

自然科学研究機構



国立天文台ニュース

National Astronomical Observatory of Japan

2013年8月1日 No.241

理論の望遠鏡「アテルイ」が拓く宇宙

- 宇宙を“計算する”シミュレーション天文学
- アテルイへの道～国立天文台のスーパーコンピュータ系譜
- 水沢VLBI観測所に設置されたアテルイの雄姿
- スパコンは北へ! プロジェクションマッピングで自作自演するアテルイ
- “NS-04 ATERUI”の由来&アテルイ筐体化粧板のデザインコンセプト
- アテルイと共働する三鷹の共同利用計算機システム
- アテルイを支える高速通信ネットワーク
- アテルイが拓くサイエンス
- 国立天文台技術ファイル～天文台の匠たち～ file02 石川利昭さん

8

2013

- 表紙
- 国立天文台カレンダー

03 特集 理論の望遠鏡「アテルイ」が拓く宇宙

- 04 宇宙を“計算する”シミュレーション天文学
- 06 アテルイへの道
国立天文台のスーパーコンピュータ系譜
- 09 アテルイ本体の概要
水沢VLBI観測所に設置されたアテルイの雄姿
スパコンは北へ！
プロジェクトマッピングで自作自演するアテルイ
- 12 “NS-04 ATERUI”の由来&アテルイ筐体化粧板のデザインコンセプト
- 14 アテルイと共働する三鷹の共同利用計算機システム
解析サーバとファイルサーバ/計算サーバ/ GRAPE
- 17 アテルイを支える高速通信ネットワーク
北のアテルイをサポートするJGN-Xネットワーク
- 18 アテルイが拓くサイエンス
アテルイで花ひらいた！超新星の3次元シミュレーション
アテルイが切り拓く輻射流体力学シミュレーションの新境地
アテルイ時代の宇宙論的シミュレーション
アテルイによる天体プラズマ数値実験から探る地球の過去、現在、未来
磁気乱流状態にある降着円盤の内部構造と熱力学の研究
- 20 おわりに
昨日の虫取り、今日の計算、明日の論文もしくは虫取り



表紙画像
理論の望遠鏡 NS-04 ATERUI (アテルイ)。

背景星図 (千葉県立郷土博物館)
渦巻銀河 M81 画像 (すばる望遠鏡)



石垣島天文台・むりかぶし望遠鏡で撮影したアイソン彗星 (画像中央/4月撮影)。年末にかけて大彗星になることが期待されている。

21 国立天文台技術ファイル

～天文台の匠たち～ file02 ——石川利昭さん (水沢VLBI観測所)

22 ニュースタッフ
人事異動

- 編集後記
- 次号予告

24 シリーズ 国立天文台アーカイブ・カタログ17

眼視天頂儀 (Visual Zenith Telescope) 1号機

—— 亀谷 收 (水沢VLBI観測所)

国立天文台カレンダー

2013年7月

- 8日(月) 運営会議
- 11日(木) 光赤外専門委員会
- 12日(金) 幹事会議/4D2Uシアター公開/観望会
- 16日(火) 安全衛生委員会/太陽天体プラズマ専門委員
- 24日(水) 幹事会議/天文データ専門委員会
- 27日(土) 4D2Uシアター公開/観望会
- 30日(火) 研究交流委員会

2013年8月

- 9日(金) 4D2Uシアター公開/観望会
- 10日(土) VLBI入来局施設公開
- 10日(土)～19日(日) 石垣島天文台特別公開
- 11日(日)～12日(月) VLBI石垣島観測局特別公開
- 22日(木) 安全衛生委員会
- 24日(土) 野辺山地区特別公開/4D2Uシアター公開/観望会
- 31日(土) 岡山天体物理観測所特別公開

2013年9月

- 13日(金) 幹事会議/4次元シアター公開/観望会
- 26日(木) 安全衛生委員会
- 27日(金) 幹事会議/電波専門委員会
- 28日(土) 4次元シアター公開/観望会

理論の望遠鏡「アテルイ」が拓く宇宙

スーパーコンピュータが描き出すシミュレーション天文学の世界

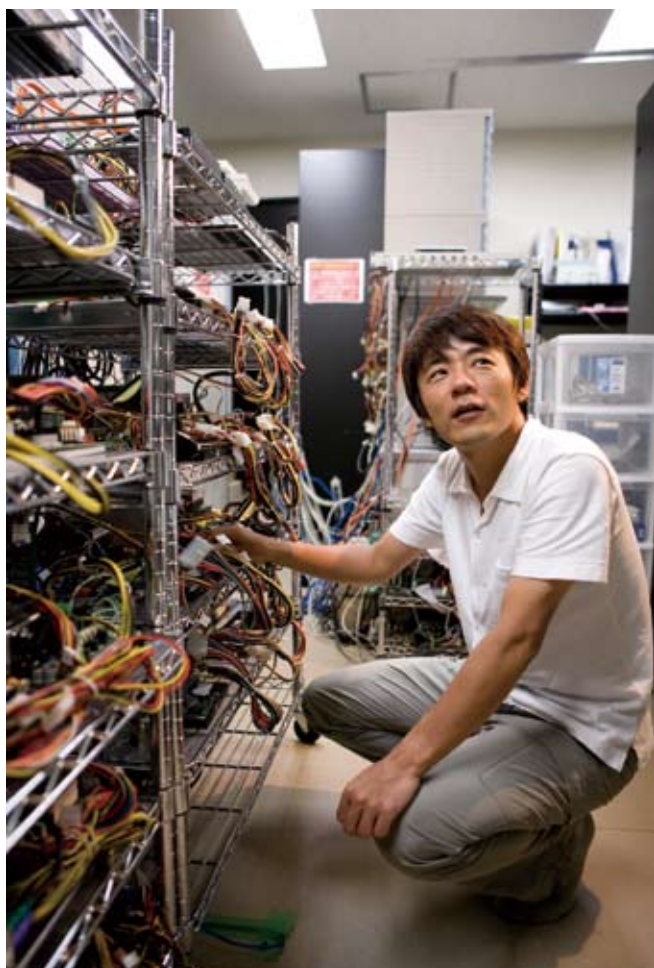
2013年4月より水沢 VLBI 観測所に数値天文学研究専用のスーパーコンピュータ Cray XC30 が設置されました。その名は「アテルイ」。天文シミュレーションプロジェクト (CfCA) の共同利用計算機システムの中核を担う「アテルイ」はどのような新しい天文学を拓いていくのでしょうか。国立天文台が取り組むシミュレーション天文学の最前線を紹介します。



協力：天文シミュレーションプロジェクト (CfCA)
水沢 VLBI 観測所

宇宙を“計算する” シミュレーション天文学

シミュレーション天文学は、スーパーコンピュータの中に宇宙を再現し、^{シミュレーション}模擬実験を行って宇宙の謎解きに挑みます。従来の天文学では不可能だった「実験」を可能としたシミュレーション天文学の全体像をみてみましょう。



小久保英一郎

(天文シミュレーションプロジェクト長・理論研究部)

な物理法則の多くは、常微分方程式や偏微分方程式という物事の変化を記述する数式として表現されています。初期条件を与えて、物理法則の式を数値的に解くことで、天体（現象）の時間進化を調べることができます。ここで道具となるのがスーパーコンピュータ。スーパーコンピュータは一般のパソコンの1000～10000倍以上の計算能力を有します。物理法則を十分な時間空間精度で計算するには膨大な計算能力が必要となるのです。

天文学で行われる大規模なシミュレーションには大きくわけて、多体計算、流体計算、輻射輸送計算の3種類があります。ほとんどの天体は多体系かガス（流体）と見なすことができます。例えば、恒星はガスで、それが集まっている星団や銀河は多体系になります。多体計算とは重力で引き合う多数の粒子のふるまいを調べるものです。銀河団、銀河、星団、惑星系などのシミュレーションがこれになります。流体計算はガスのふるまいを調べるものです。星間雲、恒星、降着円盤などの研究で使われます。そして輻射輸送計算とは光（エネルギー）の伝わり方を調べるもので、流体計算と組み合わせて行われることが多く、原始銀河雲、星間雲、恒星、降着円盤などで用いられます。また、これらの3種類を組合わせたシミュレーションも行われています。

シミュレーションで扱う空間スケールは小は惑星から大は宇宙全体まで、時間スケールは1秒から宇宙年齢（138億年）にまでおよびます。つまり、宇宙におけるあらゆる現象を対象にしているのです。望遠鏡では観ることができない天体現象を、物理法則を基に計算によって描き出すスーパーコンピュータは、理論の「望遠鏡」ということができます。

● シミュレーション天文学の世界

現代天文学の研究目的は、「宇宙を支配する物理法則を解明する」と「万物の往古来今を宇宙観として描く」といわれます。そのために現在、私たちは3種類の方法で宇宙の研究に取り組んでいます。

天文学の基本は宇宙を観ること、観測天文学です。そして観測される宇宙のしくみ（物理）を考える理論天文学があります。20世紀後半までの天文学は、観測天文学と理論天文学が車の両輪となって発展してきました。ところが20世紀の終りに近づくと、コンピュータの性能が向上し、天文学でもコンピュータを使って実験的に研究をすることが可能になりました。それがシミュレーション天文学です（計算天文学ともいいます）。

天文学で扱う質量、エネルギー、空間、時間などの規模は莫大なため、実験室で再現することはできません。そこでコンピュータの中に宇宙を再現し、模擬実験（シミュレーション）を行うのです。現在、シミュレーションは観測、理論に次ぐ第3の方法として、現代天文学に欠くべからざるものになっています。

シミュレーションの原理となるのは物理法則です。基本的

● 天文シミュレーションプロジェクトと計算機

国立天文台でシミュレーション天文学の中心になっているのが、天文シミュレーションプロジェクト（Center for Computational Astrophysics：CfCA）です。CfCAの目的は、ハードウェアとソフトウェアの両面から新しいシミュレーション方法を研究開発し、それをを用いてこれまで実現不可能だったシミュレーションを行い、天文学を進めることにあります。そして、その成果を活かしながら、日本のシミュレーション天文学コミュニティと協力しつつ、天文学専用のスーパーコンピュータの共同利用を行います。

現在、CfCAの共同利用計算機システムには、大規模並列スカラ計算機「アテルイ」を主力機として、他にも重力多体問題専用計算機GRAPE、計算サーバ、解析サーバ、そして大容量ファイルサーバがあります。システムの概要を紹介しましょう。

アテルイは2013年4月1日から運用が開始されました。Cray社の大規模並列計算機Cray XC30システムで、汎用のスーパーコンピュータです。理論演算性能は導入時に502 Tflopsで、2014年9月までに更新を行い、1 Pflopsを超える予定です。2013年6月時点、世界63位の演算性能を誇っています。また、天文学専用のスーパーコンピュータとしては世界最速になります。GRAPEは重力多体問題の専用計算機で、多体計算でもっとも計算量が多い重力相互作用を超高速度で計算します。計算サーバはアテルイやGRAPEには適さないような小規模計算を行うための汎用計算機です。

これらの計算機が生み出す計算結果は大容量ファイルサーバに保存されます。解析サーバは大規模シミュレーションの結果を解析するための専用計算機です。これらのサーバはCfCAで独自に構築されたものです。アテルイは水沢VLBI観測所に、そしてアテルイを除く計算機は全て三鷹に設置されており、水沢-大手町間はJGN-X、大手町-三鷹間はSINET4という高速回線で繋がれています。

CfCA共同利用計算機システムは日本の研究機関に所属する研究者もしくは日本で学位を取得して海外の研究機関に所属する研究者に門戸を開いています。望遠鏡の観測時間獲得



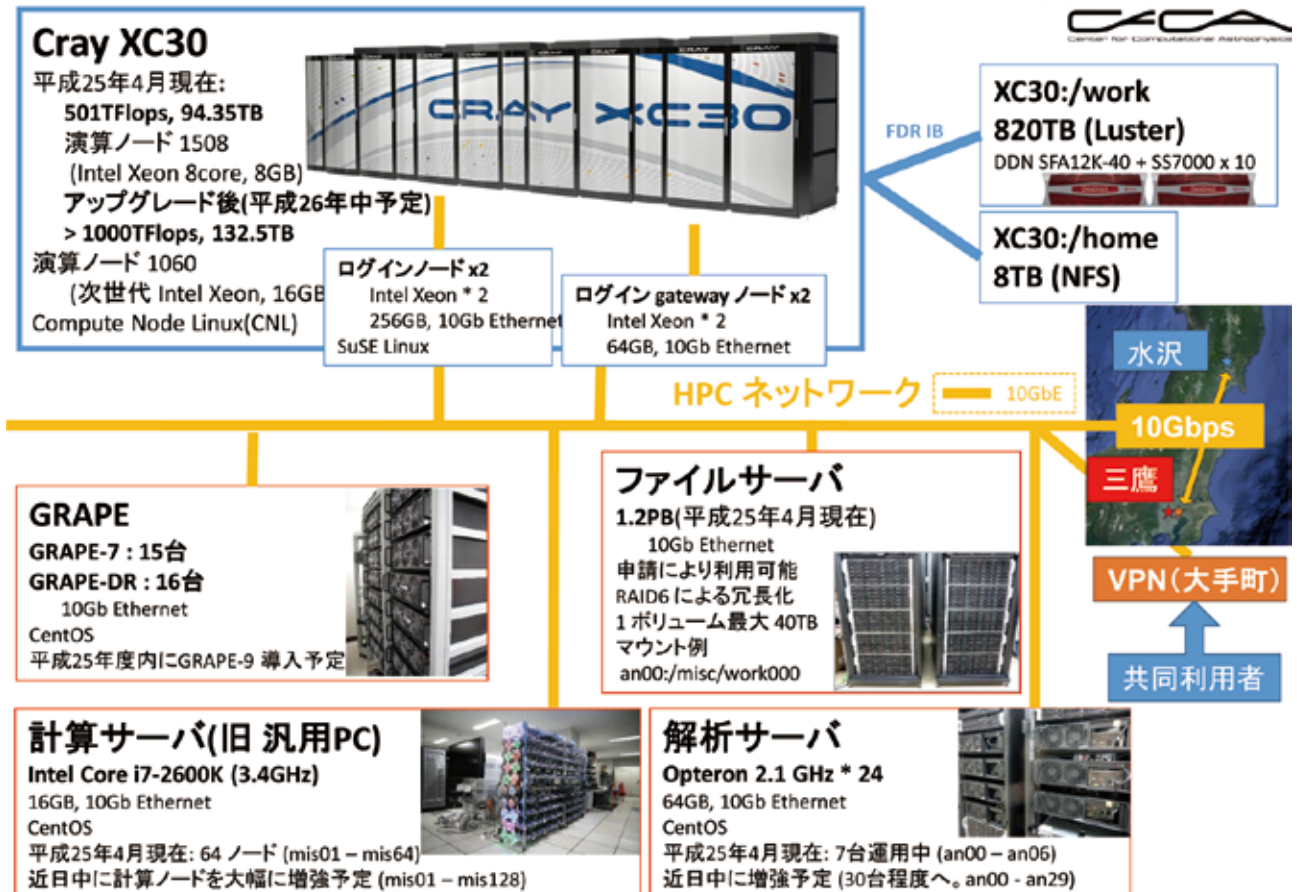
多体シミュレーションの例。土星の環の中にある小衛星と環粒子の運動を調べると、小衛星の周りにプロペラ型の空隙が現れました。環の斜め上方から見た図で、中心の天体が小衛星です。小衛星の周りの環にはウェイクとよばれる縞模様が見られます（道越秀吾、小久保英一郎／可視化：武田隆顕）

と同じように、利用申請書を提出し、審査を経てその価値が認められて初めて使用可能になります。

今号はアテルイを中心としたCfCA共同利用計算機システムとそこで現在行われているシミュレーション研究の紹介です。シミュレーション天文学の最前線の世界をお楽しみください。

CfCA 共同利用計算機システム概要

平成25年4月1日現在
自然科学研究機構 国立天文台
天文シミュレーションプロジェクト(CfCA)
COMPUTER FOR COLLEGIATE ASTRONOMY



CfCAの共同利用計算機システムの概要図。アテルイをはじめ、さまざまなユニークな計算機群が高速回線でつながられています。

Cray XC30 (アテルイ) の紹介の前に、国立天文台の大型計算機の歴史を簡単に振り返ります。東京天文台の時代から運用と更新が続いてきた高速・大型の計算機は常に最先端の天文学研究の重要な道具であり、「理論の望遠鏡」と呼ばれることもありました。



国立天文台のスーパーコンピュータ系譜

伊藤孝士 (天文シミュレーションプロジェクト・天文データセンター)

● 数値天文学研究専用スーパーコンピュータ導入前史

国立天文台の歴史において、大型計算機の利用とそれを使った研究活動は最近始まったものではありません。国立天文台の前身である東京天文台の人工衛星国内計算施設はその嚆矢たる組織であり、天体力学の専門家であり長く台長を務めた古在由秀先生はその設備を使った数値計算を得意とされていたことでも有名です (写真01、02)。当時の機材は汎用の大型計算機、いわゆるメインフレームと呼ばれるものでした (写真03～05)。その後1988年7月に国立天文台が設立されると同時に天文学データ解析計算センター (ADAC) が発足し、三鷹ではさらに本格的に計算機を使った研究活動を支援する準備体制が整いました。西村史朗・初代ADACセンター長を引き継いで二代目のセンター長に就任した観山正見教授 (当時、平成17～23年度の国立天文台長) は、国立天文台の計算機設備をさらに強化することが日本の天文学の発展にとり極めて重要であると唱えました。それまでも野辺山宇宙電波観測所において観測データ処理のためにスーパーコンピュータが導入されていましたが (脚注★01参照)、数値天文学研究専用の大型計算機を国立天文台三鷹地区に導入する運動が観山氏を中心として本格的に開始されたのが1990年代前半です。そこでは観山氏のみならず小笠原隆亮氏 (当時は理論天文学研究系助教授。現在はチリ観測所教授) や近田義広氏 (当時は光学赤外線天文学研究系教授。後の天文学ADACセンター長、現在は国立天文台名誉教授) らによる予算獲得や設備導入のための超人的な努力がありました。それが結実し、三鷹地区初のスーパーコンピュータとして富士通

VPP300/16R・VX/4R・VX/1Rを中心とするベクトル並列計算機一式が導入されたのが1996年1月のことです (写真06～08/★02) (国立天文台ニュース第47号参照)。この出来事は日本国内の数値天文学業界から大きな期待の声で迎えられ、VPP300のプロセッサは数か月もしないうちに利用者による計算ジョブで満たされて、その高い稼働水準は現在のCray XC30 (アテルイ) に至るまで継続しています。

● より速く、より大きなシステムへ

VPP300/16Rは16台のベクトルプロセッサから成るシステムであり、システム全体の最大演算性能は24 GFlopsでした。けれども世界的に競争の激しい数値天文学業界ではこの性能の機材で最先端の成果を出し続けることが困難だったため、早くから次期システムへの更新が待たれていました。このため観山センター長の後を受けた近田センター長は2000年末に計算機システム一式の入れ換えを行い、2001年1月からは60台のベクトルプロセッサを持つ富士通VPP5000が新しいスーパーコンピュータとして稼働開始しました (写真09～11・8ページ/★03)。VPP5000のプロセッサの最大演算性能は9.6 GFlopsであり、システム全体では576 GFlopsまでの性能向上が達成されました。

★01 野辺山宇宙電波観測所では東京大学時代の1985年度に富士通VP-50が導入され、国立天文台時代の1989年度にVP-200Eへ更新されました。なおハワイ観測所でも1997年3月より富士通VPP700が稼働開始しています。

★02 この時に調達された計算機システムは数値シミュレーション天文学のみならずデータベース天文学の振興をも目指すものでしたが、本稿ではそちらには触れません。



写真01 東京天文台に初めて導入された大型計算機OKITAC 5090D (1966年3月) に添付されていた金板プレート。本体の写真は残念ながら現存しない。この計算機の主記憶容量は4k WORDとされる。



写真02 1976年1月に東京天文台に導入されたFACOM 230-58を使って計算作業を行う古在由秀・東京天文台教授 (当時、すでに東京天文台人工衛星国内計算施設長などを歴任し、後の東京天文台および国立天文台長)。このシステムの主記憶容量は770KB、磁気ディスク容量は400MB、浮動小数点演算性能は800 FLOPSとされる。

VPP5000はVPP300時代にも増して多くの利用者に使われ、プロセッサ群は常に大混雑の状況でした。近田センター長の後を継いだ水本好彦センター長（光赤外研究部教授）の下でもこの機材の運用が継続されましたが、幾つかの理由によりレンタル期間が7年以上にわたることとなりました。そのため、その後半には世界の同業他機関との競争に遅れを取り、利用者コミュニティからは早期の機材更新の声が挙がったことも事実です。またその時期には国立天文台内部で改組があり、ADACは数値シミュレーション天文学を推進する天文シミュレーションプロジェクト（CfCA）とデータベース天文学を推進する天文データセンター（ADC）の二者に分割

されました。CfCAでは富阪幸治教授（理論研究部）が短く初代プロジェクト長を務めた後、牧野淳一郎教授がプロジェクト長として東京大学より招聘されました。牧野プロジェクト長の下で行われた計算機システム更新作業の結果、2008年4月からは日本電気のベクトル並列スーパーコンピュータSX-9（最大性能1.6TFlops）およびCrayのスカラー並列スーパーコンピュータXT4（最大性能26TFlops）の二本立てによる新しいシステムが導入されるに至りました（写真12～

★03 この時に調達された計算機システムも数値シミュレーション天文学およびデータベース天文学の振興の両方を目指すものでしたが、本稿ではそちらには触れません。

UNIVAC 1100-80B



写真03 1980年3月に東京天文台に導入されたUNIVAC 1100-80B。このシステムの主記憶容量は4MB、磁気ディスク容量は1GB、浮動小数点演算性能は3.7kFLOPSとされる。

FACOM M-380R or FACOM M-380R/MSP



写真04 1983年5月に東京天文台に導入されたFACOM M-380Rもしくは1985年4月に更新されたFACOM M-380R/MSP（この写真がそのいずれであるか不明）。M-380RおよびM-380R/MSPの主記憶容量は16MBおよび24MB、磁気ディスク容量は10.7GB（双方とも）、浮動小数点演算性能は12MFLOPSおよび16MFLOPSとされる。

FACOM M-780/10S



写真05 1988年3月に東京天文台に導入されたFACOM M-780/10S。このシステムの主記憶容量は32MB、磁気ディスク容量は15.1GB（国立天文台になった1993年3月に21.1GBに増強）、浮動小数点演算性能は36MFLOPSとされる。

VPP300/16R



写真06 1996年1月に国立天文台三鷹に初めて導入されたスーパーコンピュータシステムの主要部を構成するVPP300/16R。

VX/4R and VX/1R



写真07 VPP300/16Rと同期に導入されたスーパーコンピュータであるVX/4R（3台）およびVX/1R（1台）。これらとVPP300/16Rを併せてスーパーコンピュータシステム一式とする調達作業が行われた。この写真は国立天文台ニュース第47号の表紙を飾った。

共同利用計算機室



写真08 1996年1月に導入されたスーパーコンピュータシステム一式と同時に整備された共同利用計算機室。当時の北研究棟（現在の中央棟（北））一階の南側を占有していた。この写真は国立天文台ニュース第47号の表紙に掲載された。

14)。この時の更新で特筆すべきは、主たるスーパーコンピュータが遂にベクトル型からスカラー型の計算機 (XT4) へ変わったことです。この業界の世界的趨勢がベクトル型計算機からスカラー型に移行しつつあった中で、国立天文台だけがその潮流に乗り遅れる訳には行きませんでした。

● さらなる未来へ

SX-9およびXT4は2013年3月末まで稼働を続け、数多くの利用者に使われて数多くの研究成果を産み出しました。

このシステムの後継機がCray XC30です (詳細は本特集号の他記事を御参照ください)。Cray XC30の導入は牧野プロジェクト長の後を継いだ小久保英一郎プロジェクト長の指揮下で遂行され、設置場所は水沢VLBI観測所となりました。日本における数値シミュレーション天文学が益々盛んな発展を見せる中、国立天文台 CfCA が運用する将来のスーパーコンピュータがどのようなものになり、どのプロジェクト長が主導して行くのかを、運用者であり利用者でもある私達はじっくり見守って行きたいと思います。それと同時に、今ではその存在を誰にも疑われず湯水の如く使われる計算機資源がどこからともなく自然発生したものではなく、本稿に名前を挙げた方々を始めとする東京天文台・国立天文台史上の先人による大きな辛苦の上に築かれたものであることを、この機会に改めて銘記したいものです。

VPP5000



写真09 2001年1月に国立天文台三鷹に導入されたスーパーコンピュータである富士通 VPP5000。当時の天文総合情報棟 (現在の南棟) 一階にあるスーパーコンピュータ室に設置された。天文総合情報棟の竣工はこの計算機システムの調達作業が進行する2000年3月末であった。

PowerOnyx2 IR3



写真10 写真09のVPP5000システム一式と同時に調達されたデータ処理・可視化用計算機システムであるSGI PowerOnyx2 IR3。天文総合情報棟二階にある共同利用計算機室に設置された。

GRAPE (16ページ参照)



写真11 写真09のVPP5000システム一式と同時に重力多体問題専用計算機GRAPE機材群も導入された。この写真は2001年初頭に近田義広・ADACセンター長 (GRAPEの概念設計者) に向けてGRAPE機材群の説明を行う小久保英一郎・理論天文学研究系助手 (当時。現在はCfCAプロジェクト長)。

SX-9



写真12 2008年4月に三鷹地区に導入された新しいスーパーコンピュータシステムの一部を成す日本電気SX-9。天文総合情報棟一階にあるスーパーコンピュータ室に設置された。

XT4



写真13 2008年4月に三鷹地区に導入された新しいスーパーコンピュータシステムの主要部を成すCray XT4と、その傍らに立つ斎藤貴之・国立天文台研究員 (当時。現在は東京工業大学大学院理工学研究科特任准教授)。なおXT4前面パネルに印刷された画像は斎藤氏の数値計算結果を可視化したものである。

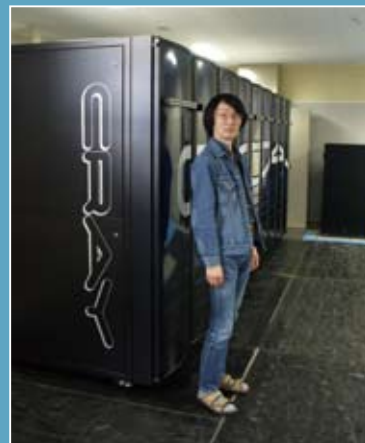


写真14 2008年初頭のCray XT4の導入作業時にその傍らに立つ牧野淳一郎・CfCAプロジェクト長 (当時。現在は東京工業大学大学院理工学研究科教授)。

アテルイ本体の概要

水沢VLBI観測所内に設置されたアテルイは、天文計算専用機としては世界一の性能を誇っています。その内部のようすや、電源や冷却といったインフラ設備、そして、鮮やかなプロジェクション・マッピングのようすを紹介します。

画像の撮影と解説：岩城邦典（天文情報センター出版室）



水沢VLBI観測所に設置されたアテルイの雄姿

鈴木昭宏（天文シミュレーションプロジェクト）

2013年4月1日から水沢VLBI観測所において稼働が開始したXC30システム（★01）は、スカラ型並列計算機という種類に分類されるスーパーコンピュータです。「アテルイへの道（p6参照）」で解説されている通り、XC30システムは国立天文台における数値シミュレーション専用のスーパーコンピュータとしては第4世代にあたり、2008年から2012年まで運用されていた第3世代スーパーコンピュータであるXT4システムの後継機です。

コンピュータの演算性能は主にCPUがどれだけ量の計算をいかに短時間に行なえるかという指標で決まりますが、一つの計算コードの実行に複数のCPUを用いることで、計算速度を上げることができます。スカラ型並列計算機とは、非常に多くのCPUを搭載することによってシステム全体で高い演算性能を得るスーパーコンピュータのことを差します（画像01～04、08）。もちろん、これらのCPUをただ積んでいるだけでは一つの計算コードの実行に複数のCPUを割り当てることは出来ません。マシンに搭載された各CPUはインターコネクトと呼ばれる専用の高速回線によって繋がれ（画像05、06）、お互いに情報のやり取りができるように設計されています。このように、XC30に搭載されたCPU達は仕事を分担し、お互いに情報交換をしながら、共同体制で一

つのシミュレーションを実行しています。

スカラ型のスーパーコンピュータでは、単体のCPUのことをコア、複数のコアがまとまったグループをノードと呼びます。XC30システムでは、1ノードが16個のコアで構成され、システム全体で1512ノード、総数2万4192にも及ぶコアが演算を行ないます。ちなみにXT4システムのコア数は2960コアでした。コア単体の性能がパワーアップしたことももちろんですが、コア数が約8倍となり、非常に大きなグレードアップとなったことが分かるかと思います。

XC30システムの理論演算性能は現時点で502Tflops（★02）であり、稼働開始から2年以内にさらにグレードアップを行なうことで1Pflopsを超える理論演算性能を実現する予定となっています。

一つのノードに搭載されている16個のCPUは64GBのメモリー（主記憶装置）を共有しています。XC30システムの総ノード数は1512ですから、システム全体としては94.25TBの主記憶を持つこととなります。また、820TBの容量を持ったハードディスクが搭載されており、ここにシミュレーションのデータが出力されることとなります。

既に紹介した理論演算性能はCPU単体の性能が100パーセント発揮された場合の理論上の性能ですが、これに対してスーパーコンピュータ上で計算コードを実行した場合の実際の性能を実効性能と言います。スーパーコンピュータ

- ★01 XC30システムは、クレイジャパン・インクによって開発されたシステムです。<http://www.jp.cray.com/products/XC30-01.html>
- ★02 flopsとは計算速度の単位で、1秒あたりの浮動小数点演算数のこと。1Tflops（テラフロップス）、1Pflops（ペタフロップス）はそれぞれ1秒間に1兆回、1千兆回の演算を行えることを意味します。



01 アテルイ本体。アテルイが納められているスーパーコンピュータ室は、観測機器棟を改修したものです。



02 アテルイのフロントパネルを開けた状態。一つのキャビネットには、CPUが納められているボックス（ブレード）が左右24台ずつ、計48台が搭載されている。



03 アテルイのブレード。左列用と右列用では、フロントに書かれた文字の色が異なる。左列用は黒文字、右列用は赤文字。



04 ブレードケースの外観。故障が生じた際には、ブレードを引き抜いて部品を交換する。側面には空冷用の穴が多数あいている。

業界では、Linpackというベンチマークテストが実効性能を計測する際によく使われ、Linpackを実行した際に計測された実効性能によって、世界中にあるスーパーコンピュータが順位付けをされます。上位500台の性能ランキングが“TOP500”（★03）としてリスト化されています。XC30システムを用いたLinpackの実行では、演算性能の実測値として420.4TFlopsという値が得られており（★04）、2013年6月に発表されたTOP500では63位という順位を獲得しました。

ちなみにXC30システム上でLinpackを実行した際の電力消費は最大で約723kWでした。一般家庭での平均電力使用量を400Wと仮定した場合、XC30システムの電力消費は約1800世帯分にあたります（画像09～11）。また、スーパー

コンピュータは稼働中に大量の熱を発生させるので、放っておくとオーバーヒートしてしまいます。冷却の方法としてXC30システムでは水冷式を採用し、電動バルブで水量を調整しながらマシンを冷やしています（画像12～17）。

現在、XC30は安定的に稼働しており、着実に科学的成果を出しつつあります。XC30によって切り拓かれる、数値シミュレーションによる天文学研究の新たな展開にご期待ください。

★03 スーパーコンピュータの実効性能ランキング。国産のスーパーコンピュータとしては、「地球シミュレーター」や「京」といったマシンが1位を獲得したことがあります。<http://www.top500.org>

★04 XC30の詳細な性能やベンチマークテストの結果等は以下の情報をご参照ください。<http://www.cfca.nao.ac.jp/xc30>



05 アテルイの背面を開けたところ。各CPUを多数のインターコネク（高速回線）が繋いでいる。



06 幾重にも張り巡らされたインターコネクは、まるで筋肉のようだ。ケーブルだけでも相当な重量となる。



07 スパコンルームの床はフリーアクセスだが、アテルイの重量を支えるために鉄製の台座が床下に設置された。



08 CPUの利用状況。アルファベットと数字の組み合わせ2文字が実行中の計算（JOB）IDを示している。只今、C4・C5のIDa8とaCが奮闘中。



09 電力量の推移グラフ。計算が集中すると電力消費も増大するので、つねにモニターされている。



10 変電設備棟の内部。電力会社の送電線がこの建物に引き込まれ、変電された後、スパコン棟に供給される。

スパコンは北へ！

観山正見（国立天文台前台長）

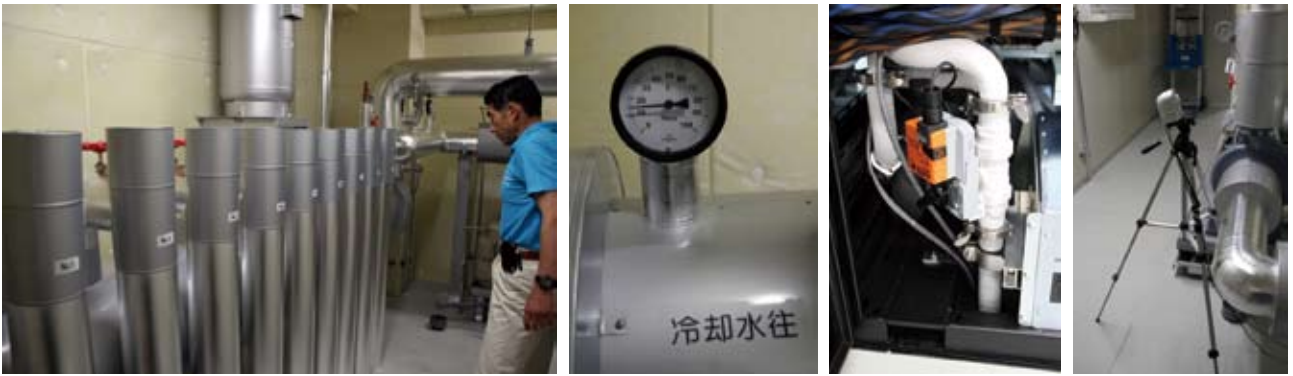
私はコンピュータ大好き人間です。スーパーコンピュータならなおさらです。ブラックホールやビッグバン宇宙といった現象そのものを実験で再現できない天文学において、スパコンは、シミュレーションという形でそれを可能とってくれる唯一の装置だからです。とはいえ、スパコンの運転は、多大な電力を消費します。特に冷却のための電力コストはたいへん大きな負担となります。そこで、広帯域の通信ネットワーク（17ページ）と安定した電源が確保できさえすれば、スパコンは寒くて人的サポートが十分な場所での設置が最適です。そのような理由でスパコンは水沢VLBI観測所に設置され「アテルイ」となったのです。



11 スーパーコンピュータ室（奥）とスパコン電気室（手前）。スパコン棟の灰色の扉が搬入口。正規の入り口は写真の向こう側にある。



12 スパコンは水冷式で、循環水の冷却システムは屋外に設置されている。水沢観測所初代所長 木村榮がZ項を発見した眼鏡天頂儀室（24ページ参照）とその水平決めに使用する目標台の間の空間を妨げないように、水冷システムはスパコン室から離れた場所に設置された。



13 (左) 建物に引き込まれた冷却水は、床下に張り巡らされたパイプを通して各サーバラックに分配される。/14 (左中) 取材時には、各サーバに引き込まれる冷却水は約15℃。冷却後の水温は約20℃になっていた。/15 (右中) サーバに引き込まれる水冷パイプと水量を調整する水冷バルブ。CPU温度に応じて自動的に調整される。/16 (右) 冷却システムの状況を監視するWEBカメラ。当初はこの場所に人が来て冷却システムの状況を確認していたが、WEBカメラの設置により、常時監視が可能となった。



17 (左上) 冷却水が漏れた場合、床下に掘られた穴に水がたまる仕組みになっている。穴に一定量の水が溜まると、フロートスイッチが入りポンプで排水される。/18 (左下) アテルイのキャビネット上部を覗くと、所狭しと張り巡らされている光ファイバーの束を見ることができる。まるで緑色蕎麦の盛り。/19 (中) 10Gbイーサネットスイッチと安定運用祈願のダルマ。10Gbイーサネットについては、17ページを参照。/20 (右) アテルイを管理・運用するCfCAの水沢スタッフ。左が石川利昭さん(22ページ参照)、右が清水上 誠さん。

プロジェクションマッピングで自作自演するアテルイ (岩城邦典)

普段は暗い部屋で黒い筐体が見えるだけのアテルイ。その中では何が計算されているのか？ 多色照明とプロジェクターの組み合わせで、アテルイの成果を筐体自体に鮮やかに投影するプロジェクションマッピングの計画も進行している。



01 多色照明システムコントローラーとプロジェクションマッピング用Mac。将来的には音も同期させる予定。



02 アテルイ本体へのプロジェクションマッピング用プロジェクター。Macで再生される動画がこのプロジェクターを通して投影される。



03 多色照明システム。舞台用のLED照明を使用しており、その無制限色調再現は、カラフルなアテルイの姿を作り出す。



04 アテルイ外観ホワイト。



05 アテルイ外観ブルー。



06 レインボーカラーのアテルイ。6台の多色照明それぞれが独立して調光できるので、このような表現が可能になった。手前はコントローラ。



“NS-04 ATERUI”の由来

小久保英一郎 (天文シミュレーションプロジェクト)



アテルイ（阿弭流為）は奈良時代終りから平安時代始め（約1200年前）に現在の水沢付近に暮らしていた蝦夷の首長の名前です。朝廷の大規模な軍事遠征に対して、少数の蝦夷をまとめ勇敢に戦った英雄で、地元で知らない人はいません。水沢に設置される新しいスーパーコンピュータも、その計算能力を活かして果敢に宇宙の謎に挑んで欲しいという思いを込めてアテルイという愛称をつけました。NS-04という型番のNSは国立天文台（NAOJ）のスーパーコンピュータ（Supercomputer）、04はその第4世代であることを意味します。筐体左に描かれているアテルイのロゴは篆書の阿弭流為を電子回路のようにデザインしたものです。スーパーコンピュータ室のアテルイは虹色に輝いています（11ページ参照）。ぜひ一度その雄姿をご覧ください。



アテルイ筐体化粧板のデザインコンセプト

小阪 淳 (美術家)

スーパーコンピュータ「アテルイ」は、凄まじい量の計算によって、これまでにない精度で流体や粒子のふるまいを調べることができます。コンピュータの中に、膨大な量の計算によって仮想の世界が構築される状況に倣い、今回は現実のコンピュータの筐体上に仮想のコンピュータが活動する姿を描きました。コンピュータの筐体の凹凸が、仮想の世界では無数の襞となって、その襞の隙間から宇宙が生まれていくプロセスを絵巻物のように表現しています。左から右に行くに従い、シンプルな要素が複雑化していくのです。

コンピュータはどんなに働いても、その状態を表面に表わすことはありません。現在のテクノロジーでは、そんな無口なコンピュータに表現力を与えることもできます。将来的にはアテルイの活動の状態を視覚的にリアルタイムで表すようなプロジェクションマッピング（物をスクリーンとしてプロジェクターで映像を投影する手法）を筐体に施すと面白いのではと考えています。



Kosaka Jun

アテルイと共働する 三鷹の共同利用計算機システム

スパコンXC30は水沢にあっても、国立天文台の共同利用計算機システムの中心は依然として三鷹地区にあります。ここでは三鷹にあるサーバ群や専用計算機群を紹介します。

画像の撮影と解説：岩城邦典（天文情報センター出版室）

新しいスパコンXC30（アテルイ）の水沢VLBI観測所への設置により、CfCAが運用する共同利用計算機はすべて水沢に移ったと誤解されることもありますが、CfCAの共同利用計算機の中心は依然として三鷹にあります。XC30と並行して運用されるデータ解析用のサーバ、計算結果を保管する大規模なデータストレージ、重力多体問題専用計算機GRAPE群、小規模計算専用のPCクラスタ、そしてそれらを含むネットワーク機材などはいずれも三鷹での運用が続いており、運用人員も三鷹に駐

在します。こうした周辺機材が無ければアテルイの使い勝手は極めて悪く、利用者にとって不便な計算環境しか提供できないでしょう。本稿ではこうした三鷹機材の紹介をします。なおここで特筆すべきは、これらの機材が計算機ベンダからのレンタルではなく、基本的にすべて国立天文台職員による自前構築と自前運用が行われていることです。CfCAではより高い水準での計算機共同利用環境を提供できるように、職員の技術的研鑽が日々続いています（伊藤孝士）。

解析サーバとファイルサーバ 松本 仁（天文シミュレーションプロジェクト）

天体現象を理解すべく行われた数値シミュレーションの計算結果は、数値データとして出力されます。計算しただけではただの数値の羅列でしかないため、行ったシミュレーションを意義あるものにするためには計算後のポストプロセスである解析が非常に重要になってきます。

CfCAでは、数値シミュレーション、計算データの保存、データ解析を包括的に行えるよう各計算機システムに加え、解析サーバ及び大規模なデータストレージを自前で構築・運用し利用者に提供しています。解析サーバには多数の演算コア、大容

量のメインメモリと各種解析・可視化ソフトウェアがインストールされており、CfCAの共同利用計算機のアカウントを持つ全ての利用者が使用することができます。また解析サーバにはロックマウントサーバにより構成された大規模データストレージが10GbEの高速ネットワークで接続され、一体のシステムとして運用しています。現在、解析サーバは7台、ファイルサーバの総容量は1.2PBで運用していますが、利用者の要望に答え、近日中にそれぞれ解析サーバは30台、ファイルサーバの容量は2PBに拡張（将来的には更に何倍かに増強）していく予定です。



01 解析サーバ（ラック上）とファイルサーバ（ラック下）。スタッフの木村さんが手にしているのは、サーバに実装されている神田明神ITお守り（左上は、その拡大画像）。



02 ファイルサーバ。RAID6で冗長化。サーバ1台あたり4TBのHDDを36台搭載し、120TBのデータストレージを構成。



06 解析・ファイルサーバラームの守り神は深大寺のお札。元三大師降魔札は、家の門口に張ると、疫病厄災を除くと言われる。



03 解析サーバ。サーバ1台あたりメインメモリ64GB、12コアCPUが2基搭載されている。



04 解析サーバに接続される光ケーブル（オレンジの配線）。各解析サーバ、ファイルサーバは10GbEの高速回線で結ばれている。



05 10GbEのエッジスイッチ（写真最上段：ネットワーク末端で外部の回線や端末などの接続に用いられるもの）。

計算サーバ 松本 仁 (天文シミュレーションプロジェクト)

計算サーバは、64ノード総プロセス数256からなる小規模計算専用のPCクラスタです。CfCAで自作しており、画像からわかるように各ノードがマザーボードむき出しの状態です。メタルラックに並べられた非常にユニークな外観をしています。

最先端の数値シミュレーションの中にはXC30のような大型の並列スーパーコンピュータにもGRAPEのような専用計算機にも馴染まない、本能的に小規模・非並列型ですが長時間を要するものが幾つも存在します。計算サーバはそのような長い時

間を要する数値シミュレーションの実施プラットフォームとして利用されています。1つの計算を数ヶ月間連続して実行することもできます。1人当たり最大で64プロセスの計算を同時に行うことができるのも他のシステムにはない特徴です。

また、計算サーバは、大規模な並列計算をする前の数値シミュレーションの入門機としての役割も担っています。利用者からのニーズに合わせ、計算ノードは逐次増設を予定しています。



01 (左上) CfCA 計算機室。左手前が計算サーバ。GRAPE (16ページ参照) も同じ部屋に設置されている (右奥のラック)。運用を終えたCray XT4システムや NEC SX-9システムが撤去され、新たにGRAPEを設置。/ 02 (右上) メタルラックに並ぶ、むき出しの計算サーバ。空冷式のため、ケースレスにして冷却効率を向上させた。/ 03 (右) むき出し効果その2。各種ケーブルの取り回しやアクセスがしやすく、計算サーバの増築・改修も容易。



04 (左上) スタッフの松本さんが増設組立中。接続しているケーブルの保護被覆は、アテレイのものに似ているような…。
 05 (左) コンソール端末から計算サーバにログイン。計算サーバの状態はどうか？
 06 (中上) スタッフの木村さんが端末から計算ノードの状況を監視中。安定運用に思わずニコリ。
 07 (中) 安全祈願のダルマをもつ木村さんとスタッフの福土さん。水沢にも同じ物がありました (11ページ参照)。
 08・09 (右上・右) 光る計算サーバ。暗闇で光り輝く計算サーバのようすは、部屋の外からガラス窓を通して見ることができます。

GRAPE 押野翔一 (天文シミュレーションプロジェクト)

GRAPEは重力多体問題専用計算機です。重力多体問題では粒子間に働く重力をすべての粒子ペアで計算しなくてはなりません。そのため原理的にはその計算量は粒子数の2乗に比例して大きくなってしまいます。重力多体問題の計算ではこの重力計算部分が最も計算時間が掛かる部分です。そこで、この重力計算を高速に計算する計算機としてGRAPEが作られました。GRAPEは専用計算機ですので、普通のパソコンと違い重力しか計算することが出来ません。そのかわり重力計算に特化することで普通のパソコンよりはるかに高速に重力多体問題を計算できます。

GRAPEは「GRAVity Pipe」の略称です。この重力計算をパイプライン処理するというアイデアは1988年に野辺山宇宙電波観測所に在籍されていた近田義広さんによって提唱されました。近田さんはもともとFXデジタル分光相関器など電波観測用の専用計算機を開発されていました。

現在、天文シミュレーションプロジェクトではGRAPE-7

とGRAPE-DRという2種類のGRAPEを運用しています。GRAPE-7は無衝突系と呼ばれる、銀河系や宇宙論的構造形成などの計算用のGRAPEです。最近では土星のリングシミュレーションなどにも利用されています。GRAPE-DRは衝突系と呼ばれる、粒子の相対速度が速かったり、粒子密度が高い重力系で使用されるGRAPEです。このような系には球状星団や惑星形成の計算などがあります。また、天文シミュレーションプロジェクトでは最新のGRAPE-9の導入を進めています。

天文シミュレーションプロジェクトでは毎年1月ごろに天文データセンターの協力を得て学生向けにGRAPEの講座を開設しています。これは「N体シミュレーション学校」と呼ばれており3日間の講義と実習の授業で実際に研究に利用できるGRAPEのプログラム作成を行っています。

「N体シミュレーション学校」の様子については国立天文台ニュースにも掲載されています(国立天文台ニュース155、189、202、212、223、237号参照)。



02 (左) GRAPE-7システム。むき出しの状態……ではなく、ケースに納められている。そのためがフロントに空冷用の大きなファンを3つも搭載。(上)は、GRAPE-7の内部(修理中)。ケースに入っているもの、天井や背面はフリーなので、アクセスはしやすい。

01 GRAPE-DRシステム。計算サーバー同様にむき出しの状態では無く、メタルラックに納められている。2階建てのボードが特徴。



04 テスト中のGRAPE-9。今年度導入予定。



03 GRAPE-9の筐体外観。将来的には黒ケースに納められたGRAPE-9が、この写真のように金属ラックに並べられる。



解析&ファイルサーバとCfCAスタッフのみなさん。左から押野翔一さん、松本 仁さん、木村優子さん、福士比奈子さん。

アテルイを支える高速通信ネットワーク

水沢に設置されたアテルイの性能をフルに引き出し、その共同利用を支障なく支えるためには高速通信ネットワークの整備が欠かせません。ここでは、アテルイの水沢設置を可能とした10Gbの広帯域情報インフラについて紹介します。



北のアテルイをサポートするJGN-Xネットワーク

大江将史 (天文データセンター)

ここではCfCAプロジェクトが運用するアテルイを支える高速ネットワークを利用した研究をご紹介します。

国立天文台は、観測装置や計算機をつないだ情報ネットワークを整備・運用しており、この情報ネットワークは、科学的成果を支える裏方として重要な役割を担っています。アテルイの導入前において、CfCAが運用する共同利用計算機システムは、国立天文台三鷹本部（三鷹地区）内において整備されてきましたが、アテルイは、岩手県奥州市の水沢観測所（水沢地区）内に整備されることとなりました。一方で、計算結果を保管するファイルサーバや他計算サーバなどは、国立天文台三鷹本部（三鷹地区）で整備されます。このため、三鷹地区の各種システムと水沢地区のアテルイの間で高速（広帯域）な情報ネットワークが求められました。

そこで、天文データセンターでは、(独)情報通信研究機構（NICT）からの協力により、アテルイの導入に合わせて、水沢地区をNICTのJGN-Xプロジェクトが運用するJGN-Xネットワークに10ギガビット毎秒の高速ネットワーク回線にて接続いたし

ました。

JGN-Xは、新世代ネットワーク技術の実現とその展開を目的とした研究開発用ネットワークを国内外に構築し、研究開発環境も整備しています。そして、未来のインターネットや情報ネットワークに必要な情報通信技術の研究・開発・実証を行っています。つまり、アテルイの導入に合わせて、水沢地区もその研究開発用ネットワークの一翼を担うことになりました。

今、NICTと国立天文台は、アテルイに加えて、VERAプロジェクトのVLBI、東日本大震災からの復興を情報通信技術で支援するために運用されている震災復興データセンター等でもやり取りされるネットワーク通信を対象として、新世代に求められる通信技術を共同で研究しています。この研究では、100ギガビット毎秒を超える通信量をリアルタイムに処理する計算機を利用して、JGN-X上で流れる通信を高度に制御することで、効率よくネットワークを利用する仕組みの研究と実証を行っています。

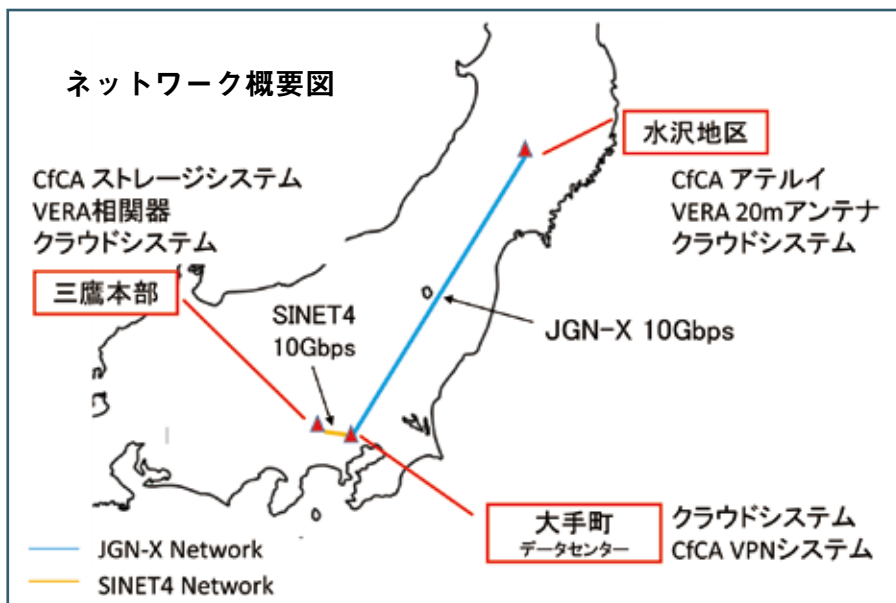


アテルイを接続するネットワーク機器（上）と基幹ネットワーク機器（下）。

ちなみに、皆さんとJGN-Xは縁遠い関係に思えますが、実はそうでもありません。たとえば、2009年の硫黄島からの皆既日食の生中継映像は、通信実験衛星「きずな」やJGN2plus（JGN-Xの前身プロジェクト）ネットワーク等、様々な最先端の通信技術を駆使して、NHKや民放などのテレビ局や科学館等へ生中継いたしました（国立天文台ニュース2009年10月号参照）。つまり、見えないところではありますが、重要な天文イベントを通して、JGN-Xと皆さんはご縁があったのではないかと思います。

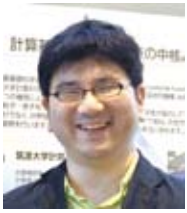
天文学としては、皆さんから見えない裏方ではありますが、本研究は、国立天文台内の各種プロジェクトにおける科学成果を支える情報ネットワークとしての役割に加えて、皆さんの生活の中に溶け込んでいるだろうインターネットに必要とされる新世代の技術も併せて研究するという挑戦的な計画となっております。これからも応援をよろしくお願い申し上げます。

水沢観測所～東京大手町～三鷹本部が、10ギガビット毎秒の高速回線で接続されている。



アテルイが拓くサイエンス

天文計算専用機として世界一の性能をもつアテルイは、最高の「理論の望遠鏡」のひとつです。より多くより細かくより速い計算によって、シミュレーション天文学の新しい宇宙を拓きます。研究者のアテルイに寄せる期待を紹介します。



アテルイで花ひらいた！ 超新星の3次元シミュレーション

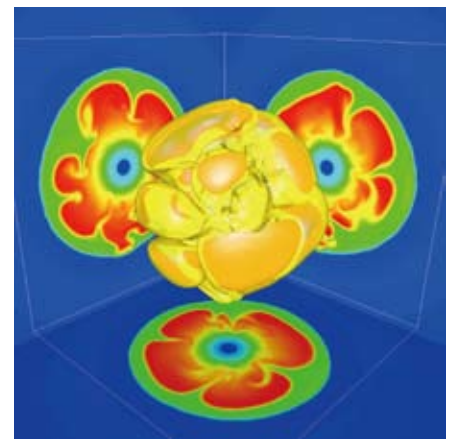
滝脇知也 (天文シミュレーションプロジェクト・理論研究部)

太陽のおよそ10倍より重い星は、赤色巨星まで進化したのち、中心が重力でつぶれて中性子星を生み出す。この出来たばかり中性子星から高エネルギーのニュートリノが吹き出し、中性子星の外側の物質を吹き飛ばす現象が超新星爆発だろうと考えられている。ただし、実際にこのシナリオに従って爆発しているのかどうかはまだ分かっていない。シミュレーションをしてみると爆発するはずの星が爆発しないのである。これは我々の知らない物理過程が働いているせいである可能性もあるが、これまでのシミュレーションに現実を再現できるほどの精度があるのかを疑うべきであろう。これまで先代のXT4などで行われてきた計算は星の形状を回転軸に沿って軸対称に仮定するなど「非現実的な仮定」を用いて

計算量を減らしていた。我々はXT4でそうした仮定を取り除き世界初の3次元計算も行ったが空間解像度が低く、やはり現実的な計算になっていなかった。

今回アテルイを用いた計算によって、太陽の13倍重い星がニュートリノで加熱され、爆発する様子が再現できた。図はエントロピーを可視化したもので、熱い爆風の部分に赤い色を付けている。今回の計算は前回のおよそ100倍の規模の計算資源を使用し、世界最高の空間解像度 $\times (384 \times 144 \times 304)$ を達成している。超新星爆発のシミュレーションに必要なニュートリノの輸送は非常に難しい問題であり、この結果がすぐに最終結論とはならないが、アテルイの莫大な計算力を用いることで天体シミュレーションが現実を捉えつつあるのは

確かである。今後の成果にもご期待いただきたい。



アテルイを用いた超新星爆発のシミュレーション画像。世界最高の空間解像度を達成している。



アテルイが切り拓く 輻射流体力学シミュレーションの新境地

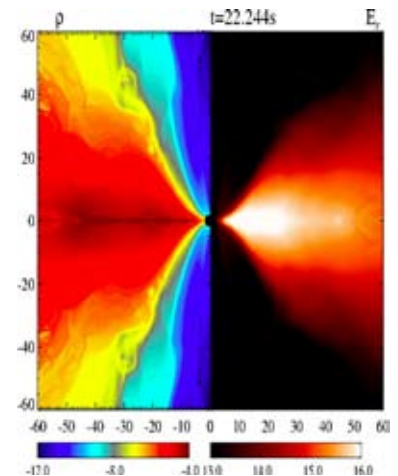
大須賀 健 (天文シミュレーションプロジェクト・理論研究部)

宇宙物理学の諸問題において輻射流体力学の重要性は論を俟たない。輻射輸送および輻射とガスの相互作用が系の進化に影響を与えるし、そうでない場合でも(重力波を除けば)我々が観測できるのは輻射だけである。しかし、膨大な計算量のため正しく輻射場を解くのは困難であり、これまでではエディントン近似やFlux limited diffusion (FLD) 近似を採用せざるを得なかった。

このような状況を打破すると期待されるのがアテルイである。その計算機パワーでより現実に近い輻射場を求めることが可能となる。我々はM1 closure法で輻射場を求めつつ、相対論効果も取り入れたシミュレーションでブラックホール周囲のガス降着・噴出現象を調べる計画である(図はその一例)。光ビームの発生やそれに伴

うジェット加速、輻射抵抗によるガス噴出流の速度減少といった新たな知見が得られると期待される。高エネルギー天体の謎を解き明かし、巨大ブラックホールの成長過程および巨大ブラックホールと銀河の共進化問題を解明する第一歩となるであろう。さらには、輻射intensityをダイレクトに解く厳密法によるシミュレーションも計画している。はるかに重い計算となるが、アテルイの計算能力をもってすれば試験的な研究は実現可能と期待される。スパコン「京」と組み合わせて使えばさらに発展的な研究が可能となるだろう。

以上のように、アテルイの稼働は輻射流体力学シミュレーションによる宇宙物理学研究の新境地を開拓すると期待されるのである。



相対論的輻射磁気流体シミュレーションによるブラックホール周囲の降着・噴出流の断面図(高橋&大須賀 in prep.)。分厚いガス降着円盤(左パネルの赤)の上空にジェット(左パネル青)が発生している。右パネルは輻射エネルギー密度。



アテルイ時代の宇宙論的シミュレーション

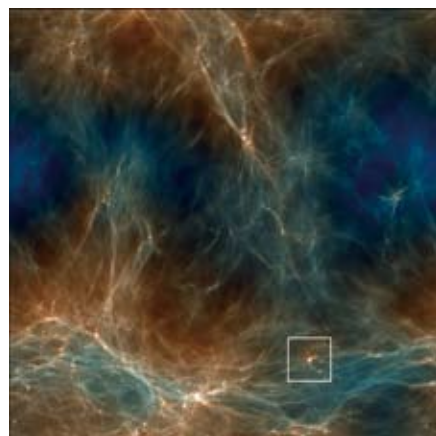
石山 智明 (筑波大学計算科学研究センター 神戸分室
／理化学研究所 計算科学研究機構内)

宇宙論的N体シミュレーションは、宇宙の大規模構造、ダークハローの構造進化、銀河形成などの研究に幅広く用いられている。XT4に比べアテルイは、数十倍の粒子数をシミュレーションできるパワーがあるので、アテルイ時代前後で、表現できるボリューム、または質量分解能は数十倍となった。

準解析的銀河形成モデルでは、シミュレーションで得られたハローの形成史をベースに、銀河のいわゆる模擬カタログを生成する。XT4では粒子数80億で、400Mpc立方程度のボリュームをカバーするカタログを生成するのが限界であったが、アテルイでは最大粒子数1000億程度で、1Gpc立方に匹敵するボリュームのカタロ

グを生成することが可能となる。それによりはじめて、すばる望遠鏡のHSCがもたらす広い天域にわたる観測結果と比較できるような、銀河とAGNの模擬カタログが得られる。そしてそれぞれの分布や、空間相関などの理論予測が可能となる。

またハローの構造についても、分解能が数十倍になることにより、物理的に最小のハロー（ダークマター素粒子の自由運動の大きさによって決まる）を分解した上で、より大きいハローの構造形成、進化過程を追うことが可能となる。我々の銀河が住むハローの中での最小ハローの分布といったダークマター微細構造が明らかになり、ダークマター検出に向けた手がかりとなることが期待される。



アテルイ上で実行した、粒子数687億の宇宙論的N体シミュレーション。宇宙初期($z=32$)のダークマターの分布で、最小のハローとそれが合体してできるより大きいハローが無数形成している。図中右下の白枠は、XT4で計算することができたボリュームのイメージである。アテルイにより、さらに大きいボリュームのシミュレーションが可能となり、大きいハローの中での最小ハローの分布などを調べられるようになった。



アテルイによる天体プラズマ数値実験から探る地球の過去、現在、未来

鈴木 建 (名古屋大学 大学院理学研究科)

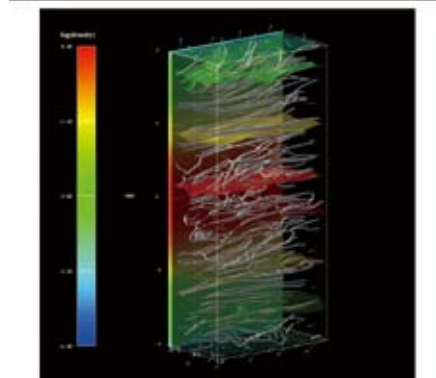
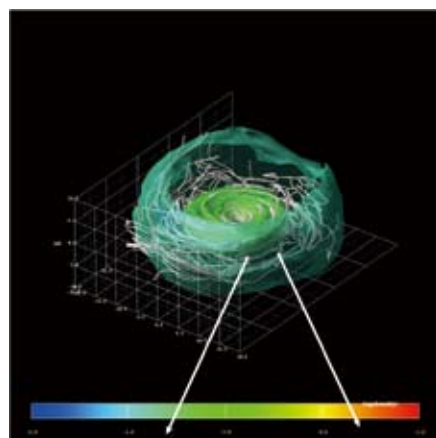
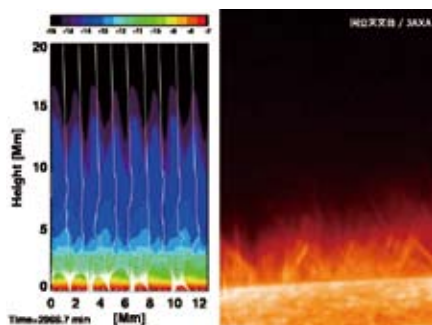
私自身はこれまで、天体外層や周囲の磁気流体プラズマ過程の理解に、理論的側面から取り組んできた研究者です。先代の三鷹設置のCray XT4の時は、256のCPUコア数を使用した並列計算で、太陽コロナや太陽風(図1)、そして原始惑星系円盤(図2)の数値実験に勤しんできました。

それが今回の「アテルイ」の導入で、4096コア(や8192コア)を使用した並列計算が常時行えるようになりました。1コアの性能も若干上がっていることと合わせて、体感的には一気に30倍(から60倍)速くなった印象です。3次元空間の時間進化を追う数値実験の場合、同じ領域を2倍の解像度にして同じ時間までシミュレートすると、空間3次元と時間1次元を合わせた4次元分の寄与のため、同じ計算機で $2^4=16$ 倍の計算時間が掛かることとなります。30(～60倍)の高速化は、2～3倍の解像度の4次元望遠鏡を手に入れたことと等価です。

上記の太陽コロナや原始惑星系円盤では、計算解像度ギリギリの小スケールの磁気流体乱流によるエネルギー輸送が、大局的な流れや加熱、そして実際に観測される放射

までも支配し得ることが分かって来ました。すなわち、計算の解像度を上げ小スケールの乱流現象まで分解して数値実験することにより、観測を予言したり説明する数値実験の結果が定性的にも影響を受ける可能性があります。

原始惑星系円盤の計算は、我々の地球の形成や進化の理解に直結する研究です。また、太陽風は日々地球に吹き付けており、太陽の形成以来の太陽風の時間進化の調査は、地球上の生命の誕生や進化の理解に必要不可欠だと考えています。今後、このような宇宙の現象が地球や生命に与える影響の理解を目指し、「アテルイ」を用いた研究に取り組んでいく所存です。



太陽コロナ・太陽風(図1・左)と原始惑星系円盤(図2・上)のシミュレーション画像。ともに先代のCray XT4の数値実験によるものですが、アテルイを用いれば時間、空間各方向がそれぞれ2～3倍の解像度の向上が望めます。[図1 松本、鈴木2012(を改変)／図2 鈴木、犬塚2009,2013(を改変)]



磁気乱流状態にある降着円盤の内部構造と熱力学の研究

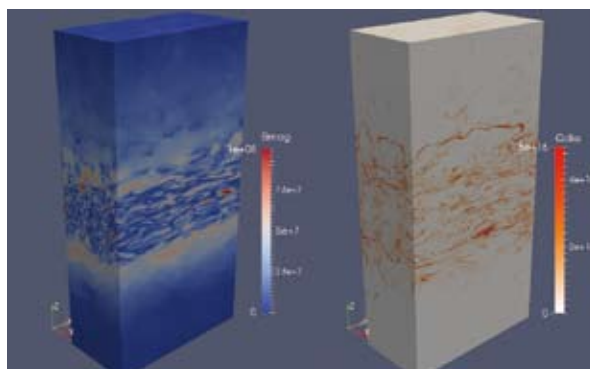
廣瀬重信 (独立行政法人海洋研究開発機構)

コンパクト星や原始星の周囲に形成される降着円盤は、一般に、磁気乱流状態にあると考えられています。この磁気乱流によるストレスが角運動量を外側へ輸送することで、円盤ガスは中心星に落下し、そのとき解放される円盤ガスの重力エネルギーは、磁気乱流を通じて散逸、最終的に円盤表面から輻射として放出されます。この一連のプロセスが、宇宙における様々な高エネルギー現象・活動現象の「エンジン」である降着円盤の素過程です。しかし、磁場・乱流・輻射輸送という、どれも一筋縄ではない物理が複雑に絡んでいるため、その理解は容易ではありません。

そこで、私はアテルイを用いた輻射磁気流体力学シミュレーションによる研究を進めています。具体的には、降着円盤の一部

をシミュレーションボックスに設定し、そこでの磁気乱流の駆動・散逸と輻射輸送を詳細に再現します。ここで着目するのは、面密度（ボックス内のガスの量）に応じて、降着円盤の内部構造と総エネルギー散逸率がどのように変わるかという点です。特に、面密度と総エネルギー散逸率の相関は熱平衡曲線と呼ばれ、降着円盤の熱力学的性質を表す基本的かつ重要な関係（恒星で言えばHR図に相当するもの）です。このような熱平衡曲線の「第一原理計算」は、以前のXT4では難しく、アテルイの性能と運用法でようやく現実

的になりました。これをもとに、降着円盤が環境（＝中心星）の違いによって見せる多様性を統一的に理解することが、本研究の目標です。



降着円盤における磁気乱流の構造（左：磁場強度分布、右：磁気エネルギー散逸率分布）。



昨日の虫取り、今日の計算、明日の論文もしくは虫取り

小久保英一郎 (天文シミュレーションプロジェクト長)

アテルイとシミュレーション天文学の世界、いかがでしたでしょうか。スーパーコンピュータやシミュレーション、そしてCfCAを少しでも身近に感じていただけたらうれしく思います。

これまで見てきたように、シミュレーションは様々な物理過程が複雑に入り組んだ天体現象を調べるための強力な武器になります。しかし、コード（プログラム）や初期条件に間違いがあっても何かしらの答えが出る

という怖い面もあります。新しい結果が出てすわ大発見かと喜び、よくよく確認すると計算が間違っていた、ということはよくあります。シミュレーションを行う研究者は、計算精度は足りているか、結果が物理的におかしくはないか、など慎重に確認しながら計算を進めているのです。シミュレーションというと、きれいな図や動画を使ったりして華やかな感がありますが、その裏では血の滲むようなコード開発やデバッグ（虫取り＝コー

ドの間違い除き）などのどろくさい作業があるのです。こうして得られた、物理を正しく捉えた計算の仕方によらない普遍的な結果が論文として結実するのです。

今回紹介したCfCA共同利用計算機システムはこれから4年半の間運用されます。その間、アテルイを中心にかつてない大規模・高精度なシミュレーションが多数実行されることになります。それによって様々な天体の形成や進化が次々と解き明かされていくことでしょう。CfCAも理論の「望遠鏡」を運用する理論の「観測所」として、ますます使いやすく高性能なシミュレーション環境を提供できるように努力していきたいと思っています。

今日もアテルイは稼働率90パーセント以上で計算を行っています。数値の宇宙の中では銀河が渦巻き、星が爆発し、惑星が生まれています。明日にはこれまで見たことのない宇宙の姿を見せてくれるかもしれません。



CfCAの運用メンバー（ここに写っていない大須賀さんはp18参照）。

天文台の

匠 たち

file02

石川利昭(RISE月惑星探査検討室)

インタビュー 岩城邦典(天文情報センター出版室)

(岩城) 昭和48年からという今年でちょうど40年目ですね。それは凄い。まさに計算機システムの初期の頃からずっと面倒を見てきた(笑)訳ですが、最も印象深かった計算機システムはどれだったでしょうか。

(石川) 私は昭和48年(1973年)に、天文台水沢：当時の文部省緯度観測所に研究補助員として入所しました。そのとき、緯度観測所には既に電子計算機システムが導入されてまして、その二代目から計算機システムの運用に携わるようになりました。それから現在に至るまで水沢の計算機システムやネットワークシステム、メールシステム等の運用・管理の仕事を続けています。最近では、特集記事にもあるように、4月に運用を開始したスーパーコンピュータ「アテルイ」の導入に関わり、高速ネットワーク回線の利用に関する検討などを行っています。

(岩城) 天文台の匠たち、シリーズの第2回目は、水沢観測所の計算機システムを40年にわたり支えてきたRISE月惑星探査検討室の石川利昭さんにお越しいただきました。今日はよろしくお願ひします。まずはじめに、どのような仕事をされているのか教えてください。

(石川) いやあ、どれも印象深くって。初期のシステムは東芝のTOSBAC3400というカード式のバッチ処理システムでした。プログラマは研究者の方が自分でカードパンチしていましたが、大量のデータは専門の穿孔係がカードにパンチしました。そして、これをJOBとしてバッチリーダで読み込ませて処理をする...出力用紙を確認し、どこぞまでお返しするというのが、当時の計算機オペレータの仕事でした。ところが、カードリーダの調子が悪くて詰まっちゃったりすると、当時、保守員は仙台で、故障すると連絡して来てもらっていましたが、だんだん経過してくると、こうすれば直るから石川さん見てくださーいということになりました。(笑)。

(岩城) かなり人力に頼っていた時代ですね。

(石川) ええ、最初はかなり人力でした。ですから、80年代に三菱のシステムが端末入力になった時は、オペレータがカードリーダを操作しなくてもいいんだ...という変化が大きかったですね。その後日立のシステムに替わり、90年代にネットワークが導入されて端末が研究者に一人一台配られるようになると、仕事内容もシステムや端末の対応、ネットワークの運用へと変わっ

(石川) いやあ、どれも印象深くって。初期のシステムは東芝のTOSBAC3400というカード式のバッチ処理システムでした。プログラマは研究者の方が自分でカードパンチしていましたが、大量のデータは専門の穿孔係がカードにパンチしました。そして、これをJOBとしてバッチリーダで読み込ませて処理をする...出力用紙を確認し、どこぞまでお返しするというのが、当時の計算機オペレータの仕事でした。ところが、カードリーダの調子が悪くて詰まっちゃったりすると、当時、保守員は仙台で、故障すると連絡して来てもらっていましたが、だんだん経過してくると、こうすれば直るから石川さん見てくださーいということになりました。(笑)。

表1:水沢観測所における計算機システムの歴史

| | | |
|--------|------------------------|------------------|
| 1967年～ | 東芝 TOSBAC3400モデル30 | バッチ処理 |
| 1972年～ | 東芝 TOSBAC3400モデル31 | |
| 1974年～ | 東芝 TOSBAC3400モデル51 | |
| 1978年～ | 日電東芝 TOSBAC ACOS 600 | |
| 1981年～ | 三菱 MELCOM COSMO 900 II | TSS端末利用 |
| 1985年～ | 日立 M280D | |
| 1990年～ | 日立 M680H | イーサネット、WS端末 |
| 1996年～ | 日立 SR2201 | |
| 2000年～ | IBM RS6000/SP | X端末利用、LAN100Mbps |
| 2006年～ | アルゴグラフィックス IBM p-570 | |
| 2008年～ | SGI Altix450 | |
| 2013年～ | 富士通 PRIMEQUEST 1800E2 | |
| 2013年～ | Cray XC30 | ネットワーク10Gbps |

(岩城) 技術革新で仕事内容も変わっていったんですね。初めてネットワークを導入した時はどんな感じでしたか？

(石川) 最初はネットワークでどこまで利用できるのかよく分からなかったですね。メールはやはりよく使われましたが、このとき導入したグループウェアは結局ほとんど使われなかったです(笑)。

(岩城) 今回は10Gbpsの高速ネットワーク回線とスーパーコンピュータ「アテルイ」が導入されましたが、どのような事に注意されていますか？

(石川) スパコンに関してはすべてCFC A(三鷹)が対応されています。メンテナンスに関してはシステムが自動診断で障害箇所を切り離して運用し、メーカが適宜対処するので、天文台スタッフに関わることは無いようです。水沢で対応が必要となるのは、設備的な面とネットワークで、迅速に対応しなければと考えています。それと10Gbpsの高速ネットワーク回線、これはNICのJGNI-X回線を利用しているのが検討されています。VLB観測データの伝送や震災復興支援、各種コンテンツの提供等が挙げられていますが、今後はこちらの方でも協力できればと思っています。

(岩城) 最後に、若い技術者の方に一言メッセージを。

(石川) JAXAの川口淳一郎先生が、2013年のよみこみ運動記念講演会で、『あのでかいロケットを打ち上げる動力は、実はエンジンじゃない。人間の魂だ。』というオルドリフン(アポロ11号の飛行士)さんの言葉を話されています。私もSELENEプロジェクトに関わらせていただき同様のことを感じました。

若い技術者の方には、夢をもち、それに向かって挑戦し続けることが仕事と人生を豊かにするとお伝えしたいです。

(強い意志をもって挑戦し続けた者の自戒の弁)

ていきましたね。水沢の計算機共同利用が本格化したのもこの頃です。



計算機オペレーション:1975年頃
プログラム入力はJOBカード!



3次元グラフィック装置導入:1981年
MELCOM COSMO 900IIの3次元グラフィック装置を操作



私を変えた思い出の一品:さ・え・ら伝記ライブラリー1
「宇宙を開発した人々」 関口直甫 さ・え・ら書房

●年俸制職員



石川遼子 (いしかわりょうこ)
所属：ひので科学プロジェクト 特任助教 (国立天文台フェロー)
出身地：山口県

4月1日付けでひので科学プロジェクトの特任助教(国立天文台フェロー)に着任いたしました。東京大学の天文学専攻で博士号を取得後、国立天文台にて2年間、日本学術振興会特別研究員として研究を行ってきました。これまで、太陽観測衛星「ひので」のデータを使って、太陽表面の微細磁場に関する観測的研究をすすめてきました。さらに今は、国際共同ロケット観測実験CLASPの開発にも励む毎日です。次期太陽観測衛星Solar-Cを見据え、プロジェクトの中で揉まれつつ、刺激的な日々を過ごしています。



田中賢幸 (たなかまさゆき)
所属：ハワイ観測所 (三鷹) 特任助教 (国立天文台フェロー)
出身地：千葉県

4月1日にハワイ観測所に着任しました。よく驚かれるのですが、天文台勤務は初めてです。新参者ですのでお手柔らかにお願いします。主に銀河と活動銀河核の進化を研究していて、近々始まるHyper Suprime-Cam (HSC) のサーベイに今後は研究の重みを置く予定です。このHSCデータでは様々なサイエンスができるので、今までの研究にこだわらず、より幅の広い研究をしてきたいと思っています。よろしくお願いします。



新永浩子 (しんながひろこ)
所属：チリ観測所 特任准教授
出身地：埼玉県

4月1日からチリ観測所ALMA Regional Center (ARC) で仕事しております新永です。長い間、海外で活動しておりました。台湾の中央研究院天文及天体物理研究所、アメリカでは、ハーバード大学観測所・スミソニアン天体物理観測所天体物理学センター、カリフォルニア工科大学で働きました。この間、サブミリ波干渉計 (SMA)、カリフォルニア工科大学サブミリ波観測所 (CSO) を主に用いて、サブミリ波天文学の研究を推進しました。ALMAは人類の叡智を結集して実現した究極のミリ波サブミリ波望遠鏡で、このプロジェクトで働く機会を与えられたことに心から感謝しています。日本、東アジアのALMAプロジェクトの発展のために、貢献します。どうぞよろしくお願いします。



永井 洋 (ながいひろし)
所属：チリ観測所 特任助教
出身地：神奈川県

4月1日付けでチリ観測所特任助教に着任しました永井 洋です。前職の国立天文台研究員に引き続き、チリ観測所でALMA望遠鏡の推進に携わっています。ALMA 東アジア地域センター (ARC) におけるユーザーサポートに加え、チリ現地に赴いて望遠鏡システム評価活動ならびに科学評価活動に参加しています。世界中の研究者と協力して (時には喧嘩もしながら)、ALMAの能力を高めていく仕事は大変エキサイティングでやりがいを感じます。専門分野は大質量ブラックホールからの相対論的ジェットを観測的研究です。ALMAが得意とするミリ波・サブミリ波観測により、これまで見えていなかった新たなジェットの姿を描き出すことを目指しています。



竹腰達哉 (たけこしたつや)
所属：野辺山宇宙電波観測所 特任研究員
出身地：北海道

北海道大学にて博士号を取得し、4月より野辺山宇宙電波観測所に特任研究員として着任しました。観測所では、ASTE望遠鏡に搭載するための多色連続波カメラの開発を行っています。野辺山には大学院生の時から滞在していましたが、これまでより主体的にカメラ開発に貢献していきたいと思っています。ASTEでの本格的な運用はこれからですが、たくさんの人に使っていただき、多くの成果を出すことができばうれしいです。また、これまでの研究経験をいかして、自らも連続波カメラを使ったサイエンスをリードしていけるようにがんばりたいと思います。



三浦理絵 (みうらりえ)
所属：チリ観測所 特任研究員
出身地：鹿児島県

4月1日付けでチリ観測所の研究員に採用されました。2012年5月に東京大学大学院博士課程を修了後、産休・育休を取っておりました。現在1歳になった息子の子育てをしながら勤務・研究を行っています。専門は電波天文学、巨大分子雲中での大質量星形成に興味があります。国際プロジェクトであるALMA望遠鏡の立ち上げにできるだけ貢献できるように努力していこうと思いますので、よろしく願いいたします。



吉田鉄生 (よしだてっせい)
所属：天文データセンター 特任研究員
出身地：神奈川県

4月1日付けで天文データセンター特任研究員 (SMOKAプロジェクト担当) に着任致しました吉田鉄生です。SMOKAはハワイや日本各地にある天体望遠鏡で得られたデータを世界へ公開しているアーカイブシステムであり、現在まで140本を超える論文で使用されています。私の大学院生時代の指導教官が天文データアーカイブに深い理解を持っていたことから、私自身もアーカイブシステムに興味を持っていました。この度、SMOKAの運用に関われることを大変嬉しく思います。昨年度まで同センターで研究支援員として勤務していた経験を活かして運用に参加していきますので、どうぞよろしくお願いします。



山口正輝 (やまぐちまさき)
所属：JASMINE 検討室 特任研究員
出身地：鳥取県

4月1日付けでJASMINE検討室に研究員として着任致しました、山口正輝と申します。昨年度3月に大阪大学で博士号を取得し、今年度研究員1年目となります。専門分野は高エネルギー宇宙物理学で、主な研究テーマはガンマ線連星における放射機構です。天文台での主な業務は、「小型JASMINEで何が明らかにできるのかを考えること」です。この研究は、ガンマ線連星研究だけでなく、この宇宙にあまねく存在する連星系、さらには惑星系の研究にも大きなインパクトを与えうると考えています。小型JASMINEの可能性を広げるために、連星に限らず天文学の幅広い分野について考えて行けたらと思っています。



西塚直人 (にしづか なおと)

所属：ひので科学プロジェクト 特任研究員

出身地：兵庫県

4月1日付けでひので科学プロジェクト特任研究員に着任しました西塚です。前任地はJAXA宇宙科学研究所(相模原キャンパス)で、太陽観測衛星「ひので」の運用と科学成果創出に取り組んできました。天文台でもよく似た職務内容ですが、英国MSSL/UCLと協力して取り組んで参ります。具体的な研究対象は太陽フレアという爆発現象で、最近では理論・観測データ解析の他、実験室プラズマとも共同研究を行っています。新しい環境で、より多くの方とお話していただけるのを楽しみにしています。よろしくお願ひ致します。



黒野泰隆 (くろの やすたか)

所属：チリ観測所 特任研究員

出身地：千葉県

4月1日付けで特任研究員としてチリ観測所に着任しました黒野泰隆です。それまでは同じくチリ観測所・三鷹にてACA相関器の機能・性能の検証試験や、東アジアALMA地域センターにてユーザサポートの業務を行って参りました。今後はチリの合同ALMA観測所にて科学運用チームの一員として観測、データ解析などの観測所の業務を遂行すると共に、星形成、電波望遠鏡イメージングの研究に従事していきます。多国籍な仲間と大きな目的を共有できる素晴らしい機会に感謝し、ALMAで明らかになる新しい宇宙の発見に貢献できるよう精進したいと思います。

人事異動

● 研究教育職員

| 発令年月日 | 氏名 | 異動種目 | 異動後の所属・職名等 | 異動前の所属・職名等 |
|-----------|-------------------------|-------|-------------------------------------|----------------------|
| 平成25年5月1日 | 高橋智子 | 採用 | 電波研究部(チリ観測所(三鷹))助教 | |
| 平成25年5月1日 | 児玉忠恭 | 勤務地変更 | ハワイ観測所(三鷹) | ハワイ観測所 |
| 平成25年5月1日 | 奥田武志 | 勤務地変更 | チリ観測所 | チリ観測所(三鷹) |
| 平成25年6月1日 | 田村元秀 | 併任 | 太陽系外惑星探査プロジェクト室教授(併任期間平成26年3月31日まで) | 東京大学大学院理学系研究科教授 |
| 平成25年6月1日 | 安東正樹 | 併任 | 重力波プロジェクト推進室准教授(併任期間平成26年3月31日まで) | 東京大学大学院理学系研究科准教授 |
| 平成25年6月1日 | 田村元秀 | 併任 | 太陽系外惑星探査プロジェクト室長(併任期間平成26年3月31日まで) | |
| 平成25年6月1日 | 安東正樹 | 併任 | 重力波プロジェクト推進室長(併任期間平成26年3月31日まで) | |
| 平成25年6月1日 | 渡部潤一 | 併任免 | | 太陽系外惑星探査プロジェクト室長事務取扱 |
| 平成25年6月1日 | 渡部潤一 | 併任免 | | 重力波プロジェクト推進室長事務取扱 |
| 平成25年7月1日 | Espada Fernandez Daniel | 勤務地変更 | チリ観測所助教 | チリ観測所(三鷹)助教 |

● 技術職員

| 発令年月日 | 氏名 | 異動種目 | 異動後の所属・職名等 | 異動前の所属・職名等 |
|-----------|------|------|------------------|--------------------|
| 平成25年5月1日 | 木挽俊彦 | 配置換 | 電波研究部(チリ観測所(三鷹)) | 太陽天体プラズマ研究部(太陽観測所) |

● 年俸制職員

| 発令年月日 | 氏名 | 異動種目 | 異動後の所属・職名等 | 異動前の所属・職名等 |
|------------|-----------------------------------|------|-------------------|------------|
| 平成25年4月16日 | Chibuze James Okwe | 採用 | チリ観測所(三鷹)特任研究員 | |
| 平成25年5月1日 | Herrera Contreras Cinthya Natalia | 採用 | チリ観測所(三鷹)特任研究員 | |
| 平成25年5月1日 | Pena Arellano Fabian Erasmo | 採用 | 重力波プロジェクト推進室特任研究員 | |
| 平成25年7月1日 | 廿日出文洋 | 採用 | チリ観測所(三鷹)特任助教 | |
| 平成25年7月1日 | 南谷哲宏 | 採用 | 野辺山宇宙電波観測所特任研究員 | |

編集後記

先月号の洗濯機の話ですが、実は故障ではなく、普段使わないお湯取りスイッチが知らないうちにONになっていただけでした。おまけに長期保障にも入っていました。安堵と間抜けさに複雑な気分です。(O)

アルマ望遠鏡からの科学成果続々。同じテーマでも欧州南天天文台と米国立電波天文台から出るリリースに違いがあって、その向こうにリリース文を書いている人の個性が浮かぶ。日本発のは、どんな個性が見えているかな。(h)

アテリイ+CICA特集いかがでしたでしょうか。発行が遅れたのは私の原稿が遅れたためです。すみませんでした。反省。(e)

8月といえば、窓を開けたときに聞こえるけたたましいセミの鳴き声。暑い夏を満喫しているのか、暑くて悲鳴をあげているのか。どちらにしても短い寿命を力いっぱい生きていこうなので、文句を言う気にはなれませんが。(K)

アスファルトの上は土の上より暑いです。周囲の照り返しが多いと、日差しはより強く感じられます。正しく計測された気温では無いですが、最近の夏がより暑いと感じる原因の一つでは無いでしょうか。(J)

先日、虫食われの穴が開いているゴーヤーを発見。蓼食う虫も好きずきとはいうものの、あの苦いゴーヤーを食べる虫は一体どんな虫なんだろう? 興味はあるものの怖いもので、まだ手をつけられません。(k)

国際学会でポーランドに來ています。日本に比べるとずいぶん涼しく、過ごしやす……。 (W)

国立天文台ニュース NAOJ NEWS

No.241 2013.08

ISSN 0915-8863

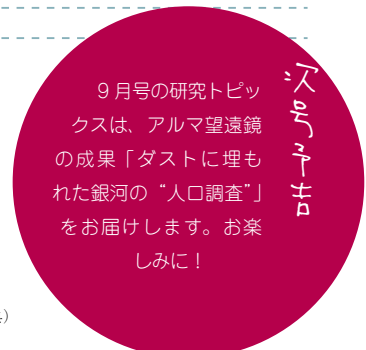
© 2013 NAOJ

(本誌記事の無断転載・放送を禁じます)

国立天文台ニュース編集委員会

●編集委員：渡部潤一(委員長・副委員長) / 小宮山裕(ハワイ観測所) / 寺家孝明(水沢VLBI観測所) / 勝川行雄(ひので科学プロジェクト) / 平松正顕(チリ観測所) / 小久保英一郎(理論研究部) / 岡田則夫(先端技術センター) ●編集：天文情報センター 出版室(高田裕行/福島英雄/岩城邦典) ●デザイン：久保麻紀(天文情報センター)

★国立天文台ニュースに関するお問い合わせは、上記の電話あるいはFAXでお願いいたします。
なお、国立天文台ニュースは、http://www.nao.ac.jp/naojnews/recent_issue.htmlでもご覧いただけます。



眼視天頂儀 (Visual Zenith Telescope) 1号機

亀谷 収 (水沢VLBI観測所)

アーカイブ・メモ

品名：眼視天頂儀
 製作：ワンシャフ社(ドイツ)※万国測地学協会寄贈(1899年8月)
 望遠鏡：口径10.8cm、焦点距離：128.9cm
 架台：タルコット法観測を可能とするため、水平軸で望遠鏡を支え、鉛直軸のまわりに正確に180度反転できる回転機構を有す。

所在地：国立天文台水沢VLBI観測所
 公開状況：水沢VLBI観測所にある木村榮記念館内で一般公開され、見学できます。
 木村榮記念館のHP(<http://www.miz.nao.ac.jp/kimura/>)

1899年12月16日から1927年10月5日まで観測に使用された。水沢臨時緯度観測所の木村榮(ひさし)初代所長らにより極運動(地球の固体部分に対して自転軸が移動する現象)を解明するための国際緯度変化の観測に用いられ、Z項の発見という日本の天文学にとっての初めての世界的発見に寄与した(Z項発見の経緯の詳細は国立天文台ニュース2013年1月号参照)。大きさが0.3秒角しかなかった極運動による緯度変化を精度良く検出するため、観測は当時の精密観測法を実施した。まず望遠鏡の機械的な系統誤差を無くすため、タルコット法(天頂のやや北とやや南を通過する星のペアを観測し、それぞれの星の子午線通過時の天頂からの角距離の差を求める方法)を使い、水準器とマイクロメータを使って精密に計測して緯度変化量を求めた。マイクロメータの中に使用した蜘蛛の糸の選び方の苦労話は有名である。望遠鏡を正確に子午線に向けるために望遠鏡の南北に目標台(北側は現存・図6)を設置していた。望遠鏡が置かれた観測室(現存)は、屋根が開く構造で、空気の流れをスムーズにするため百葉箱に似た壁の構造になっていた(図3)。冬期の観測は特に大変であったらしい。1927年に眼視天頂儀2号機を購入したあとは、1号機は南半球での緯度変化観測のためオーストラリアのアデレードに貸し出され、1931年ころから1940年ころまで使用された。現役を退いた後は、現奥州市の水沢図書館の2階に展示されていた。世界天文年2009巡回企画展展示物として上野の国立博物館や仙台市天文台で展示されたのを機に国立天文台に戻され、木村榮記念館に展示されている。



図1 現在木村榮記念館に展示中の眼視天頂儀1号機。



図2 眼視天頂儀1号機と観測野帳を持つ木村榮(国立天文台アーカイブ室新聞2008年6月11日19号参照★)。



図3 建設当時の眼視天頂儀室と眼視天頂儀1号機。

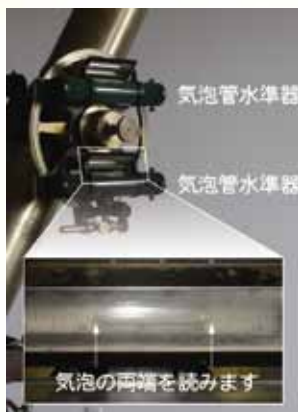


図5 眼視天頂儀に使用される接眼部のマイクロメータ(測微尺)。

(左)図4 眼視天頂儀に使用される水準器。

オイラーにより周期304日と予言された極運動は、キュストナーによって発見され、1891年にチャンドラーにより427日の周期的な変化が確認された。この周期の伸びは、地球がやわらかく変形していることを示し、天文学・測地上の大問題になった。そこで、極運動の詳細を調べるために、世界の北緯39度8分の同じ緯度上に6か所観測所を置き、国際観測を行った。日本の水沢(現奥州市水沢区)にその1か所が置かれ、1899年から観測を開始した。当時、天文学の発展期にあった日本にとって、世界最先端の天文学の一端を担う事は重要な国家プロジェクトであり、その最先端の観測装置がこの眼視天頂儀1号機であった。木村榮は苦労の末Z項という日本で初めての世界的な天文学的発見をもたらしたが、その発見に大きく貢献したこの望遠鏡の歴史的価値は極めて高い。

く
ろ
に
く
る