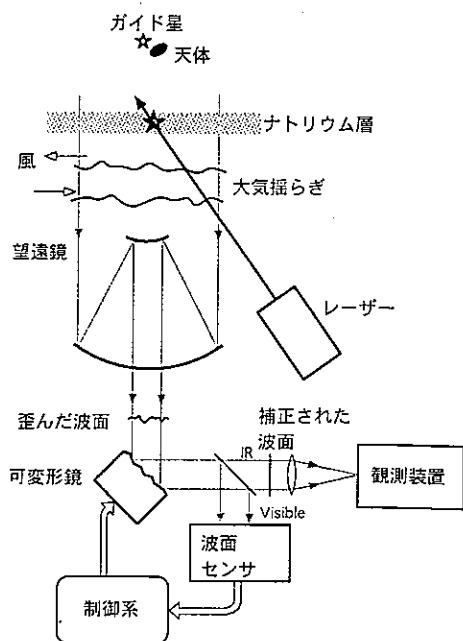


図5 補償光学システム (高見 1998)

極群で微少変形させて、反射光路長を調整する。大気変動の時間スケールに合わせて計測と制御を行うには、近赤外線から可視光では10ミリ秒から1ミリ秒程度のスピードで行う必要がある。

無限遠の天体からの電磁波は地球の大気に突入するまで、ほぼ平面波として伝搬するが、大気中の温度揺らぎによる屈折率のムラのため、地上に到達するまでには波面が擾乱を受けてしまう。ある波長で見たとき、2つの光線間の波面位相の差が無視できない大きさになる間隔をフリード長 η_0 と呼ぶ。フリード長は波長 λ の1.2乗に比例することが知られている。口径 D の望遠鏡で観測するとき、波面擾乱のない真空中では空間解像力は回折限界 D/λ で決まる。擾乱大気を通しての観測では、空間解像力は D/η_0 となり、開口内には $(D/\eta_0)^2$ 個の位相が異なる独立な波面があることになる。大気を簡単化して1層と近似し、その風速を v としたとき変動の時間尺度は $t = -\eta_0/v = \lambda^{1.2}/v$ となる。これらの関係から、観測波長が1/2になると、独立な位相の数が4倍となり、位相変化の速さが2倍以上となること、つまり大気のゆらぎの測定項数が4倍となり、そのうえ2倍速くする必要があり、補償光学の計測と制御はほぼ波長の3乗に半比例して困難となる。このような事情のため、最初の補償光学系は近赤外域で実現された。近赤外用の補償光学装置を用いて空間解像力をほぼ回折限界にまで高めた観測は、地上望遠鏡の宿命であった大気の擾乱を打ち消すことが可能であることを実証した^{3),4)}。

実際に補償光学装置を使うには、任意の方向にある観測天体に対して、その方向の地球大気のゆらぎを実時間で測

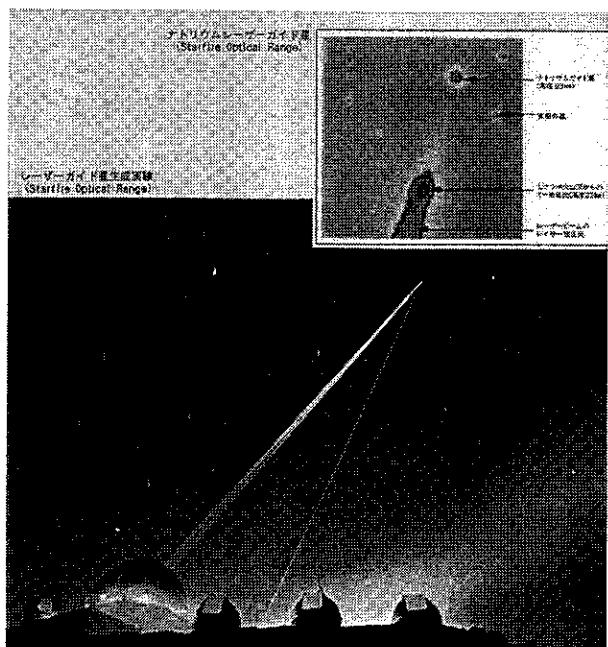


図6 レーザーガイド星 (Starfire Optical Range)。(下) YAG レーザーとナトリウムレーザービームの照射実験。(上)生成されたナトリウムガイド星の像

ることを可能にする十分な明るさをもつ光源が必要である。通常は明るい恒星を光源として利用するが、それでは明るい星の周辺でしか補償光学技術が実用にならない。この問題については、地上から任意の方向へレーザービームを打ち、上層大気中に星のように光るスポットをつくり、人工星として利用するレーザーガイド星技術（図6）がある⁵⁾。高度90kmの大気中にナトリウム原子密度の高い層領域があることが知られており、波長589nmのナトリウムD線で発振するレーザーを照射すると、この層でナトリウム原子が励起され共鳴散乱することにより光る。このような人工星をつくり補償光学の光源として用いる実験はすでに成功しており、いくつかの天文台が実際に人工星を用いた補償光学システムをつくる計画を進めている。

6. 21世紀の天体観測

天文学は計測技術の進歩で20世紀後半に入り、驚異的な進歩を遂げた。つぎつぎと新しい観測事実が発見され、今、天文学が一番面白いとさえいわれている。今後も宇宙を知りたいという強い動機に支えられ、観測波長域の拡大、空間解像力の増強、波長分解能の拡大、装置の高感度低雑音化、観測効率の改善などが間違なく進められるであろう。

6.1 観測手段・波長域の拡大

宇宙からの信号は電磁波だけではない。東京大学宇宙線研究所は宇宙から飛来する高エネルギー宇宙線の計測を行ってきたが、それに加えて神岡のニュートリノ観測施設が地球大気、太陽や超新星からのニュートリノの測定に成功し、ニュートリノ振動の問題や太陽・超新星の内部構造の研究に新しい展開をもたらしている。

国立天文台他が進めている、レーザー干渉計を用いて重力波を検出する試みには、計測と制御の究極的技術が集約されている。川村氏の記事には 10^{-22} のひずみを測定するためのさまざまな技術開発とその現状が記されている。

電磁波の観測では、波長60~1000μmの遠赤外線・サブミリ波の領域での観測が大いに進展する可能性がある。地上に展開するミリ波・サブミリ波干渉計計画などについては次回の特集で詳しく解説されることと思う。スペースからの観測計画として波長数百ミクロンの遠赤外線を観測する次世代冷却望遠鏡を、地球と月がつくる安定軌道の1つであるラグランジュ点に打ち上げるという構想も宇宙科学研究所を中心に練られており、新しい展開が大いに期待できる。

電磁波のもう1つの未開領域が波長10~1000Åの極紫外線領域である。このあたりの電磁波はそもそも星間空間で吸収されてしまうので遠くを見通すことができない。太陽の観測以外はほとんど手つかずの領域だが、21世紀に誰かがとんでもない方法を思いつくことがあるのかもしれない。

6.2 空間解像力の拡大

空間解像力は観測波長 λ と望遠鏡の口径（干渉計の場合はその最大基線長） D とで決まる回折限界 λ/D がその理論的限界となる。電波干渉計技術のめざましい発展は地球周回軌道上の望遠鏡と地上の望遠鏡の間で干渉計を構成することを実現した。光干渉計は電波に比べて波長が数桁小さいため、技術的に困難がより大きいが、現在基線長100m程度の干渉計の建設が内外で進められようとしている。その開発の状況については、本特集の西川氏ほかの解説記事をごらんいただきたい。地上の大型望遠鏡で光干渉計を組むには補償光学が前提となる。大気のゆらぎのないスペースではその点では、光干渉計は単純になる。干渉計の要素望遠鏡の軌道位置を光の波長の精度で追い込む必要が生じるため、これも話はそう簡単ではない。だが、計測と制御技術の発展により、たとえば可視光域で地球周回軌道上を回る素子望遠鏡間で光干渉計が実現したとしよう。この場合の空間分解能は 6×10^{-7} 秒角となる。この解像力ならおよそ1ヵ月の観測でアンドロメダ大星雲中の星の固有運動を測定することができる。

6.3 高感度化、低雑音化

現在、可視光・近赤外線領域で観測可能な地上望遠鏡は8~10m級望遠鏡の時代に入っている。人類の保有する鏡の総面積は急速に増大している。集光力の増強は今後も続くであろう。有効口径25~50m級の望遠鏡による可視光・赤外線域での超微光天体の分光観測の可能性が次世代の計画としていろいろな機会に議論されはじめている。現在の地上望遠鏡の建設技術と補償光学技術を用いれば、近赤外線用の有効口径25~50mの望遠鏡の建設自体は技術的には不可能ではないであろう。補償光学により改善できる視野を広げるためには、レーザーガイド星を複数配置する必要があるであろう。このような望遠鏡は特に分光観測で有力であり、ハッブル宇宙望遠鏡が発見した28等級レベルの宇宙論的な銀河のスペクトル観測が可能となる。

次世代の宇宙望遠鏡計画として、NASAは2007年の打ち上げを目標に、波長1~5ミクロンの近赤外線で遠宇宙を観測する口径8mクラスの望遠鏡を地球-月系のラグランジュ点に打ち上げる構想を練っている。太陽からの光を遮る大きな日除けパネルの裏側に望遠鏡を置き、背景放射の少ない状況での観測を行う。ラグランジュ点は地球から見て月の裏側にあるため、地球からの照り返しもない。

7. さいごに

装置が大型化し複雑化するに従い、そのシステムを効率良く安全に動かす制御系や、得られた大量のデータを解析し、管理保存するシステムの充実がきわめて重要な課題となってきた。電子の制御から光の制御の時代に移ろうとしている現在、計測と制御を専門とされる本誌の読者からの、光の制御に関する新しいアイデアをお聞かせいただ

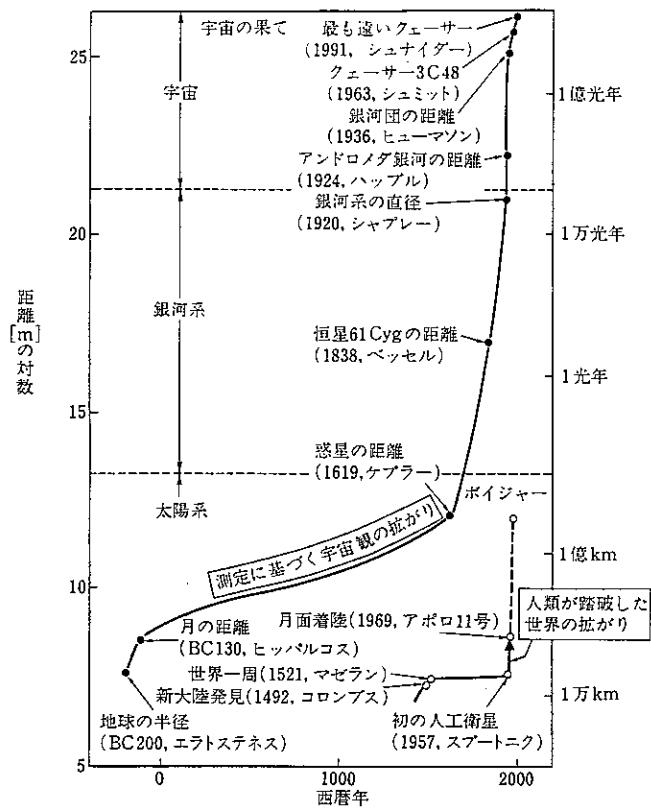


図7 測定に基づく宇宙観の拡がりと人類が踏破した世界の拡がり

ければ幸いである。

前章で述べた今後の大計画は1000億円をかなり上回る予算規模となるものが多い。必然的にそれぞれの国単独で建設可能な規模を超えたものとなる。天文学ではすでに多くの観測装置計画に関連してさまざまな国際協力を実質的に行ってきているが、今後はその方向がさらに加速されるであろう。巨大科学の方向付けは、研究者が学術的意義、コスト、マンパワーなどを厳しく自己評価しつつ進めるべ

きであり、政治的な都合で学術的意義を無視した決定がなされることがあることはあってはならない。

図7は測定に基づく人類の宇宙観の広がりの様子を示している。エド温・ハッブルが膨張宇宙を発見し、人類の宇宙観が観測に立脚して広がってからまだわずか70年しか経っていない。世の中に光より速いものはないことになっている。だが、この70年間の人類の宇宙認識の広がりのスピードは「光速を越えている」。宇宙を観測するさまざまな手段を手にした人類は、これからも「知りたい」という人間の性がなくならない限り前進するであろう。近傍の宇宙の地図づくりは具体的に始まっており、また宇宙の果ての天体、つまり宇宙が始まって間もないころの天体の観測も本格的に始まろうとしている。21世紀のこの分野の進展が本当に楽しみである。

(1998年10月16日受付)

参考文献

- 1) A. Tyson : Astron. J., 96, p. 1 (1988)
- 2) H. W. Babcock : PASP, 65, p. 229 (1953)
- 3) F. Merkle, et al. : Messenger, ESO, 60, p. 9 (1990)
- 4) 高見英樹 : 天文月報, 91-10, p. 466 (1998)
- 5) L. A. Thompson and C. S. Gardner : Nature, 328, p. 229 (1987)

[著者紹介]

家 正則君

1949年8月13日生。国立天文台光学赤外線天文学・観測システム研究系教授。72年東京大学理学部天文学科卒。77年同大学院博士課程(天文学専攻)修了。東京大学理学博士。同年東京大学理学部助手。80年東京大学東京天文台に移り、86年同助教授。88年国立天文台助教授。93年同教授。すばる望遠鏡計画にその構想時から従事。CCDカメラ、能動光学、補償光学などの開発と銀河物理学の研究に従事。

