

文部科学省



# 国立天文台ニュース

National Astronomical Observatory

## 銀河の周りに広がる 超巨大ガス雲の発見



6月号

## 目次

表紙	1
国立天文台カレンダー	2
研究トピックス	3
銀河の周りにたなびく巨大な雲の発見 光学赤外線天文学・観測システム研究系 助教授 吉田 道利	
お知らせ	5
平成 13年度退職者永年勤続表彰式 すばるで使われたハイテク技術が発明大賞 に選ばれました	
総研大博士論文の紹介	6
相対VLBIとドップラ計測を用いた宇宙飛翔体 の精密3次元位置決定に関する研究 地球回転研究系 非常勤研究員 河野 裕介	
人事異動	7
編集後記	7
研究トピックス	8
すばるCIAO/AO、天王星をスナップショット 光学赤外線天文学・観測システム研究系 助教授 田村 元秀	

## 国立天文台カレンダー

2002年  
< 5月 >  
7日(火) ~ 8日(水) 会計実地検査  
13日(月) ~ 16日(木) 質量放出脈動星と星間物質研究集会(仙台、斉藤報恩会館)  
17日(金) 野辺山宇宙電波観測所20周年・電波ヘリオグラフ10周年記念式典  
23日(木) ~ 24日(金) 第61回文部科学省所轄ならびに国立大学附置研究所長会議(学士会館)  
25日(土) VERA石垣島局開局記念式典  
27日(月) ~ 31日(金) 地球惑星科学関連学会2002年合同大会(国立オリンピック記念青少年総合センター)  
31日(金) 運営協議員会

< 6月 >  
4日(火) ~ 5日(水) 第2回将来計画シンポジウム  
6日(木) 教授会議  
8日(土) 水沢観測センター施設公開  
21日(金) 総研大評議会  
24日(月) 評議員会

< 7月 >  
2日(火) ~ 5日(金) 国際天文学連合第8回アジア太平洋地域会議(一橋記念講堂)

### 表紙の説明

すばる望遠鏡主焦点カメラによって撮影された、おとめ座銀河団中の渦巻き銀河NGC 4388の姿。電離水素の出す輝線(H $\alpha$ )、電離酸素の出す輝線([OIII] 5007)、Vバンドの光をそれぞれ赤、青、緑に割り当てて作成した擬似カラー画像。銀河中心から画像左上に向かって広がる電離ガスが、赤紫色から赤色に見える。銀河中心から画像左上端のガスまでの距離は約11万光年にも及ぶ。画像下端に見える赤いパターンは明るい星によるゴーストで、電離ガスではない。

# 銀河の周りにたなびく巨大な雲の発見

光学赤外線天文学・観測システム研究系 助教授 吉田 道利



春は銀河の季節です。何の話かというところから地上からの天体観測の話です。春、3月から5月というのは夜空に天の川（つまり我々の銀河系）が見えなくなって、天の川に隠されていない深宇宙が見える季節なのです。春、3月末から4月にかけてほとんど一晩中夜空に見えている星座におとめ座があります。この星座のなか、乙女（農業の女神デーメーターと言われています）の右肩近くに、おとめ座銀河団という銀河の集合体があります。

今回のお話は、そのおとめ座銀河団の真ん中あたりに位置する銀河のまわりに、異様に大きな雲が見つかったという話であります。

おとめ座銀河団は、我々の銀河系に最も近い巨大な銀河団です。その中心部には、M84、M86という二つの巨大な楕円銀河が存在していますが、その二つの楕円銀河とともに丁度三角形の頂点をなすような位置にNGC4388という渦巻き銀河があります。一見普通の渦巻き銀河と見えるこの銀河の中心核は、実は非常に高い活動性を示しており、いわゆる活動銀河中心核（AGN）に分類されています。AGNとは、巨大なブラックホールの周りにガスが降り積もり、その際に重力エネルギーを開放して、膨大なエネルギーを放出していると考えられている天体です。

これまでの研究から、NGC4388にはAGN活動による強力な紫外線で電離されて光っているガスが1万光年程度まで広がっていることがわかっていました。しかし、こうしたガスは他のAGN銀河でも沢山見つかっており、NGC4388はありふれたAGN銀河の一つにすぎないと思われていました。

去年の春ごろ、私はすばるの観測装置FOCASの試験観測のため、ハワイ島のマウナケア中間施設ハレポハクに滞在していました。ある朝、観測を終えてマウナケア山頂からハレポハクに下りてくると、食堂にパソコンを持ち込んで熱心に議論している日本人の集団がいま

した。FOCASの前まで試験観測を行っていたすばるの主焦点カメラのチームでした。「何してるの？」「ちょっとこれを見てくださいよ」見せられたのは一見普通の渦巻き銀河の画像でした。「これ、NGC4388っていうんですけど、これは何でしょうね？」主焦点カメラチームの一人、八木雅文さんが早口で指し示してくれたところに、異様なガス雲が写っているのを見えました。その画像は、水素の電離ガスの放つ光（H線）で見たNGC4388銀河の姿でしたが、Hで光るガスが銀河の外に遠く飛び出していました（表紙写真）。そのガスは、一見すると爆発して吹き飛ばされたかのように見えました。私はNGC4388と、その中心付近の1万光年に広がるガスのことは良く知っていましたが、即座にこのガス雲はそれとは桁違いの大きさに広がる新発見のガスであると直感しました。「これはすごい」

気が付くと、ぜひこのデータを解析させてくれと主焦点カメラチームに頼みこんでいました。

八木さんの助けを借りてデータを解析するうちに、この電離ガス雲は銀河中心から実に11万光年（通常の銀河の約2倍の大きさ）にも広がっていること、中心付近は強く電離されているが、外側にいくに従って電離度が下がること、電離ガスの総質量は太陽の百万倍に及ぶこと、などがわかってきました。観測事実は、この電離ガス雲の大部分がAGN活動による強力な紫外線で電離されていることを示していました。しかし、この巨大電離ガスがどこから来たのか、それが大きな謎として残りました。これまで、近傍の銀河でこれほど巨大な電離ガス雲が発見されたことはありません。すばるの公開画像として有名なM82の電離ガスでもたかだか2~3万光年程度の大きさしかありません。私たちは、いくつかの可能性を検討しました。最初は、AGNの電波ジェットによるガスの吹き上げや、爆発的な星生成に伴う巨大風（スーパーウィン

ド)など、銀河の激しい活動によって噴き出したガスの可能性を考えました。しかし、どちらの仮説も観測されたガスの形態と大きさをうまく説明することはできませんでした。

実は、NGC4388は秒速1500kmという超高速でおとめ座銀河団中心に向かって落ち込んでいることがわかっています。銀河団中の銀河と銀河の間には、X線を放射する高温のガスが満ちていますが、NGC4388は銀河団中心に落ち込む際にこの高温ガスと激しく衝突することが予想されます。その衝突によって、銀河中のガスがはぎとられることがあると考えられています。この現象を、衝突はぎとり (ram pressure stripping) と呼んでいます。NGC4388は中性水素ガスが通常の渦巻き銀河に比べて少ないことが知られており、過去に衝突はぎとりが起こったのではないかと推測されていました。そこで、私たちは、今回発見した巨大電離ガス雲は、衝突はぎとりで銀河からはぎとられたガスではないかと考えました (図1)。

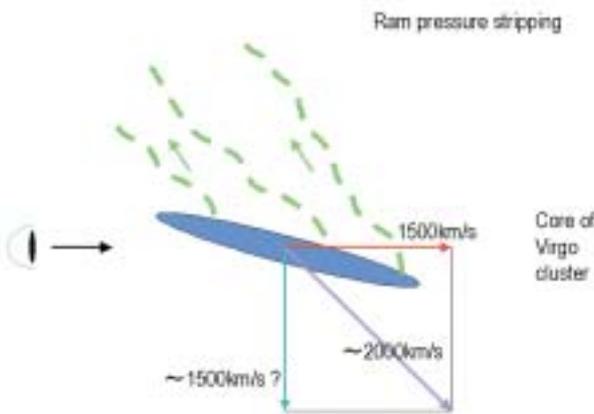


図1. 衝突はぎとり仮説。おとめ座銀河団中心に向かって突っ込むNGC4388が、銀河団ガスと衝突してガスをはぎとられ、巨大電離ガス領域を形成したというシナリオを示す。

別の可能性もあります。それは、他の銀河との相互作用によってもたらされたガスであるというものです。NGC4388の星の分布を注意深く調べてみると、銀河中心部の通常楕円形をしているバルジと呼ばれる部分が四角い形状をしており (ボックスバルジといいます)、棒状構造 (バー) も存在していることがわかりました。また、銀河の外縁部では銀河中心核に対して星が非対称に広がり、尾のような淡い構造も認められました。こうした特徴は、過去に矮小銀河を飲み込んだ (minor merging) ことを示唆しま

す。とすれば、この矮小銀河の飲み込みの際に、その潮汐作用によって、矮小銀河あるいはNGC4388自身からガスがはぎとられてしまうことも考えられます。事実、我々の銀河系はマゼラン星雲を飲み込みつつあり、その相互作用でマゼラニックストリームというガスの帯が形成されていることが知られています。今回発見した電離ガス雲は、NGC4388版マゼラニックストリームではないかというわけです (図2)。

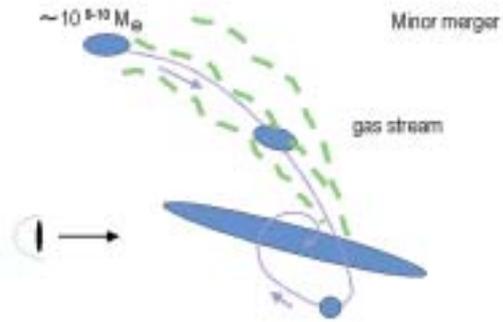


図2. 矮小銀河の飲み込みによるガスのはぎとり仮説。NGC4388が過去にガスの豊富な矮小銀河を飲み込んだ際に、矮小銀河あるいはNGC4388自身からガスがはぎとられて巨大電離ガス領域を形成したというシナリオを示す。

というわけで、私たちは最終的に、(1)衝突はぎとりにより、NGC4388からはぎとられたガス、(2)NGC4388版マゼラニックストリーム、のどちらかが巨大電離ガス起源として有力であろうという結論に達しました。早速この話の流れで論文をまとめ、Astrophysical Journal誌に投稿し、同誌の2002年3月号に掲載されました。

私たちは、今回新発見した巨大電離ガス雲は、単に特異な銀河の特異な現象を見つただけにすぎないとは思っていません。電離ガスというのは、輝線放射をしていて、そのスペクトルを詳しく観測すれば、ガスの運動、電離状態、密度、元素組成などを知ることができます。あの電離ガス雲が、銀河からはぎとられたものであれ、他の銀河との相互作用で形成されたものであれ、いずれにせよ、NGC4388という銀河の進化に大きく関わっているわけで、また、銀河団中の銀河の進化というもっと大きな問題とも深く結びついているわけです。したがって、今回発見されたような、銀河の周りに広がる電離ガスの運動・組成などを詳しく知ることができ

れば、そうした問題を理解する大きな手掛りとなるでしょう。実は、この3月にすばる望遠鏡で、NGC4388の巨大電離ガスの分光観測を行いました。詳細な解析結果はまだ出ていません

が、そのデータにより電離ガスの運動や電離状態が明らかになり、その正体に迫れるものと期待しています。

## お知らせ

### 平成13年度退職者永年勤続表彰式

平成13年度国立天文台退職者永年勤続表彰式が、3月27日(水)午前11時40分から三鷹の講義室で行われ、海部台長の式辞、表彰状と記念品の授与、退職者の謝辞及び記念撮影が行われました。引き続き、台長をはじめ各退職者の所属長を交えて、約1時間の懇談がもたれました。

なお、被表彰者は以下の3名です。

管理部庶務課	小林	亮
管理部庶務課岡山地区	渡邊	峯子
技術部技術第一課	八百	洋子



### すばるで使われたハイテク技術が発明大賞に選ばれました

財団法人日本発明振興協会と日刊工業新聞社が共催事業として実施している「第27回発明大賞」の最高賞に、すばる望遠鏡の主鏡能動支持機構でも使われた音叉式力センサーが選ばれ、株式会社新光電子(岡崎稔社長)が表彰されました。

この発明は、音叉式振動子の振動周波数が加えた力に比例して変化するという原理を利用して高精度荷重センサーとして実用化したものであり、電子式はかりとしても商品化されています。このセンサーがすばる望遠鏡の心臓部に使われたことは、計量学界では良く知られており、受賞祝賀会では祝辞を述べた全ての来賓がそのことに触れられたのが印象的でした。

すばる望遠鏡の主鏡能動支持機構そのものについては、発明協会の平成12年度全国発明表彰恩賜発明賞を三菱電機株式会社通信機製作所が受賞されており、すばる望遠鏡の成功の鍵となった技術の受賞を、関係者として心からお喜びしたい。

(光学赤外線天文学・観測システム研究系

教授 家 正則)

## 相対VLBIとドップラ計測を用いた宇宙飛翔体の精密3次元位置決定に関する研究

地球回転研究系 非常勤研究員 河野 裕介



太陽系の力学進化あるいは起源の解明には、地球に最も近い天体である月の運動や内部構造の詳細な研究がアプローチの方法の一つとして考えられる。そして探査機の軌道変化から月の重力場、物理秤動を求めることは有力な観測手段である。

これまでの月周回衛星の位置は距離およびドップラ（距離変化率）観測によって決定されてきた。これらの観測は視線方向のみに感度を持ち、視線に垂直な方向の位置決定精度が悪い。最新の月周回衛星ルナプロスペクタでも、視線方向2 m、視線に垂直方向で20 m程度の精度でしか決定されていない。そこでドップラ観測と直交する成分に感度を持つ相対VLBIを組み合わせることによって1次元の観測から一挙に3次元観測による位置決定が可能になる。



図1: Multi-Frequency VLBI Recording system

VLBIを用いた位置決定の精度向上のための研究では、Multi-frequency VLBIといわれる複数の周波数の搬送波を発信する衛星搭載電波源からの電波を地上でVLBI観測し、その搬送波の位相の2不確定を取り除き、位相遅延から精密に電波源の位置を求めるという全く新しいVLBIの開発において、VLBI電波源の位相変動に始まり受信、相関処理、最終的に観測量である位相遅延の推定にいたるまですべてをモデル

化しそれぞれの評価を行い、Multi-frequency VLBIが実現可能であることを示し、またMulti-frequency VLBIが成立するための、電波源の周波数安定度、衛星予測値精度、電離層の擾乱の条件等を導いた。また2005年打ち上げ予定の月周回衛星（SELENE）計画の中の測月学的手法により月の起源・進化の解明を目指すRISE（Reserch In SElenodesy）計画のVRAD（VLBI RADio source）ミッションでMulti-frequency VLBIが実現されるが、その観測・受信システムの開発（図1）、相関処理ソフトウェア開発も行い、さらにはその開発したシステムを用いてNASAの月周回衛星ルナプロスペクタのVLBI実験観測を行い、そのデータ解析の結果、地上の2000 kmの基線を用いた観測ではセンチメートルレベルでの衛星の位置決定が可能であることを示した。

一方SELENE計画でのドップラ計測はこれまでの月探査機のなかで最高精度である距離変化率精度0.1mm/sでの計測を目指しており、より詳細な月惑星重力場および月内部構造の研究を可能にする。そこで目標精度0.1mm/sを超える誤差要因を検討し、観測されるドップラ周波数の中にアンテナの位相パタンと衛星のスピンの影響が誤差として含まれることを指摘し、実際に火星探査機のぞみの信号を宇宙科学研究所鹿児島宇宙センターで観測したドップラ観測データの中に、スピン周波数とその高調波の形でそれらを検出した。さらにその除去方法の提案も行い、のぞみのデータからそれらの影響を完全に取り除くことができることを示した（図2）。

以上で示したVLBI装置とドップラのアンテナ位相パタン除去システムにより、従来よりも飛躍的に高い精度での宇宙飛翔体の位置計測を可能にし、SELENEでの観測によって、従来より高精度に月惑星重力場を推定し、次々と新しいサイエンスが切り開かれていくことが期待できる。また本システムをSELENEだけでなく、

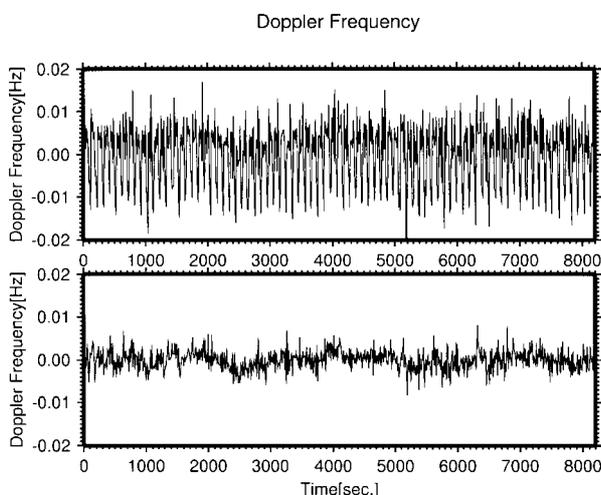


図 2: のぞみドップラ周波数  
(上: 位相パタンの除去前、下: 位相パタンの除去後)

他の探査機への応用を可能にするべく汎用化の面での改良も現在精力的に行っている。

本博士論文をまとめるにあたり、たくさんの方々のご協力をいただきました。特に国立天文台の河野宣之教授、花田英夫助教授にはご指導と論文の細部にわたって適切なお助言をいただきました。また通信総合研究所の小山泰弘博士、国土地理院の福崎順洋博士にはルナプロスペクタVLBI観測を遂行するにあたり多大なるご協力をいただきました。この場を借りて、皆様にあらためて深謝いたします。

## 人事異動

### 配置換

平成 14 年 4 月 8 日付

山下 卓也 ハワイ観測所教授(光学赤外線天文学・観測システム研究系教授)

平成 14 年 4 月 16 日付

上田 敏史 ハワイ観測所(管理部施設課)

平成 14 年 5 月 1 日付

石崎 秀晴 電波天文学研究系助手(野辺山太陽電波観測所助手)

## 編集後記

先日、4歳の息子が風邪で寝込んでいたときのことです。「たいようけい」「太陽系」とうなされるように言うので、一瞬、いったいこの子に何が...とビックリしたのですが、よくよく聞いてみると「たいおんけい」の聞き違いでした。親の心子知らず。  
(Agt)

スペインの話の続きです。酒がうまけりゃ肴もおいしいはず。地元の大学の先生たちに連れられて訪れた居酒屋で、本日のお勧めは、なんとかという魚の塩漬け。これが見た目は燻製だが、味は極辛の塩引きシャケ同然という代物。魚の味なんか、少しもしません。日本人なら「オツな味」で済みます?が、同行のフランス人は「こんなものでワインが飲めるか」と怒り出しました。が案内したスペイン人たちは、平気の平左でお代わりする始末。さて、この続きは?  
(F)

6月と言えばサッカーの世界カップですね。日本チーム、応援しています。某飲料メーカーの

Tシャツプレゼントのキャンペーンに便乗しての応援ですが。(ビールを飲んで、応募シールを集めているだけです。)  
(Y.T.)

先日、久しぶりに、今話題の銀行に行ってみて、合併後も無事預金があることを確認しました(たいした額ではないのだが)。なんだか少し得をしたような気分になったのが、われながら不思議です。(W.A)

ソフトウェアの不具合の原因を突き止めるためソースコードを調べ始めたらこれが難物で、隅から隅まで眺めたがわからない。一週間にわたって唸ったけれども、結局ソースの問題ではなくコンパイル時の問題ということが判明した。あーあ。  
(Y.H)

ご要望にお答えして、アンテナの紙模型に加えてすばる望遠鏡の紙模型の設計も始めました。この号が出る頃には熟練者コースも完成しているものと思います。  
(成)

# すばる CIAO/AO、天王星をスナップショット

光学赤外線天文学・観測システム研究系 助教授 田村 元秀



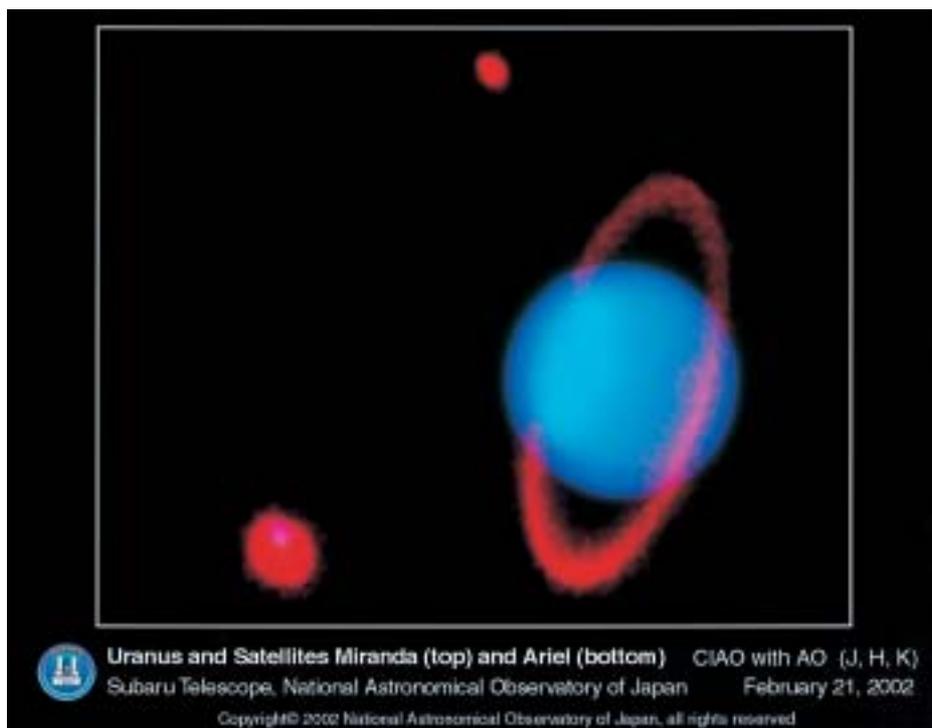
CIAOは2000年2月にファーストライトを迎え、2001年1月には待望の波面補償光学装置(AO)とカップリングを行った。これによって、リアルタイムで大気の揺らぎを補正することが可能になり、従来の自然シーイングに制限された観測から開放されて、望遠鏡の回折限界の観測を行うことが可能になった。この画像は2001年7月、CIAOとAOの2回目のカップリング機能試験時に、コロナグラフ機能を用いずAO機能だけを用いて試験的に取得されたものである。神戸大学のグループが画像解析を行った。天王星本体(みかけの大きさ約3.6秒角)を参照星としているために、実効的な解像度は理想的なものにまで達していない。もちろん、すばる+AO+CIAOは、通常の条件で恒星を参照星に用いた観測では定常的に回折限界を達成している。

この0.2秒角の解像度でも、地上では観測することが容易でない天王星の環(もっとも顕著

なエプシロンリングなど)や表面の模様を見分けることができた。図は赤外線3波長を青・緑・赤に対応させた擬似的なカラー画像である。異なる時間に撮られたため、衛星は位置がずれて少しピンぼけに見える。

天王星の大気は水素とヘリウムのほかにメタンを含む。可視光でみた天王星表面は単調でのっぺりしているが、赤外線はメタンガスにより吸収されるため、大気中のメタンガスの高度分布に応じて、赤外線で見た天王星の表面には模様が現れている。

天王星は太陽系第7惑星で、望遠鏡を用いて発見された最初の惑星である。発見者はウィリアム・ハーシェルで、1781年のことであった。多数の衛星を持ち、現在までに21個が発見されている。この画像に写っている2個の衛星は、そのうちミランダ(上)とアリエル(左)である。



すばる望遠鏡用コロナグラフ赤外線カメラCIAOで撮影した天王星の画像