

宇宙がわかると未来が見える

名古屋大学 太陽地球環境研究所 水野 亮

1. 宇宙の研究はロマンをもとめる？

宇宙の研究をしていると話をするとうまく聞かれることがあります。「宇宙ですか…ロマンがあっていいですね。でも何の役にたつのでしょうか？」対象の大きさ、時間スケールの長さから、ともすれば宇宙の研究は我々の日常とは関係ない学問のように思われがちです。しかし、宇宙の研究は我々の生活とまったく無縁ではありません。星の運行の規則性は暦を作り、暦は農耕社会において極めて重要な役割を果たしてきました。太陽とその周りの惑星の運動の正しい理解が、ガリレオ、ケプラー、ニュートンなどにより精密に観測、体系化され物理学の最も基本をなす力学を生み出しました。太陽の吸収線スペクトルの観測は分光学を発展させ、原子の構造を解明する上で基礎的な知見を我々に与えてくれました。宇宙には高温や超高真空の極限的な環境が存在し、宇宙は地球上では作り出すことが極めて困難な状態での自然現象を知ることができる天然の実験室を提供してくれます。宇宙の観測の歴史なくして、今日の物理・化学の発展はなかったといっても過言ではないと思います。宇宙の研究は、根源的なところで我々の生活と深く関わっています。

また、宇宙の観測は究極のリモートセンシングとも言えるべきもので、種々の天体から出てくる様々な波長の電磁波を観測することにより天体の物理状態を明らかにしようとしています。宇宙からやってくる微弱な電磁波を如何にして効率良くキャッチするか、地球大気による吸収やノイズの中に埋もれた天体からの信号をいかに抽出するか、というところで現代の最先端の測定技術を用い、常に新しい観測装置・手法を開発するための努力を続けています。そのような努力は、実験と改良の繰り返しで、ロマンとはほど遠い現実的で地道なものです。

講演では、電波天文の観測手法や電波観測からどのような天体現象を調べることができるか、そのような観測成果が得られているかなどについてもお話しましたが、ここでは紙面の制限もあり、それらの話は毎年夏に行っている公開セミナー「天文学の最前線」の資料集などに詳しく書いてありますので、ここでは現在天体物理学研究室を中心に進めている「なんてん」電波望遠鏡のアタカマ移設計画(NANTEN2計画)と地球大気中の微量分子測定装置について紹介します。

2. NANTEN2

1996年、名古屋大学の東山キャンパスで星間分子雲の観測を行っていた口径4メートルの電波望遠鏡が南米チリ共和国のラス・カンパナス天文台に移設されました。「なんてん」電波望遠鏡の誕生です。北半球からは観測できないマゼラン銀河（銀河系から最も近い系外銀河）や南の空の星形成領域の観測を行うのがその目的でした。それから8年あまりの間に「なんてん」望遠鏡は、大マゼラン銀河の全面観測を行い、大マゼラン銀河内の分子ガス雲の分布と性質を明らかにしました。大マゼラン銀河内では、数万個の星が重力的に束縛したポピュラス星団と呼ばれる星団が形成されています。我々の銀河系内では百億年以上前に形成が止まってしまった球状星団をひとまわり小さくした星団

で、我々の銀河系の初期段階での星形成の様子を知る手がかりになる重要な天体です。「なんてん」の観測結果は、そのような星団とその母体である分子ガス雲との関係を明らかにし、そのような巨大星団が形成される分子ガス雲は1千万年程度の短い時間で散逸してしまうことを明らかにしました。

また、「なんてん」望遠鏡は、我々の銀河系の分子ガスの分布もかつてない分解能と感度で明らかにしました。図1に「なんてん」望遠鏡の観測をもとに描いた我々の銀河系の分子ガスの分布図を示します。「なんてん」電波地図の特長はそれまでの観測に比べ、銀河の厚み方向（銀緯）の観測範囲が広いことで、 ± 10 度をカバーしているところです。その結果、超新星爆発で吹き上げられた膨張ガスの中で形成された分子ガス雲を数多く検出することができ、銀河系内のダイナミックな物質循環と大質量星形成との関係を示唆しました。他にも銀河系の中心方向の分子ガスの物理状態や銀河系の端の分子ガスの物理状態など多くの知見が「なんてん」望遠鏡による観測で得られています。

そして2004年、「なんてん」望遠鏡は標高4,800mのチリ共和国北部アタカマ高地に移設され、「NANTEN2」として生まれ変わろうとしています。水蒸気による電波吸収が極めて少ないアタカマ高地において、人類最後の未開拓波長帯であるサブミリ波（波長が1ミリ以下の電波）帯での観測を開始するためです。サブミリ波帯には、大質量星が形成される高密度領域の観測に適した一酸化炭素の高励起スペクトル線や分子ガス雲の形成・消滅を調べる上で重要な中性炭素(CI)スペクトル線が存在します。現在の主鏡面を高精度のアルミパネル33枚からなる複合鏡に変え、全体として鏡面精度15マイクロン(rms)以下のパラボラ鏡面となるように調整をします。鏡面の調整には、デジタル写真をもとに計算機処理による三角測量から鏡面の凹凸を測定するフォトグラメトリーや電波の位相差を用いて鏡面の凹凸を測定する電波ホログラフィー法などが用いられます。また、4,800mの山の上では、風が強く、高い指向精度を確保するために望遠鏡は直径9メートルのドームの中に収納します。また、受信機としては、ドイツのケルン大学との共同研究により一度に8個の観測点のデータが同時に取得できるマルチビーム受信機や高感度のサイドバンド分離型シングルビーム受信機が搭載される予定です。観測条件に合わせて最適の受信装置を用いて最大限の観測効率で観測ができるように装置開発室の皆さんの協力を得て新しい伝送光学系の設計・製作が進んでいます。4,800mの高地に人は長時間滞在することができません。そのため、観測者はふもとのサンペドロ・デ・アタカマという町（標高2,600m程度）に滞在し、数日に一度の割合で、望遠鏡サイトに上り、望遠鏡のメンテナンスと観測データの吸い上げを行います。通常の観測は、ふもとのサンペドロ・デ・アタカマから衛星回線を通してリモートコントロールで行われます。リモートコントロールはLinuxをベースとしたサーバ・クライアントプログラムで行われます。現時点では、ネットワークの回線が整備されていないため、ふもとの町からコントロールする予定ですが、ネットワークがつながれば名古屋からも遠隔制御ができるようになります。4,800mという標高は人間だけでなく、観測装置にも厳しい環境です。気圧の低下は、電気系・機械系の空冷部分の冷却効率を悪化させます。そのために望遠鏡駆動系のモーターも効率が半分程度に落ちると予想されています。望遠鏡の駆動系もまったく新しいものに一新します。ここでも、装置開発室の技官の方々に相談にのっていただき、安定した天体追尾ができるようにしています。

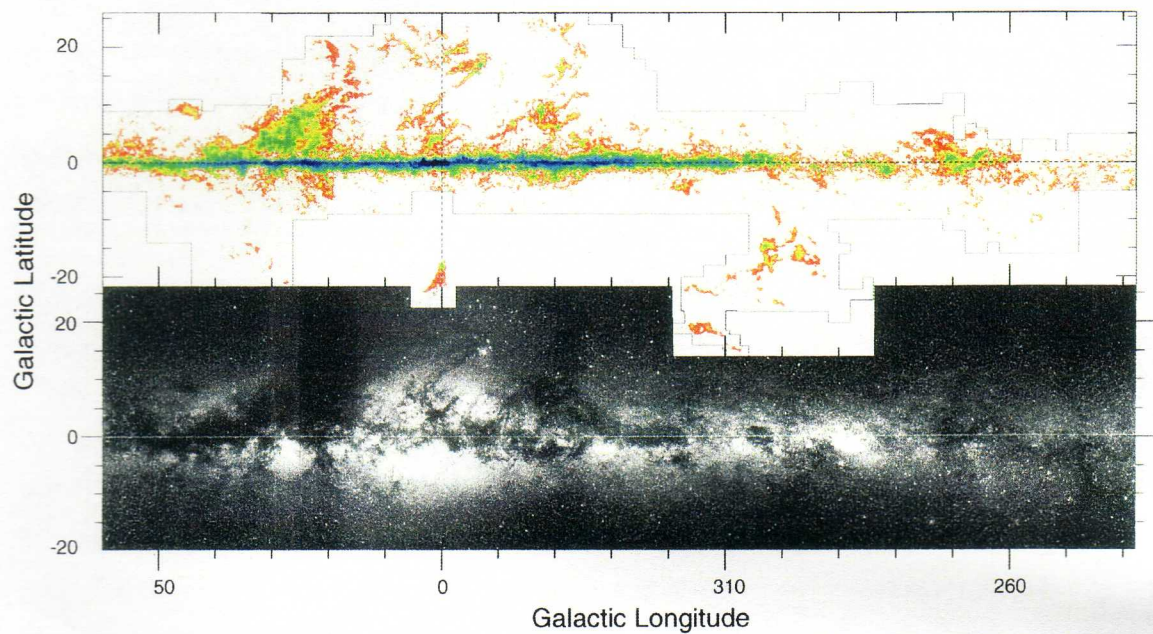
3. 地球大気のミリ波観測

「なんてん」は宇宙空間にある分子ガス雲中の分子から放射されるスペクトル線を観測してガス雲の物理状態を調べます。地球の大気中にも同じように電波を放射する分子があります。酸素分子や窒素分子などは電氣的な偏り（電気双極子能率）がないために電波を出しませんが、太陽からの有害な紫外線を吸収するオゾン分子などは電波を出します。そこで、電波望遠鏡に用いている高感度の受信装置を用いて地球大気の観測を行うことができます。

受信機は同じでも大気の観測装置と電波望遠鏡では、開発の力点の置き方が異なります。望遠鏡では数百光年以上の遠くの天体を観測するために角分解能が重要になってきますが、大気では数度の角分解能があれば十分です。そのため、大気観測装置では口径 10cm のパラボラを用いています。また、大気の観測ではスペクトル線の幅が圧力幅によって広がります。下部成層圏の高度 15km 付近のスペクトル線幅は数百 MHz に広がります。そのため、大気の観測装置では広い周波数帯域にわたって周波数特性を最適化する努力を電波望遠鏡の場合以上に行う必要があります。名古屋大学では、1980 年代から電波望遠鏡用の装置開発と並行して大気観測装置の開発を富士通 VLIS（株）と行ってきました。開発した装置は、つくばの国立環境研究所や北海道陸別の陸別観測所に設置され成層圏オゾンの長期モニタリングに用いられています。また、1999 年には、ラス・カンパナス天文台の「なんてん」観測室にも設置され、フロンから放出された塩素によるオゾン破壊過程で生成される一酸化塩素(ClO)分子の観測を行いました。ClO スペクトルはオゾンの強度の数百分の 1 の 50mK 程度と非常に微弱なものです。名古屋大学で開発した超高感度の超伝導受信機によりそれまで丸 1 日以上の上観測時間が必要であった ClO スペクトルの観測が、5 時間程度の上観測時間で検出できるようになりました。

大気の観測では複数の分子スペクトル線を同時に観測してその相関を取りたいことがしばしばあります。大気中の化学反応の様子を調べたいときに一連の化け学反応経路の中で鍵となる複数の分子の時間変化を追いかけて、相関を取ることでどのような反応経路の過程がどのぐらいの割合で起きているかを調べます。また、大気中の分子の同位体比からその分子が形成された場所の情報やその空気塊が動いてきた経路の情報が得られることがあります。そのため、複数の分子スペクトルの同時観測が行なえる測定装置を現在開発しています。この装置は「NANTEN2」とともに観測条件のよいチリ共和国アタカマ高地で設置され、地球温暖化の影響で年 1 % 程度の割合で増加しているといわれている成層圏の水蒸気分子の同位体分子(H_2O , H_2^{18}O , HDO)の同時観測を行う計画です。

宇宙・地球の観測装置開発において、名古屋大学の装置開発室は世界でもトップクラスの開発力を有しています。私たち研究者は、こんな観測をしたい、こんな装置が欲しい、といろいろな要求があります。それを具現化する上で装置開発室の技術者の皆さんの経験に裏付けられた助言に助けられ、支えられています。



写真：EXPLORING THE SOUTHERN SKY (1988)

図1（上）：「なんてん」望遠鏡で観測した銀河系＝天の川の二酸化炭素分子電波強度図（上）と同じ領域の光学写真（下）



図2（左）：33枚の高精度アルミパネルから構成されるNANTEN2の口径4メートルの新鏡面

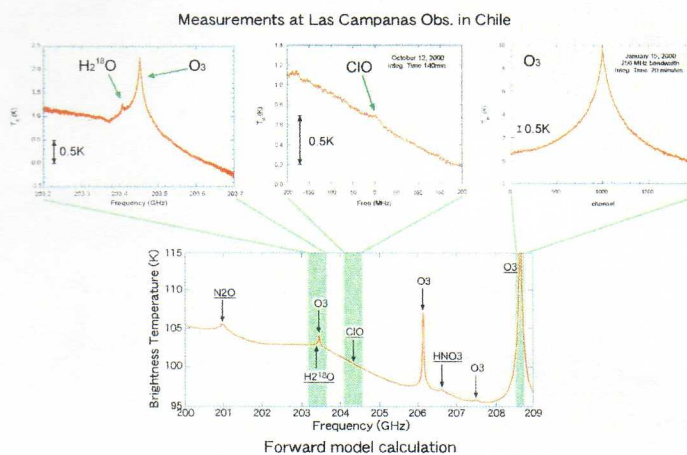


図3：ラス・カンパナス天文台に設置した大気微量分子ミリ波観測装置により取得した、200GHz帯の地球大気分子スペクトル

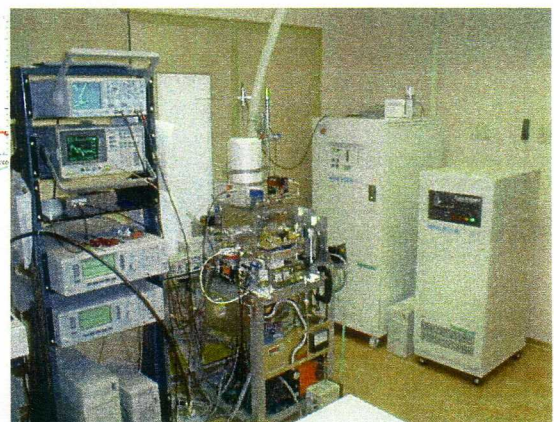


図4：ラス・カンパナス天文台に設置した大気微量分子ミリ波観測装置