

高速キャンパスネットワークの運用技術

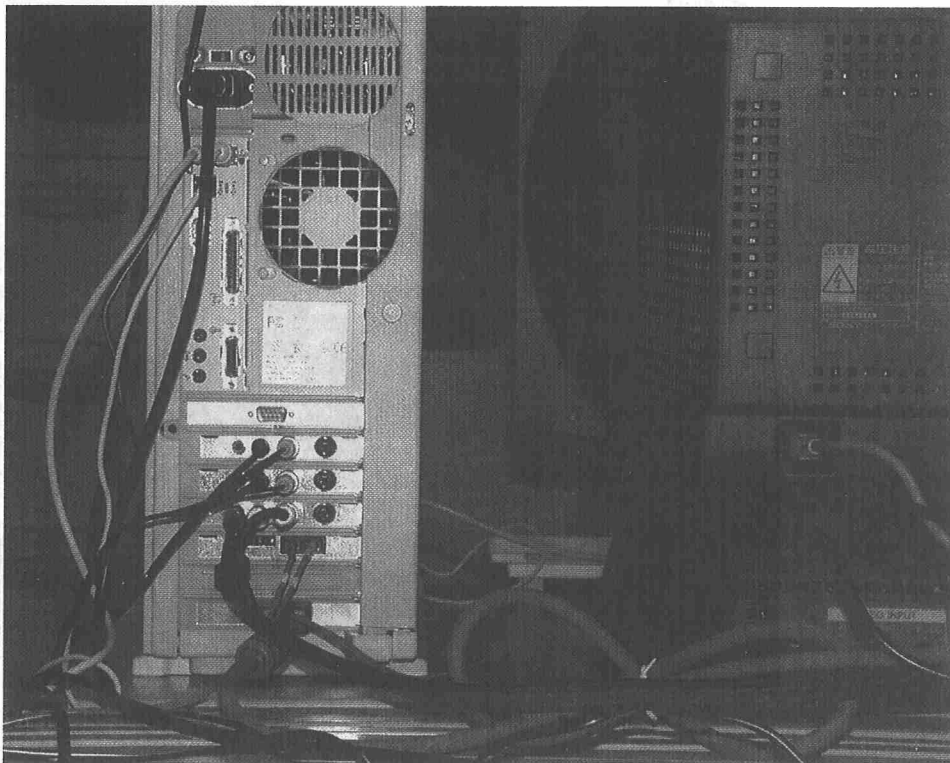
一井 信吾 (数理科学研究科)
ichii@ms.u-tokyo.ac.jp

大学においてキャンパスネットワークは教育・研究・事務の遂行に不可欠なインフラストラクチャとなっているが、技術の発展及び需要の増加・多様化があまりに急速であることなどのため、その設計及び運用手法は必ずしも確立しているとは言えない。東京大学は性格の異なる複数の大規模キャンパスを有し、ネットワークの利用も活発であることから、設計・運用技術の開発・テスト環境としてきわめて興味深い対象である

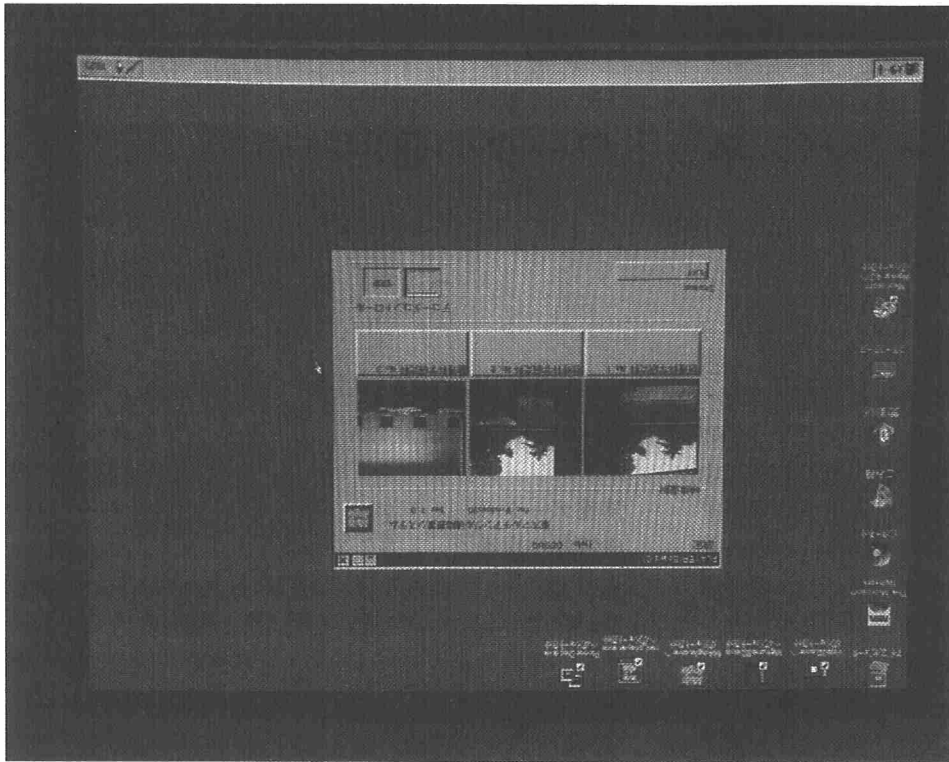
近年、高速 LAN については Gigabit Ethernet の利用が立ち上がり始め、インターネットバックボーンの開発では IP over SONET や IP over Glass といった技術が注目の課題となってきているが、現時点においてネットワークを動かしていく立場からは ATM が一つの現実的な解である。ATM は QoS (Quality of Service) 保証の仕組みを持つことから、将来のネットワークのある種のモデルと見ることもできる。このような観点から、大型計算機センター他と協力してキャンパス間接続を含む ATM キャンパスネットワークを構築し、運用技術の獲

得を目指す研究を行っている。1997-1998年にかけて、キャンパス間接続上の VP トンネリングを含む PNNI ネットワークを構成すると共に、多岐に渡る機器の構成情報データベースを作成した。ATM ネットワークは構成情報が複雑で、入力ミス等が大きなトラブルに結びつくので、その管理は非常に重要である。しかし、分散管理が原則の LAN の立場から見ると、現在の ATM ネットワークはトラブルシューティング機能が低く、より機動的で適切なネットワーク管理技術を開発しなければならないことが明らかになってきている。

この ATM ネットワークのアプリケーションとして、従来のテレビ会議を超えた臨場感ある遠隔講義・会議を可能にするため複数画面を同時に MPEG2 エンコードし ATM でマルチキャストする装置を数理科学研究科に導入し、実用になるネットワーク化研究・教育環境を目指すと同時に、ネットワーク運用に与える影響を調査している。



atm-mpg3.jpg : リアルタイム MPEG2 エンコーダシステム : 上から 2, 3, 4 スロットに入っているのが 1 ボード MPEG2 エンコーダ、その下にあるのが ATM NIC.



atm-mpg4.jpg : MPEG2 デコーダシステム : 3 チャンネル同時に受信できる。



atm-mpg2.jpg : MPEG2 デコーダシステム : 内 1 チャンネルを表示したもの。

磁気トラップされたボース・アインシュタイン凝縮体の崩壊

和 達 三 樹 (物理学専攻)

wadati@monet.phys.s.u-tokyo.ac.jp

アインシュタイン (A. Einstein, 1879-1955) という名前に接する度に感動を覚えるのは私だけであろうか。今世紀の物理学においては、2つの革命が起きた。量子力学の誕生と相対論の発見である。アインシュタインは、特殊・一般相対性理論をほとんど独自に作り上げた。一方、彼は量子力学を完成したものとは見なさなかったため、特に”コペンハーゲン解釈”に対して色々な批判を行ったことでも知られている。アインシュタインの業績は相対論自体以外にも、書き出せばきりが無い程ある。光電効果、ブラウン運動、粘度式、放射放出・吸収の確率係数、宇宙模型、重力波等々であり、理学系研究科の多くの方々がそれらの恩恵に浴していると思う。これから紹介する私達の研究テーマであるボース・アインシュタイン (以下 BE と略す) 凝縮は、もちろん彼の業績の1つである。そして、興味深いことに、量子論についてである。どのように BE 統計が導入され、アインシュタイン自身が BE 凝縮をどのように考えていたかは、A.Pais: Subtle is the Lord, The Science and the Life of Albert Einstein, Clarendon Press, Oxford, 1982 (日本語訳、A. パイス著、西島和彦監訳、神は老獪にして・・・アインシュタインの人と学問一、産業図書)、に多くの逸話を含めて、興味深く述べられている。一流の高エネルギー理論物理学者によって書かれた教養書であり、ぜひ一読をお勧めしたい。

BE 凝縮は、1925年、BE 統計からの自然な帰結の一つとして、アインシュタインによりその存在を予言された。「ボース粒子は1つの状態に何個でも入りうる」という、純粋に量子統計の効果であり、相互作用のない系でもこの現象は起きる。F. ロンドンは、1938年⁴He における λ 転移を BE 凝縮してとらえ、この興味ある現象を”再発見”した。しかし、⁴He 原子間の相互作用は小さいとは言えず、 λ 点の測定温度2.18Kと理想ボース気体を仮定する理論値3.14Kとは無視できない差がある。半導体中の励起子 (エキシトン) 系においても BE 凝縮が起きていると考えられてはいるが、よりはっきりと BE 凝縮の存在を示したのが、アルカリ金属蒸気を用いた一連の実験である。

1995年の夏、コロラド大学のグループは⁸⁷Rb 原子系を BE 凝縮させることに成功した。続いて、ライス大学

のグループは⁷Li 原子系、MIT グループは²³Na 原子系を使って BE 凝縮を実現した。これらの成功は、レーザー冷却、蒸発冷却、磁気トラップ等の原子・分子物理学における新技術の開発の賜物である。

BE 凝縮は相互作用のない系でも起きるので、理論的に基本的な問題は残されていないようにも思える。しかし、私達は次のような状況に注目した。今考えている系は極低温 ($10^{-6}\sim 10^{-7}$ K) なので低エネルギー散乱が重要であり、2体相互作用の強さはS波散乱長 a によって特徴づけられる。⁷Li ではS波散乱長が負であり、実効的には引力相互作用をしているとみなせる。このような系は、どのような時間発展を示すであろうか。系を記述する波動関数の時間発展は、磁気トラップによる調和ポテンシャル項とデルタ関数 (強さは a に比例する) 型の自己相互作用項を含むシュレディンガー方程式で記述できることが知られている。この方程式は、グロス・ピタエフスキー (GP) 方程式とよばれる。GP 方程式は、非線形波動論 (ソリトン理論) でよく研究されている非線形シュレディンガー方程式と全く同じものである。実験と同じ条件、すなわち、系は3次元であり引力相互作用 ($a < 0$) であるとすると、粒子数がある値 N_c 以上では BE 凝縮体は不安定になり、有限時間で波動関数は特異性をもつようになる。私達は、BE 凝縮体が示すこの不安定現象を BE 凝縮体の崩壊 (Collapse) と名づけた。ライス大学の実験では N_c は約 10^3 個であり、理論値もほぼ同じであることを示した。さらに、特異点近くで波動関数がみたすスケーリング則を予言することができる。

磁気トラップされた BE 凝縮体は、実験的にも理論的にも多くの興味深い研究課題を提供してくれる。量子干渉、非線形波動伝播、巨視的量子トンネリング、多成分系での BE 凝縮等の研究が進んでいる。原子の種類を選べること、印加磁場の強さを変えられること、等によって、多彩な物理系を設定できるのが大きな魅力である。

今世紀もあと数年を残すだけとなった。この時期になって、ボース・アインシュタイン凝縮が再び脚光を浴び、爆発的に研究が進展しているのは、歴史の不思議な巡り合わせとしか思えない。または、「神は老獪にして」であろうか。

波長可変10フェムト秒光パルスの発生

小林 孝 嘉 (物理学専攻)

takakoba@phys.s.u-tokyo.ac.jp

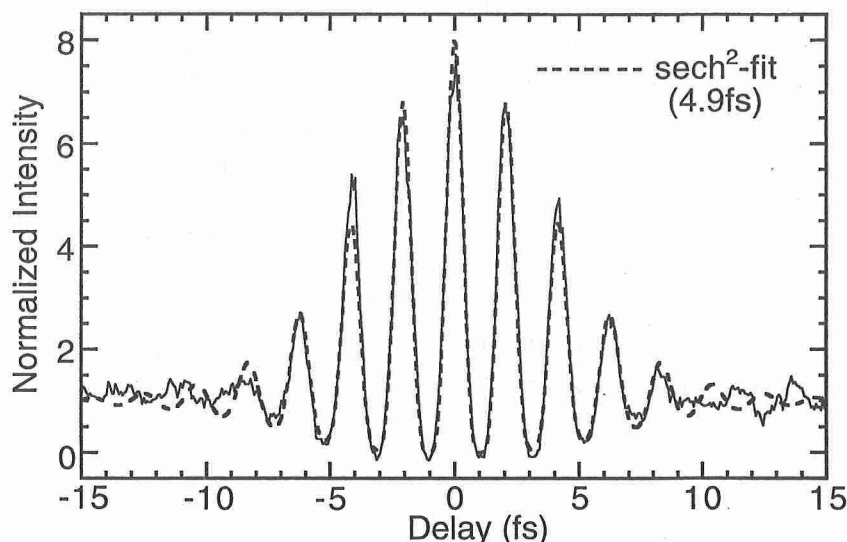
凝縮系の位相緩和や化学反応などの過程は、数フェムト秒から数十フェムト秒という非常に早い時間領域における現象である。これらの過程を追跡するには10フェムト秒を下回るような極超短光パルスが必要であり、しかも波長可変性を有していることが望ましい。近年の短パルス化の傾向は再び急激に進む気配であり、10年にわたって世界最短記録であった6 fsというパルス幅が昨年4.5 fsパルス発生により破られた。しかしこの方法は従来の伝統的手法である白色連続光発生-圧縮法を用いており、波長可変性が無くしかも800nmと近赤外に限られしかもその第二高調波は発生しても400nmという近紫外光の一点に限られるという欠点がある。我々は非平行光パラメトリック増幅 (OPA) という新しい手法を用いて初めて波長可変なサブ10fsパルスの発生に成功した。

OPAにおいて信号光と励起光を非平行に位相整合させると、ある非平行角で信号光とアイドラー光の群速度不整合が消失し、平行配置に比べて一桁も大きな変換バンド幅を有することができる。チタンサファイア再生増幅器の出力の第二高調波光を励起光に、白色光を信号光としてBaB₂O₄結晶中でタイプ1の非平行OPAを行い、2000cm⁻¹にも及ぶ広帯域な信号光増幅ができた。白色光のチャープにより、励起光とのタイミングをずらすだけで結晶角を変えことなく550nmから700nmまで連続的に広帯域信号光を発生することができる。ここで励起光はプリズムを通してパルス面傾角の補償をしており、信号光は傾角0°で射出し断面によるパルス幅伸延効果を取り除いている。しかしその広いスペクトルにより、

BBO結晶やプリンジ分解自己相関計のビームスプリッター、さらには空気といった分散媒質により出力光の位相は著しく歪められている。出力を回析格子・プリズム圧縮器で分散補償する事で、最短6.1fs、550~700nmにわたり波長可変に8 fs以下のパルスを得ることができた。波長可変なサブ10fsパルスの発生は、これが初めてのことである。更に回析格子のかわりにチャープ鏡を用いて、4.9fsまでの圧縮に成功した (図：プリンジ分解自己相関波形)。これは可視域では世界最短のパルス幅である。

この時アイドラー光は特異な振る舞いを示す。群速度整合とは周波数下方変換におけるアクロマティック位相整合と等価であり、広帯域な信号光と位相整合するためにアイドラー光は大きな角分散をもって扇状に射出する。これを円筒鏡からなる望遠鏡及び回析格子で補償してやることで、色分散のない広帯域近赤外ビームが得られる。こちらも0.9~1.3 μmにわたり波長可変であり、BBOより非位相整合第二高調波光が同軸に射出しているのでアライメントは容易である。信号光の正チャープの結果アイドラー光は負チャープとなり、正分散プリズム圧縮器により圧縮すると最短8.4fsもの極超短光パルスが得られた。電場振動にして2周期という極限的なパルスであり、また1 μm帯におけるサブ10fsパルスの発生も、世界で初めての報告である。

この研究は、当研究室の大学院学生の白川君の忍耐強い実験と坂根君の理論解析による。



プリンジ分解自己相関波形

高速で回転する金星の大気

松田 佳久 (地球惑星物理学専攻)
matsuda@geoph.s.u-tokyo.ac.jp

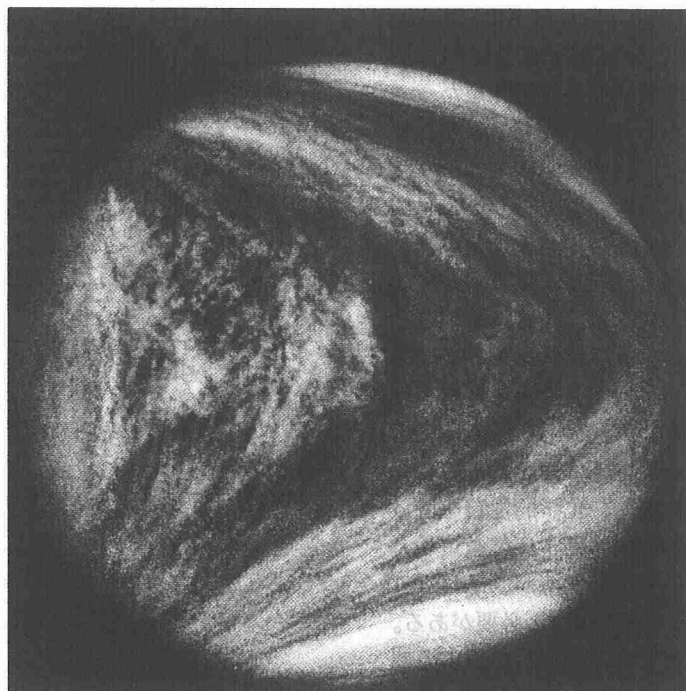
地球が1日に1回転しているのに対して、金星の自転は自転周期が243(地球)日と大変遅い。大気のない水星は別とすると、火星、木星、土星など全て、自転周期は地球と同程度か、それよりも短い。つまり、これらの惑星の大気は地面に対して特に運動をしていなくても、絶対系に対して高速で回転している訳である。地球の対流圏では、偏西風と言われる西風(地球の回転と同方向)が卓越しているが、その平均風速は30m/s程度で、地球の回転速度(赤道で460m/s)の1割程度に過ぎない。

低速回転の金星では、高速回転の惑星とかなり異なった大気の運動が予想されていた。第1近似として、大変遅い自転を無視すると、昼側で空気が暖められて上昇し、夜側で空気が冷やされて下降する夜昼間対流が予想される。

金星を紫外線で観測すると、図のような惑星規模の雲の模様が見える。1960年代にその動きから、100m/sに達する全球的な風の存在が推定された。金星の固体部分の回転速度は、(赤道で)1.5m/s位なので、固体部分の60倍の速さで大気が(固体部分と同方向に)回転して

いることになる。探査衛星の実測によると、地面付近では風は弱く、60~70kmの高さで約100m/sのピークに達する。他の惑星と同様に、金星大気も(絶対系に対して)高速で回転している訳だが、固体部分が低速回転しかしていないにもかかわらず、高速回転が維持されているのが特異な点である。固体部分の回転の速度にかかわらず、惑星大気は(絶対系に対して)高速回転しなくてはならないという法則でもあるのだろうか。

この金星大気の高速回転を生成するメカニズムについて、私も含めて、長年にわたる多くの人の研究があるが、未だによく分かっていない。その理由として、金星大気、特に下層(45km以下)の観測が非常に少ないことが考えられる。これは、金星下層大気が45km~70kmに存在する厚い雲によって覆われ、又、高温高圧(地表面で約730K、92気圧)で持続的な直接測定も困難なためである。今後の観測が期待される場所である。この金星大気の高速回転について興味のある方は、最近、「遊星人」(日本惑星科学会誌、1998年No.2 予定)に解説を執筆したので参照していただきたい。



紫外線で見た金星雲層(高度65km位)

「分子の指紋」を求めて

濱 口 宏 夫 (化学専攻)
hhama@chem.s.u-tokyo.ac.jp

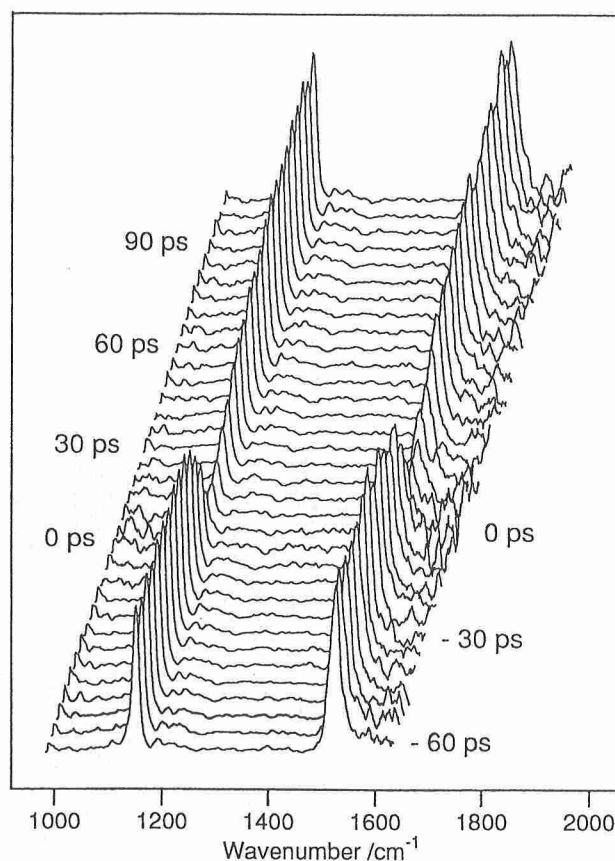
分子の振動に由来する振動スペクトルは「分子の指紋」と呼ばれるように、分子とそれをとりまく環境の個性を反映して極めて多様な形態を示す。振動スペクトルに現われるバンドのピーク位置は分子振動の振動数に対応し、結合の強さや分子の幾何学的構造に関する情報を与える。バンド幅は振動の位相緩和時間に対応し、分子が環境とどのように相互作用しているかを解明する鍵となる。

筆者は今から約30年前、当時「振動スペクトルの鬼」と謳われた故島内武彦先生（理学部名誉教授）の門をたたき、爾来振動スペクトルの魅力にとりつかれて今日に至っている。島内先生は基準振動解析による振動スペクトルの理論的解析の基礎を築かれた方である。筆者は不肖の弟子であり、理論的解析よりも実験を好み、とくに新しい振動分光の手法を開発することに興味を持った。幸いレーザー、光エレクトロニクス、コンピューターの技術革新の大波に乗ることができ、これまでいくつかの新しい振動分光手法の開発に関与することができた。1990年から1997年にかけて在籍した神奈川科学技術アカデミーでは、「極限分子計測プロジェクト」を担当し、十数人の同志達とともに、フーリエ変換限界のピコ秒時間ラマン分光装置、ストリークカメラを用いたピコ秒2次元マルチプレクスCARS (Coherent Anti-Stokes Raman Scattering) 分光装置、分散型ナノ秒時間分解赤外分光装置などを製作し、装置開発の醍醐味をたっぷり味わうことができた。これらの一連の開発により、ピコ秒やナノ秒の寿命しか持たない化学反応中間体の「指紋」を採取することが可能となった。

東大に戻ってから取り組んでいる新しい振動分光は、すでにやや言い古された言葉を使うと、「複雑系を分解して観る振動分光」ということになる。複雑系の例として液体もしくは溶液を考えてみよう。化学以外の専門の方々には、液体や溶液は均一な「単純系」であると思われるかもしれないが、それは大きな誤解である。液体、溶液中の分子はさまざまな異なる環境下におかれていて、同種の分子であっても異なる物理的、化学的性質を持っている。したがって、例えば溶液中の化学反応を正しく理解しようとする、それらの異なる環境が、それぞれどのように反応に関わっているのかを調べる必要がある。ある反応は、ある特定の環境下でのみ進行しているのかもしれない。しかし、現在我々はそれを分離して観測する術を持たない。もし、異なる環境下に置かれた同種の分子を選別し、それぞれの振動スペクトルを分離して観測する手法が開発されれば、液体、溶液の構造研究にとって大きな福音となる。同様のことは、いま一つの複雑系の例である生体高分子の構造解析にもよくあてはまる。

重なりあった複雑な「指紋」からどのようにして個人個人の「指紋」の情報を取り出すか、その方法論(ハードとソフト)の開発は、分子分光学、物理化学の最重要課題の一つであると筆者は考えている。

現在、上記の目的を達成するために偏光分解CARS分光と電場変調赤外分光の2種の新しい振動分光を試みている。いずれもようやくデータが出始めた段階であるが、かなり有望であるとの感触を持っている。



2次元マルチプレクス法により得られたβ-カロテンのピコ秒時間分解CARSスペクトル

細胞内共生細菌のゲノムサイズ

ウベール・シャルル

石川 統 (生物科学専攻)

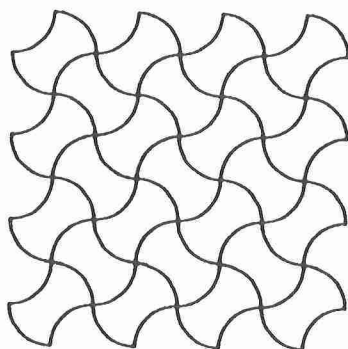
iskw@biol.s.u-tokyo.ac.jp

ミトコンドリアや葉緑体（色素体）の進化的起源を細胞内共生細菌に求めるのは、現代細胞生物学のパラダイムである。そのもっとも重要な根拠は、これら細胞小器官が核とは別に固有の DNA をもっていることである。しかし、そのゲノムはあまりにも小さく、そこに含まれるのはごく少数の遺伝子にすぎない。リン・マーグリスの説明によれば、これは長い細胞内共生の時間経過の中で、細菌のもともっていた遺伝子の多くが失われるか、核ゲノムへ譲り渡されたからである。これについて、最近われわれは、確かに細胞内共生が細菌のゲノムサイズの縮小をもたらしているといえる十分な証拠を得た。

昆虫のアブラムシ（アリマキ）類は、菌細胞とよばれる特殊な細胞の中に多数の共生細菌（ブフネラ）を抱えている。ブフネラは約2億年にわたり、アブラムシの親の菌細胞から子のそれへと伝えられてきた細菌であり、もはや菌細胞の外では増殖することができなくなっている。一方、アブラムシの方もブフネラを失うと子孫を残せなくなる。これは1つには、ブフネラがこの昆虫の窒素代謝に深く関わっているからである。ところで、ブフネラには昆虫に元来常在する腸内細菌が特殊に分化した

ものであることを示す強い証拠があり、実際、これまでに解析された数十種類の遺伝子の構造からみても、ブフネラは大腸菌とごく近い系統関係にあることに疑いの余地はない。ところが、最近、詳細なパルスフィールド電気泳動法によってブフネラのゲノムを解析したところ、そのサイズは大腸菌の約1/7 (657kb) しかないことが明らかとなった。ブフネラと大腸菌の祖先が共通であるとすれば、2億年にわたる細胞内共生がブフネラにゲノム DNA の6/7 を失わせたとの解釈が可能である。ミトコンドリアの共生の歴史は、ブフネラのそれより少なくとも5倍以上長い。この間にさらに多くのゲノム DNA を失ったであろうことは十分想像できる。ブフネラと大腸菌のゲノムを比較して気づくもう1つの著しい差は、前者における極端な A/T 塩基の蓄積である。これが DNA 分子の物理的安定性を低下させ、ゲノムサイズ縮小の一因となっているとみてよいであろう。

現在のわれわれの興味の焦点は、共生によってブフネラがどのような遺伝子や DNA を失ってきたかである。ゲノム全塩基配列の解析によって、1年後にはこの答も得られているであろう。



西太平洋島弧(西ルソン弧、東北日本—伊豆弧)後期新生代中性～珪長質火成岩の微斑晶アパタイトのSO₃含有量の系統的变化

今井 亮 (地質学専攻)

akira@geol.s.u-tokyo.ac.jp

斑岩銅鉱床は、比較的酸化的な磁鉄鉱系列の中性(安山岩/閃緑岩質)～珪長質(流紋岩/花崗岩質)含水マグマから分離した熱水によって金属の濃集が引き起こされて生じる鉱床である。一般に低品位である(<1% Cu)が大規模(鉱量数億トン～100億トン)で、地球上における最も重要な、今日の人類の文明にとって必要不可欠な銅の資源である。多くの斑岩銅鉱床が、環太平洋地域のプレート収束境界にそった火成活動に伴われて生成している。西太平洋島弧においてもフィリピン～パプアニューギニア～ソロモンにいたる後期新生代の島弧における含水火成活動に伴われて数多く生成しているが、これまで日本からは見つかっておらず、鉱床学における最大の問題の一つとなっている。斑岩銅鉱床を伴っている火成活動の特徴を明らかにするために、斑岩銅鉱床を伴っている火成弧としてフィリピン西ルソン弧と、日本列島各弧の火成岩とを比較対照しながら研究を進めているが、各島弧の中性～珪長質火成岩の微斑晶アパタイトのSO₃含有量に系統的な差異があることが明らかになってきた。

フィリピン西ルソン弧では、マニラ海溝における南シナ海の東向き沈み込みに伴う火成活動に伴われLobo-Boneng(生成年代は10.5 ± 0.4Ma)、Santo Nino(9.5 ± 0.3Ma)、Santo Tomas II(1.5 ± 0.4Ma)、Black Mountain(2.1 ± 0.1Ma)、Dizon(2.5 ± 0.2Ma)、Taysan(7.3 ± 0.2Ma)各鉱床をはじめ多くの斑岩銅鉱床が生成している。これら西ルソン弧で斑岩銅鉱床を生成した中性～珪長質浅所貫入類は、岩石学的に検討した結果によるとH₂Oに(ほぼ)飽和していたことと、高い酸化状態であったことで特徴づけられる。微斑晶アパタイトはSO₃として0.n%の硫黄を含有しており、高酸化マグマ中で硫黄は酸化硫黄種が卓越して溶存していたと考えられる。同様の特徴は15Maの花崗岩質深成複合岩体から、1991年に噴火したPinatubo火山ダイサイトまで、西ルソン弧の含水中性～珪長質マグマに共通にみられる(Maは100万年前を表わす)。

東北日本弧における磁鉄鉱系列の中性～珪長質含水マグマとして、火山フロントの含水珪長質火山(恵山、恐山、七時雨、安達)、マグマからの揮発性成分の発散物の多い火山である脊稜の硫黄鉱床を伴う安山岩質火山

(無意根、幌別、八幡平、安達太良、草津白根、御飯岳、四阿山)、およびグリーンタフ地域中新世(15Maより若い)の浅所貫入花崗岩類(仁別、黒崎森、佐久)について検討したが、微斑晶アパタイトに含有される硫黄は一般にSO₃として0.0n%以下であった。東北日本弧では例外的に、ニセコで微斑晶アパタイトにSO₃として0.n%の硫黄を含有している。一方、伊豆弧(丹沢、川子平、新島、神津島)の中性～珪長質火成岩の微斑晶アパタイトはSO₃として0.n%の硫黄を含有していることが明らかになった。また現在は予察的ながら、千島弧の知床硫黄山、南九州—琉球弧の菱刈、霧島、加久藤などにおいても中性～珪長質火成岩の微斑晶アパタイトはSO₃として0.n%の硫黄を含有していることが明らかになってきた。

アパタイトは角閃石あるいは輝石など他の斑晶鉱物中に包有物として多く産し、リキダス相として晶出していると考えられる。一般に、アパタイト中の硫黄含有量は他の斑晶鉱物中の包有物で高く、石基のアパタイトでは硫黄含有量が低いが、これは、脱ガスによる酸化硫黄種の活動度の低下を反映している。斑晶中の包有物アパタイトの硫黄含有量の差異は、マグマの分化以前の酸化状態、おそらくはマグマ発生の場合に関与する流体相の酸化硫黄種の活動度を敏感に示しているものと考えられ、各島弧において1000万年程度のタイムスケールで系統的なものである。沈み込んだ海洋底スラブの脱水によって生じた流体が島弧におけるマグマ発生の場合に関与していると考えられている。島弧の中性～珪長質火成岩に含まれる硫黄は同位体比からみると、マントルに存在する硫黄に比べて重い³⁴Sに富んでおり、島弧—海溝系において沈み込んだ海洋底スラブに起源が求められているが、もとはといえば海洋底が生成された中央海嶺(あるいは背弧海盆)拡大軸において発達した熱水系によるものである。各島弧の中性～珪長質火成岩の微斑晶アパタイトのSO₃含有量に認められた系統的な差異は、沈み込んだ海洋底の熱水変質の程度の差によるものか、あるいは、島弧—海溝系において沈み込んだ海洋底スラブの脱水またはマグマ発生の場合において硫酸根の分別を起こすような相の存在によるものであろうと考えている。

Pb-As-S 系硫塩新鉱物 Marumoite (丸茂鉱) に関連して

小澤 徹 (鉱物学専攻)
ozawa@min.s.u-tokyo.ac.jp

本稿の執筆を依頼されてから数日して、われわれの新鉱物申請承認、との手紙を国際鉱物学連合 (IMA) の新鉱物・鉱物名委員会 (CNMMN) 委員長から受け取ったので、紹介させていただくことにした。鉱物種は現在3,700程と聞かすが、鉱物通によると、この内日本人が記載したものは100種に達しないのではないかとのこと。申請者に命名権を与えられているが名前も審査の対象で、新種とは認めるが名前は駄目ということもある。審査中も審査後も審査の内容は Confidential だそうで詳細は窺い知れない。人名、産地名に因む命名が多い。二名法の分野では同じ人名が多数の種についているが、鉱物では一度だけである。しかし次のような場合もある。教室の伊藤貞市先生に因む Itoite があるが、ご子息の伊藤順博士は Junitoite となっている。また著名な鉱物収集家桜井欽一博士は Sakuraiite と Kinichilite の2種の鉱物に名を残している。鉱物に既に名前がついている伊藤さん、加藤さん、鈴木さん、竹内さん、武田さん、渡辺さんにもまだまだ命名のチャンスあり、である。

本題の丸茂鉱、 $Pb_{30}(Tl,Ag)As_{41}S_{92}$ についてで、Pb-(Tl, Ag)-As-S 系硫塩の中で、 $Pb_2As_2S_5$ から $PbAs_2S_4(?)$ の間に Rathite group という一群の鉱物があり、

基本的には厚さが約12.6 Åと9.8 Åの2種の構造単位(化学組成も異なる)が種々の規則配列をする。ポリタイプは鉱物にも多いがそれとは異なり、組成も(勿論結晶構造も)配列の違いと共にそれぞれ異なるので、それぞれが別鉱物種となっている。 $4 \times 12.6 + 2 \times 9.8 \approx 70$ Åの相が結晶構造解析されている最長の周期であるが、この鉱物と言われるものをX線回折等で観察してみると間違い(不規則配列)が多い。われわれはこの丸茂鉱($6 \times 12.6 + 4 \times 9.8 \approx 115$ Å相)と138 Å周期を報告しているのであるが、間違わずにこのような長周期が生成する自然環境は非常に限定される。

硫化、あるいは広くカルコゲン化合物については近年熱伝材料等への応用の期待から欧米で競って研究され、結晶化学が熱心に論じられている。たとえば、この分野の若手第一人者ミシガン大学 Kanatzidis 研究室より多くの報告がある。また IMA で進められている「(現在の化学組成を最も重視する方式、とは異なる) 鉱物の新たな系統化」にとって複雑な硫塩鉱物の存在は一番のネックである。硫塩鉱物の結晶化学は今後も重要な研究対象になろう。

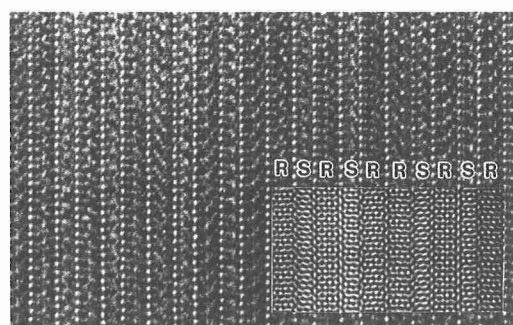
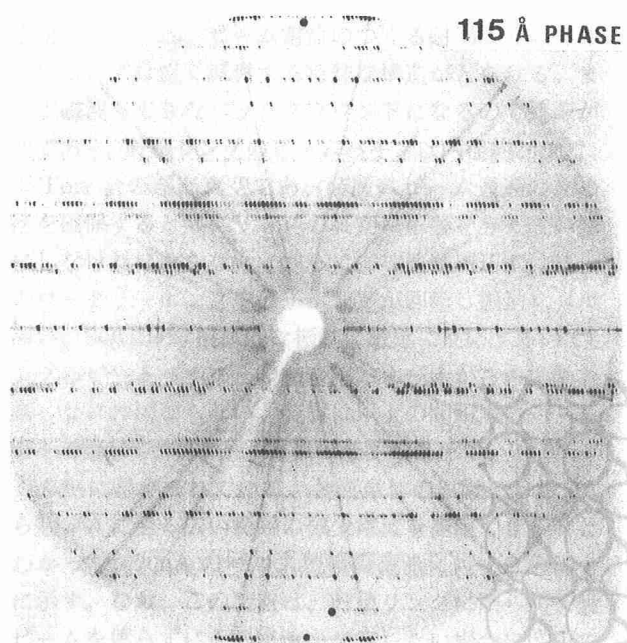


図1 Marumoite (丸茂鉱)、 $Pb_{30}(Tl,Ag)As_{41}S_{92}$ の [100]Precession 写真。鉱物ではポリタイプなどを除けば、100 Å以上の長周期規則配列を持つ例は少ないようである。
a 8.368, b 115.8, c 7.903 Å, β 90.11°, $P 2_1$

図2 透過電子顕微鏡(教室の電子線分析実験室の JEM-2010)による像。Simulation 像を挿入。S (厚さ9.8 Å)とR (厚さ12.6 Å)の規則配列を示す。

マメ科ヌスビトハギ属の分布と系統分類

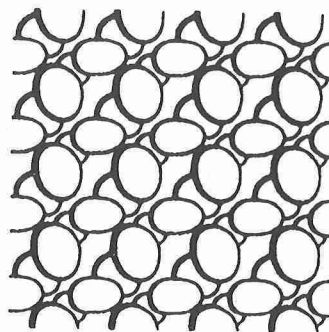
梶田 忠 (附属植物園)
tkajiscb@mbox.nc.kyushu-u.ac.jp

マメ科ヌスビトハギ属はアジアと中南米の熱帯・亜熱帯域を中心に分布する属で、約300種が知られています。日本では林縁などに普通に見られるヌスビトハギが最も一般的で、果実にかぎ毛が多く衣服などにくっつくことから、「くっつきむし」などと呼ばれています。同じグループ（ヌスビトハギ連）に含まれるものにはハギ属があり、こちらにはかぎ毛がありません。

私が現在最も興味を持っているのは、ヌスビトハギ属の分布パターンの形成過程です。ヌスビトハギ属はアジアとアメリカに隔離分布しており、ハギ属も同様の分布域を持っています。葉緑体DNAのrbcL遺伝子の塩基配列を用いて系統解析を行ったところ、ハギ属はアジアとアメリカで地域ごとにまとまる2つのグループをつくりました。しかし、ヌスビトハギ属では2つの地域の間で複数回の移動があったことを考えないと説明できないような関係が得られました。おそらくヌスビトハギ属の果実が主に動物を利用して分布を広げることが、長距離の移動を可能にしたのでしょう。ヌスビトハギ属の果実にはかぎ毛を用いて動物散布をするものだけでなく、単純に裂開するものや、薄い膜質の果皮を持ち風散布をす

るもの、水に浮いて海流散布するものなど様々です。今後はより詳細な系統解析を行うことで、これらの果実形態と散布様式の進化についても議論できると考えています。

また、アジアの固有種であるヌスビトハギの種内分類群についても同様の研究を行っています。ヌスビトハギには、茎への葉のつき方、小葉の形、葉の毛の状態等に多様な変異が存在し、種内の亜種・変種として5種内分類群が認識されています（ヌスビトハギ、ヤブハギ、マルバヌスビトハギ、ケヤブハギ、セチェネンセの5つ）。分布域はネパールから日本にかけてのアジア域に集中しています。これら種内分類群の系統関係を葉緑体DNAの制限酵素断片長多型やmatK遺伝子の塩基配列を用いて調べたところ、形態による分類とは一致しない3つのグループの存在が明らかになりました。核のrDNAのITS領域を用いた系統樹とあわせて考えると、グループ間の交配によって葉緑体DNAが移動したらしいことがわかってきました。現在はこれらの変異を集団レベルで解析することで、ヌスビトハギの種分化の過程を明らかにしようとしています。

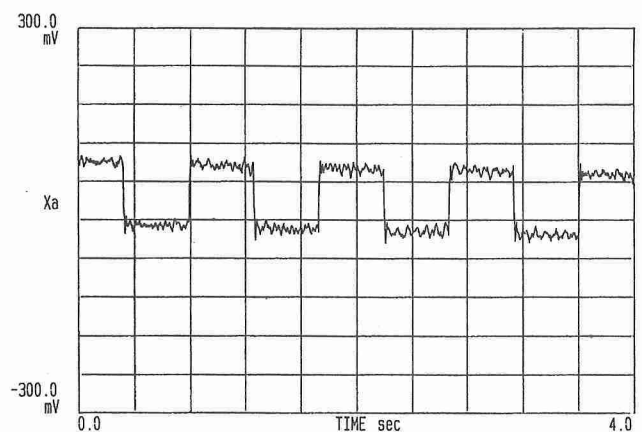
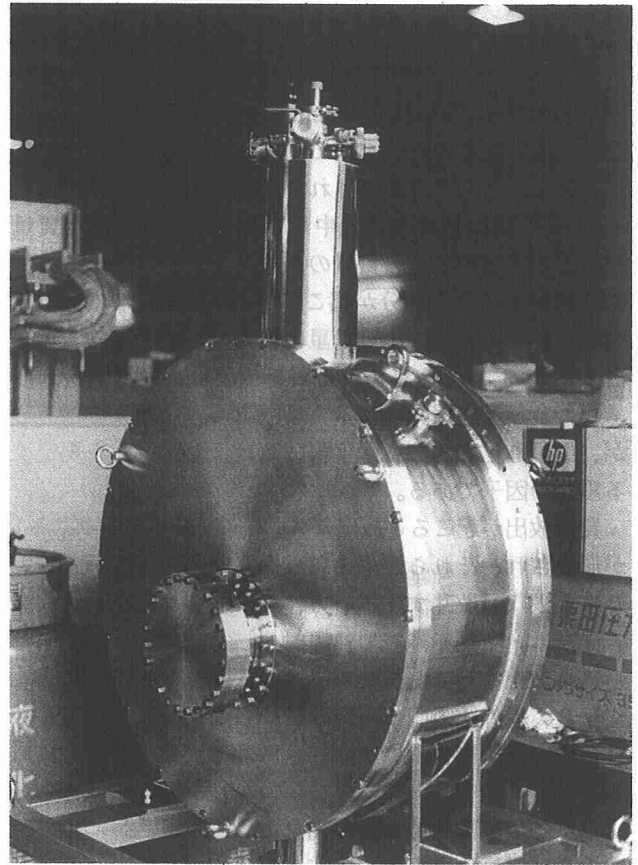


イオンビーム貯蔵リングにおける高感度電流測定

田 辺 徹 美 (原子核科学研究センター)

tanabe@tanashi.kek.jp

近年クーラーリング（ビーム冷却装置を備えた貯蔵リング）を用いた原子物理の研究が盛んになってきている。これらのリングでは、分子イオンや負イオンなどビーム強度の弱い特殊なビームが研究対象となりつつある。貯蔵リングで行われる原子衝突実験で反応断面積を求めるためには、周回ビームをさえぎらずにその電流を測らなければならない。しかし、現在得られる最高感度の電流計でも数 μA 以下の周回直流ビーム電流を測定することはできない。そこで、周回電流によってつくられる微小磁場を SQUID（超伝導量子干渉装置）を用いて検出し電流値を決定する装置を開発した。SQUID は生体磁気などの微小磁場の測定に用いられ、その感度は nA オーダーのイオン電流を測定するのに十分である。装置は磁気センサー、検出コイル、SQUID、磁気遮蔽等からなり、これら全体が低温維持装置の中に収納されている。この装置をビーム貯蔵リングに適用する場合には多くの問題を解決する必要がある。すなわち、加速器周辺では各種電磁石を用いるために、イオン電流によって作られる磁界よりはるかに強いバックグラウンドがある。装置はこれらの磁界の影響を受けにくい場所に設置されるが、 10^{-4}T 程度のバックグラウンドは避けられない。一方、たとえば 10nA の電流によって生じる測定領域での磁場は 10^{-14}T である。磁気遮蔽は超伝導体のマイスナー効果を用いて行われ、ビーム電流のつくる磁場成分以外の成分については強く減衰する特殊な構造がとられる。また、電磁波も大きなバックグラウンドになるので遮蔽が必要である。貯蔵リングのビームパイプは内径約 20cm で、 10^{-11}Torr 台の超高真空である。装置にビーム通過のための径を確保すると共にリングの真空に影響を与えない構造にしなければならない。さらに、加速器周辺では数十台のロータリーポンプや分子ポンプが回転し振動レベルは高い。SQUID は機械的な振動に敏感に反応するので、リングのビームパイプとの結合部および床からの振動を遮断しなければならない。装置は以上の問題点に対する対策を考慮して作られた。写真は装置の外形で、センサーはこの中に収められている。装置単体の試験では数 nA から数 μA に至る広い範囲の微小電流を測定できることがわかった。 20nA のパルス型模擬電流に対する応答を図に示す。なお、この装置は、貯蔵リングに限らず一般にビームを遮らずにその電流を測定したい場合に応用できる。装置はすでにクーラーリング TARN II に設置を完了し、間もなく 1meV の極低温電子ビーム発生装置と組み合わせて、電子・分子イオン衝突の精密研究を行う予定である。



マゼラン雲球状星団における赤外線星の発見

田 辺 俊 彦 (天文学教育研究センター)

ttanabe@mtk.ioa.s.u-tokyo.ac.jp

質量が7-8太陽質量以下の星は、漸近巨星分枝 (Asymptotic Giant Branch, 以下 AGB) と呼ばれる明るく赤い巨星の時代を経て白色矮星へと進化しその一生を終る。ところで観測される白色矮星の質量分布は、0.6太陽質量のあたりに集中しており、従って中小質量星は進化の途中でその質量のかなりを失うことになる。この質量放出の大部分が起こるのが AGB 段階であると考えられている。中小質量星は銀河の中で圧倒的多数を占めるので、AGB 星による質量放出は、大質量星末期に起こる超新星爆発による質量放出に比べ地味ではあるが、恒星進化のみならず宇宙における物質進化を規定する重要な因子である。

質量放出が起こると放出ガス中に固体微粒子 (ダスト) が形成され、それらが星を包み込んで波長の短い光をより多く吸収、散乱する。一方、ダスト自身は吸収した星の光を近・中間赤外域で熱輻射として放出する。このため質量放出を起こしている AGB 星は可視光では見えなくなり、赤外線ですっきり輝き始める。従って、星からの質量放出を研究するには赤外線による観測が不可欠である。

我々は恒星進化終末期、特に AGB 段階における星の進化及び質量放出現象を研究する目的で、約20個の様々な年齢の大小マゼラン雲球状星団を赤外線です系統的に観測してきた。10万から100万の星を含む球状星団は昔から星の進化を研究する上で大変都合の良い天体である。その理由は、1. 星団に属する星はほぼ同時に生まれており、誕生時の化学組成が等しく推定可能である、2. 星団の年齢が推定できるので、AGB 星の年齢が判る、3. 主系列を離れた星のもともとの質量が判る、4. 星団に属する星は等距離と見なせ、またその距離が推定でき、星の絶対光度が判る、ということにある。単独に存在する星では、これらを推定することは非常に難しい。

しかしながら良く知られているように、我々の銀河系に属する球状星団は、宇宙の年齢を決定するのに使われるように、皆非常に古いものばかりである。このことは、質量の大きい星は既に進化してしまっていて我々の視界から消え去っており、これらの球状星団の観測から直接に得られる知識は、小質量星の進化ということを意味する。他方我々の銀河系とは対照的に、大小マゼラン雲には様々な年齢の球状星団が存在することが判ってきた。即ちマゼラン雲の球状星団は、様々な質量の星の進化を我々に示してくれていることになる。さらに我々の銀河系には、せいぜい数百の球状星団しか見つかっていないのに対し、

マゼラン雲では球状星団の数が多く、寿命の短い恒星進化末期を研究するのに適している。このようにマゼラン雲中の球状星団は、星の進化研究にとって理想的なまさに unique な天体である。

我々の観測は、南アフリカ天文台からの近赤外観測と赤外スペース天文台 (ISO) による中間赤外観測からなる。これら観測の結果、まず近赤外線観測で幾つかの中間年齢 (年齢1-2Gyr、星の質量にして1.5-2太陽質量) の球状星団に今までの可視光による観測では知られていなかった赤い「近赤外線星」を発見し、ついで中間赤外観測で近赤外線でも見えないような「中間赤外線星」を発見した。一例として図に小マゼラン雲の球状星団 NGC 419 を示す。その絶対光度及び他の幾つかの事実からそれらは AGB 期にあることが判り、これらの赤外線星はまさに我々が予想した質量放出が非常に大きく AGB 期末期のいわゆる superwind 期にある星と考えられる。銀河系内にはもちろん多くの赤外線星が存在するが、年齢、質量、絶対光度等の判った質量放出の非常に大きい AGB 星が見つかったのは初めてであり、星の進化理論を直接検証することができるという意味で重要である。これら赤外線星の発見は、理論が予測するように中小質量星が AGB 期において thermal pulse を繰り返して早期 M 型から晩期 M 型、炭素星へ、さらに superwind 期へと進化するという直接の証拠を与えるものである。またこのような星が複数見つかったことである程度統計的な議論が可能になり、例えば、このような質量の星では AGB 期が約100万年続くと考えられているが、その中で superwind 期はだいたい10万年程度と見積もられる。今後モデル計算によって星の質量の関数としての質量放出量を AGB に沿って決定し、質量放出のメカニズムに迫りたい。



図1. 小マゼラン雲の球状星団NGC 419の可視光（実際には波長 $0.7\mu\text{m}$ ）像。上が北、左が東。東西方向の視野の大きさは約 $2.5'$ 。周辺の星が見えるように抑えた「露出」となっている。



図2. 同近赤外線（波長 $2.2\mu\text{m}$ ）像。この図にみられる星は全てAGB星。中心より南西約 $30''$ のところ（2つ並んだ星の上）に近赤外線星が見える。

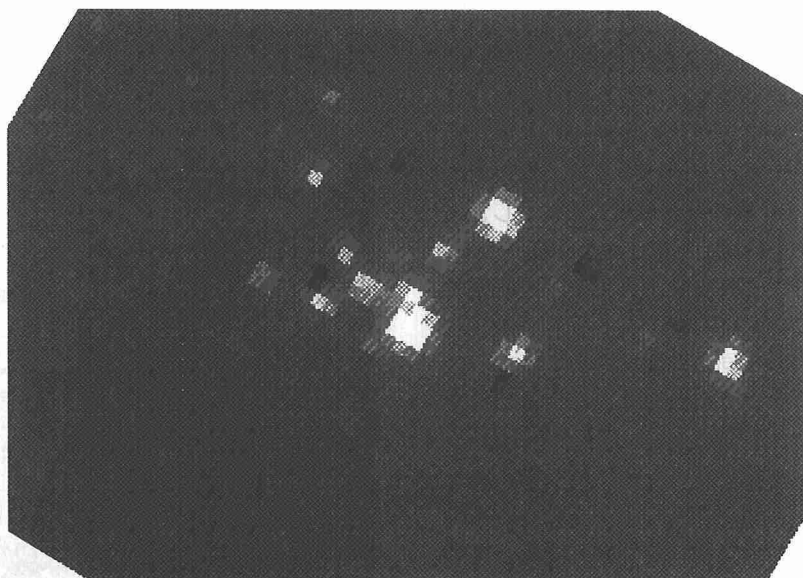


図3. 同中間赤外線（波長 $6.75\mu\text{m}$ ）像。この図で近赤外線星は、2番目に明るい星。中心付近にさらに明るい中間赤外線星が見える。