

4. プロジェクトチームの研究活動

a. あけぼのプロジェクトチーム

II-4-a-1

「あけぼの」の運用

准教授	松岡彩子	准教授	齋藤義文	准教授	篠原 育
准教授	阿部琢美	助教	浅村和史	助教	長谷川洋
助教	横田勝一郎	助教	山崎 敦	宇宙航空プロジェクト研究員	高田 拓
教授	前澤 洸	教授	早川 基	技術参与	向井利典

「あけぼの」は、1989 年の打ち上げ以来 20 年以上にわたり、順調に科学観測を続けている。電磁場・波動・プラズマ・放射線帯粒子などのデータを取得する 9 種の観測機器を搭載し、オーロラ現象等に関連する地球電離圏・磁気圏の観測および放射線帯の観測を行っている。

「あけぼの」は内之浦宇宙空間観測所にて運用・追跡・データ取得を行っている。2008 年度は日曜を除くほぼ毎日、1～2 パスの運用を行った。2008 年 4 月から 2009 年 3 月までの実績は総計約 460 パスであった。(1 パスの時間は季節によって変わり、20 分～1 時間 10 分の間である。) また、スウェーデン宇宙公社と協力し、オーロラに特に関連した極域におけるデータを取得する目的で、エスレンジ局でのデータ取得を行った。2008 年 4 月から 2009 年 3 月までの実績は総計 908 パスであった。取得したデータはオンラインで宇宙科学研究本部に送付し、SIRIUS (テレメデータのデータベース) に格納した。

「あけぼの」のデータの一部は、サイエンスデータベース (SDB) および DARTS データベースによって国内外の研究者に提供されている。

II-4-a-2

「あけぼの」放射線帯モデルの作成

大阪府大・工	中村雅夫	大阪府大・工・大学院生	林 幹子
東工大・理	長井嗣信	東工大・理	浅井佳子
准教授	松岡彩子	准教授	高島 健

放射線帯モデルは人工衛星の放射線環境評価に使用され、宇宙開発には欠くことができないものである。しかし、現在広く使用されている NASA の放射線帯モデル AP-8, AE-8 は 1960, 1970 年代の古い観測データをもとに作成されており、モデルと最近の実測値の違いが指摘されており、改訂が進められている。

「あけぼの」衛星に搭載されている放射線モニター (RDM) により観測された電子フラックスデータを用いた電子放射線帯モデルの作成をすすめている。「あけぼの」衛星は、1989 年の運用開始時において、遠地点距離が約 10500km, 近地点距離が約 275km, 軌道傾斜角が約 75 度の準極軌道をとっており、放射線帯の内帯のほぼ全域、および外帯の高緯度領域を通過し、軌道上の放射線環境を計測している。また同衛星は既に 20 年間の運用を継続しており、あと 2 年で単一の衛星として磁極の反転を含むすべての太陽の局面に対して放射線環境を計測することになる。この計測データから、太陽活動期に応じた電子放射線帯モデルを作成できる。

b. GEOTAIL プロジェクトチーム

II-4-b-1

「GEOTAIL」の運用

技術参与	向井利典	名誉教授	上杉邦憲	教授	中谷一郎
名誉教授	西田篤弘	名誉教授	鶴田浩一郎	教授	早川 基
教授	川口淳一郎	准教授	齋藤義文	准教授	松岡彩子
准教授	篠原 育	教授	前澤 洸	教授	中村正人
准教授	高島 健	助教	浅村和史	助教	長谷川洋
助教	横田勝一郎	助教	山崎 敦	主任開発員	斎藤 宏

磁気圏観測衛星「GEOTAIL」は、1992年7月24日に米国フロリダ州ケープカナベラルからデルタIIロケットで打ち上げられた日米共同プロジェクトの衛星である。その研究目的は、地球磁気圏尾部の構造とダイナミクスおよび磁気圏の高温プラズマの起源と加熱・加速過程を明らかにすることである。この目的のために、特有の軌道計画が実行された。1994年11月までの2年余りの期間は月との2重スウィングバイ技術などを駆使して衛星軌道の遠地点が常に地球磁気圏の尾部に来るように制御され、地心距離で210倍の地球半径までの広範な磁気圏尾部領域をくまなく探査した。1994年11月以降は、磁気圏サブストームなどの研究のため、衛星軌道の遠地点距離を30倍の地球半径に下げ、現在に至っている。なお、衛星軌道の近地点距離は9-10倍の地球半径で、この近地球軌道は昼間側の磁気圏境界面や地球前面の定在衝撃波やその上流域などの観測に適したものになっている。近地球軌道に入ってから、本影持続時間が3時間程度にもおよぶ長時間日陰が発生しているが、その対処のための特別なOPを用いて問題なく切り抜けている。

搭載観測装置としては日米双方から合計7個、即ち、磁場計測装置(MGF)、電場計測装置(EFD)、2組(日米各1組)のプラズマ計測装置(LEP, CPI)、2組(日米各1組)の高エネルギー粒子計測装置(HEP, EPIC)およびプラズマ波動観測装置(PWI)である。日本側が主任研究者の観測装置にも部分的に米国NASAから提供された要素も含まれているので観測装置の約1/3が米国製、残りの2/3が日本製である。さらに、日本製の観測装置にはヨーロッパ(ドイツ, ESA)提供のものも一部に含まれている。日本側の観測装置は、宇宙科学研究本部を中心に、東京大学、京都大学、早稲田大学、立教大学、名古屋大学、金沢大学、富山県立大学、愛媛大学、などの研究者の協力のもとに開発された。衛星運用やデータ解析には観測装置開発に携わったメンバー以外にも多数の研究者が参加し、数々の研究成果が得られている。これまでに出版された「GEOTAIL」関連の原著論文数は890編以上(外国人の筆頭著者も含む、国際的な査読付き論文誌に掲載されたもの)である。

2008年度末現在で打ち上げ後16年8ヶ月を経過したが、(当初からの計画に従って)衛星の運用管制は宇宙科学研究本部が責任をもち、データ受信は日米双方で行っている。米国JPLの深宇宙ネットワーク(DSN)局で受信されるデータ(搭載のデータレコーダーに記録された24時間連続データ)はNASAゴダード宇宙飛行センターで一次処理され、Key Parameter Dataは世界中の研究者に公開されている。また、高時間分解能のプラズマおよび磁場データは宇宙科学研究本部の科学衛星データベース・システム(DARTS)から一般公開されている。(宇宙科学情報解析センターの項を参照のこと。)また、IACGにおける協議を軸に、米国の「WIND」、「POLAR」の両衛星、ESAの「CLUSTER-II」などとのISTP共同観測も精力的に行われている。2007年2月に打ち上げられた米国の「THEMIS」衛星群との共同観測も行っている。

2008年度末現在も衛星の状態は良好であり、経年劣化によって観測を終了した一部機器を除いて搭載科学観測機器は順調に観測を続けている。これまで幾多の成果をあげ、宇宙プラズマ物理学の研究進展に大きく貢献した事は世界的に高く評価されているが、さらに最近では宇宙天気予報等の観点から「GEOTAIL」の観測は多衛星による国際共同観測の中で重要な位置を占め続けている。国際協力による磁気圏多点観測網の中での責務を果たすため、2008年度には以下の項目について「GEOTAIL」の運用が行われた。

- ・米国NASAとの協力関係の下に国内局・米国JPLの深宇宙ネットワーク(DSN)局にて衛星運用・追跡管制およびデータ取得を行った。

- ・米国 NASA ゴダード宇宙飛行センターとデータ交換を行い、日米双方で取得したデータを共有している。現在では日米のデータ交換は SINET の日米回線を通して行われており、DSN 局で受信されたデータは受信後、平均約 3 日以内に宇宙科学研究本部の SIRIUS データベース・システムに登録される。
- ・日本側の観測機のデータの一部については、日本側で較正され、主任研究者から公開許可が出た後、宇宙科学研究本部の公開用科学衛星データベース (DARTS) システムから公開される。公開データセットについては、米国 NASA ゴダード宇宙飛行センターに転送し、太陽地球系物理学分野における国際標準フォーマット (CDF 形式) に変換する、データ交換の流れが進められている。

上記の衛星運用項目以外にも、先に述べたように、米国、欧州とともに地球磁気圏の国際共同観測を行なうことによって、着実に科学的な成果を上げ続けている。2008 年中に国際的な査読付き論文雑誌に掲載された「GEOTAIL」関連論文の数は 42 本になり、打ち上げ後、16 年以上を経た現在も科学的な活動は衰えていない。

「GEOTAIL」はこれまで、磁気圏尾部のプラズマシート領域におけるプラズマ加熱や加速過程についてイオンの運動論的効果の重要性を初めて実証的に示してきた。また、静電孤立波の発見など宇宙プラズマ中の波動-粒子相互作用研究の新しい展開のきっかけを作る、など、単独の観測結果で世界第一級の研究成果をあげているが、最近では海外の衛星観測と協力して磁気圏多点観測網の中の重要な一点として磁気圏のグローバル・ダイナミクスの研究に寄与する側面が増してきている。「GEOTAIL」の科学的研究活動の詳細や成果報告については、宇宙プラズマ研究系の項などに関連記述があるので、そちらを参照されたい。

C. ASTRO-E II プロジェクトチーム

II-4-c-1

「すざく」の運用

教授	満田和久	岩手大	山内茂雄	日本福祉大	宇野伸一郎
教授	高橋忠幸	理研	玉川 徹	名大・理	國枝秀世
教授	堂谷忠靖	埼玉大・理	田代 信	名大・理	小賀坂康志
教授	石田 学	埼玉大・理	寺田幸功	名大・理	古澤彰浩
准教授	山崎典子	東大・理	牧島一夫	京大・理	鶴 剛
准教授	国分紀秀	東大・理	中澤知洋	京大・理	松本浩典
助教	尾崎正伸	東工大・理工	片岡 淳	京大・理	上田佳宏
助教	前田良知	首都大・理	石崎欣尚	阪大・理	常深 博
助教	渡辺 伸	首都大・理	江副祐一郎	阪大・理	林田 清
助教	竹井 洋	工学院大	幸村孝由	阪大・理	宮田恵美
助教	辻本匡弘	青山大・理工	山岡和貴	広大・理	水野恒史
助教	田村隆幸	立教大	村上弘志	広大・理	片桐秀明
研究員	馬場 彩	金沢大・理	藤本龍一	広大・理	高橋弘充
招聘職員	森 英之	金沢大・理	米徳大輔	愛媛大・理	寺島雄一
宇宙航空プロジェクト研究員			篠崎慶亮	宮崎大	森 浩二
宇宙航空プロジェクト研究員		佐藤理江	NASA ゴダード宇宙飛行センター		
宇宙航空プロジェクト研究員		大野雅功	他「すざく」チーム		

NASA/GSFC Chris Baluta

2008 年度は、第 3 期公募で採択された観測提案に従い、「すざく」の運用を行った。この間の「すざく」の運用は概ね順調であり、ほとんどの観測について計画通りのデータを取得する事ができた。

II-4-c-2

「すざく」搭載 X 線望遠鏡 XRT の較正

教 授	石 田 学	大学院学生	林多佳由	招聘職員	森 英之
助 教	前田良知	大学院学生	佐藤拓郎	名大・理	國枝秀世
大学院学生	中村良子	首都大・理工	石崎欣尚	名大・理	古澤彰浩
大学院学生	染谷謙太郎	首都大・理工	白田渉雪	他「すざく」XRT チーム	

2005 年 7 月 10 日に打ち上げ成功した「すざく」には XIS (X 線 CCD カメラ) を焦点面検出器とする X 線望遠鏡 (XRT) が 4 台搭載されている。実際の観測データから天体の情報を引き出すためには望遠鏡の応答関数が必要である。我々は打ち上げ以来行なわれてきた多数の較正用天体の観測結果を再現できるように光線追跡シミュレータを調整することで、高精度な応答関数の構築を進めている。本年度は特に、地上較正試験の結果を正しく表現できるように、反射鏡表面での X 線の散乱関数を改良し、また明るい点源のデータを用いて、望遠鏡を構成する各クアドラントの焦点距離を調整することで、「点源拡散関数 (Point-Spread Function)」をより高精度に再現できるようになった。また、これに伴って望遠鏡の有効面積に若干の変化が出たため、標準光源である「かに星雲」のスペクトルを用いて、CCD の空乏層の厚さの較正も行った。これらの較正結果を光線追跡シミュレータに取り込んで、望遠鏡と CCD 検出器の応答関数を作成するソフトウェア (xissimarfgen, xisrmfgen) のアップデートも行った。これらは応答関数を作成する標準ソフトウェアとして、世界中の「すざく」ユーザのデータ解析に利用されることになる。

II-4-c-3

「すざく」搭載 X 線 CCD カメラ XIS の運用

教 授	堂谷忠靖	京大・理	小山勝二	阪大・理	林田 清
助 教	尾崎正伸	京大・理	鶴 剛	立教大・理	村上弘志
助 教	辻本匡弘	京大・理	松本浩典	マサチューセッツ工科大学	
研究員	馬場 彩	阪大・理	常深 博	他「すざく」XIS チーム	

X 線 CCD カメラ (X-ray Imaging Spectrometer, XIS) は、「すざく」搭載 X 線望遠鏡の焦点面検出器のひとつで、高い位置分解能と広い視野、適度なエネルギー分解能を兼ね備えている。XIS は、合計 4 台 (表面照射型 3 台、背面照射型 1 台) が搭載されているが、現在は 3 台が観測に使用されている。XIS カメラのベース部とアナログ回路部はマサチューセッツ工科大学が担当し、カメラのボンネット部とデジタル信号処理系は日本側が担当した。2008 年度までに XIS の運用形態はほぼ確立しており、電荷注入による放射線損傷対策を定常的に実施するとともに、コンタミ厚測定を含めた較正観測を定期的に行っている。2008 年度中は、何もトラブルが起きることなく、きわめて順調に XIS の運用を行うことができた。

II-4-c-4

「すざく」搭載 X 線 CCD カメラ XIS の校正

教 授	堂谷忠靖	京大・理	鶴 剛	阪大・理	長井雅章
助 教	尾崎正伸	京大・理	松本浩典	宮崎大・工	森 浩二
助 教	辻本匡弘	京大・理	内山秀樹	宮崎大・工	木村結樹
研究員	馬場 彩	京大・理	小澤 碧	宮崎大・工	池上嘉夫
大学院学生	穴田貴康	京大・理	信川正順	宮崎大・工	加藤 豪
大学院学生	松田桂子	京大・理	澤田真理	宮崎大・工	小川和輝
理 研	平賀純子	阪大・理	常深 博	マサチューセッツ工科大学	
工学院大	幸村孝由	阪大・理	林田 清	他「すざく」XIS チーム	
		立教大・理	村上弘志	阪大・理	内田裕之
		京大・理	小山勝二	阪大・理	木村 公

XIS は、CCD を用いた撮像型の検出器で、X 線反射鏡の焦点面検出器として合計 4 台が搭載されている。4 台のうち 1 台は、背面照射型の CCD を搭載しており、低エネルギー側で高い検出感度を誇っている。残り 3 台は、表面照射型の CCD である。2008 年度は、放射線損傷によるゲインやエネルギー分解能の変化の校正、可視光遮断膜へのコンタミ付着量の校正を継続して行い、さらに時刻付けの校正も行った。X 線 CCD は、宇宙空間では放射線損傷により、徐々に特性が劣化して行く事が知られている。この劣化に対応するため、新たに電荷注入機能を用いた観測を 2006 年 9 月から実施している。電荷注入により、当初は放射線損傷の影響が大きく減少したが、再び損傷の影響が認められるようになって来た。そこで、電荷注入を行っているデータについて、校正情報の更新を行った。一方、放射線損傷による電荷転送損失は CCD の駆動方式に依存する。そこで、window オプション等、駆動方式の違いに対応した校正も行った。これらの校正にあたっては、内蔵の校正線源の他に、銀河中心領域やペルセウス座銀河団など、輝線が強く広がった放射がある天体の観測データを使用した。XIS には、CCD に可視光が入射するのを防ぐため、可視光遮断膜が備え付けられている。XIS による観測開始直後から、衛星内部のコンタミガスが可視光遮断膜に蓄積し、低エネルギー側の感度が徐々に劣化している事がわかっている。そこで、校正天体である 1E0102-72 を定期的に観測し、コンタミ量の変化をモニターしている。コンタミの蓄積量はセンサー毎に異なっており、2008 年度も継続してモニターを行った。なお、コンタミ物質の組成については、炭素と酸素の原子数比 6:1 で近似できるものの、時間変化している兆候があり、詳細解析を進めている。XIS データの時刻付けについては、(parallel-sum mode を除き) 時間分解能以上の大きなズレはないことがこれまでの校正からわかっていた。2008 年度は、この校正精度を上げるべく、時間変動のある X 線連星系を校正天体として用い、HXD を基準として時刻付けの校正を進めた。ノーマルモードおよび window オプションを使用した観測では、数十ミリ秒以下の精度で時刻付けが正しいことが確認できた。

II-4-c-5

「すざく」搭載硬 X 線検出器 HXD の運用

教 授	高橋忠幸	助 教	渡辺 伸
准教授	国分紀秀	宇宙航空プロジェクト研究員	佐藤理江
宇宙航空プロジェクト研究員	大野雅功	東大・理	中澤知洋
大学院学生	岸下徹一	理 研	川原田円
大学院学生	武田伸一郎	埼玉大・理	田代 信
大学院学生	牛尾雅佳	埼玉大・理	寺田幸功
大学院学生	勝田隼一郎	青山大・理工	山岡和貴
大学院学生	石川真之介	広大・理	深沢泰司
大学院学生	小高裕和	広大・理	水野恒史
大学院学生	青野博之	広大・理	高橋弘充
大学院学生	杉本宗一郎	金沢大・理	村上敏夫
大学院学生	古関 優	金沢大・理	米徳大輔
東大・理	牧島一夫	他「すざく」HXD チーム	

硬 X 線検出器 (Hard X-ray Detector, HXD) は、「すざく」のミッション機器のひとつで、10-600 キロ電子ボルトの宇宙硬 X 線の観測を目的とした装置である。HXD は「井戸型フォスウィッチカウンタ」と呼ばれ、バックグラウンドを非常に低くおさえる工夫をした日本独自の検出器である。井戸型フォスウィッチカウンタではシールド部を井戸型に加工し、その中に検出部を埋め込む構造になっており、小さな検出部が、そのほとんどの立体角をアクティブなシールドによって囲まれるために、従来のものに比べてバックグラウンドを除去する性能が圧倒的にすぐれている。この検出装置の井戸型のコリメータの底には、信号検出用 GSO シンチレータがおかれ、30 キロ電子ボルトから 600 キロ電子ボルトを担当する。その前には、厚さ 2 ミリのシリコン半導体検出器がおかれ、10 キロ電子ボルトから 60 キロ電子ボルトまでのエネルギー範囲をカバーする。

HXD に用いられている 64 個のシリコン検出器、36 本のシンチレーション検出器は観測期間中、ほぼ全て正常に動作を続けているが、PIN シリコン検出器のうちの数個の電氣的ノイズが増加する現象に対応するため、半数のシリコン検出器の印加電圧を 500V から 400V に下げることで対応した。これによる性能の変化はほとんど見られていない。軌道上での衛星温度変化に対応して、半導体検出器のノイズが多少変動するが、適切なレベルに閾値を設定することで熱ノイズの影響を受けないようにすることが出来ており、この状態でも 10 キロ電子ボルトまでの観測帯域が確保出来ている。これまでの初期観測の結果、特に 10-50 キロ電子ボルトと 100 キロ電子ボルト前後のエネルギー帯域において、これまでにない世界で最も低い検出器バックグラウンドを達成している事を確認した。HXD 開発チームが中心となって、現在でも軌道上での健全動作の確認を毎日継続するとともに、検出器特性の変化に応じたパラメータ調整などを進めている。

II-4-c-6

「すざく」搭載硬 X 線検出器 HXD の較正

教 授	高橋忠幸	大学院学生	古関 優
准教授	国分紀秀	東大・理	牧島一夫
助 教	渡辺 伸	東大・理	中澤知洋
宇宙航空プロジェクト研究員	佐藤理江	理 研	川原田円
宇宙航空プロジェクト研究員	大野雅功	埼玉大・理	田代 信
大学院学生	岸下徹一	埼玉大・理	寺田幸功
大学院学生	武田伸一郎	青山大・理工	山岡和貴
大学院学生	牛尾雅佳	広大・理	深沢泰司
大学院学生	勝田隼一郎	広大・理	水野恒史
大学院学生	石川真之介	広大・理	高橋弘充
大学院学生	小高裕和	金沢大・理	村上敏夫
大学院学生	青野博之	金沢大・理	米徳大輔
大学院学生	杉本宗一郎	他「すざく」HXD チーム	

HXD は、10-600 キロ電子ボルトの宇宙硬 X 線を観測する日本で最初の本格的な衛星搭載機器である。2005 年 8 月より、定期的に「かに星雲」などの標準天体の観測を実施し、検出器のエネルギー応答を較正してきた。これらのデータや検出器バックグラウンドに含まれる特徴的な硬 X 線の構造を元に、電子回路系のゲインの確認をし、数度の温度変化に伴う検出器の特性変化を補正した。並行してデータ処理方法の最適化を進め、検出器バックグラウンドを最小にする方法を開発した。これらの較正結果から、HXD の検出原理を再現するモンテカルロシミュレータを構築し、これを用いて、検出器の応答関数を構築し、世界のユーザに公開した。これまでに、HXD で得られる「かに星雲」のスペクトルパラメータが、ベキ関数モデルでよく再現でき、そのパラメータは、これまでの観測装置で得られている値と大きく矛盾しない事も確認された。同時にこれらのデータ処理でも残る微弱なバックグラウンド信号の性質を調べ、軌道上環境などでパラメータ化することでこれをモデル化し、実際の観測時に差し引けるようにした。このモデルは世界に公開されている。バックグラウンドの成因についても、モンテカルロ技術を用いたフルシミュレータを構築し、軌道上の陽子、中性子、ガンマ線などによる影響の定量化を行って、特にシリコン検出器のバックグラウンドは地球大気からの中性子が主成分であることをつきとめた。

HXD の側面のシールド検出器は、100 キロ電子ボルトから数メガ電子ボルトという高エネルギーのガンマ線帯域で、全天を監視することが出来る。この特徴を活かし、ガンマ線バーストや太陽フレアなどに対するガンマ線モニターとしての動作も行っている。これまでに地上試験におけるデータを元にしつつ、ガンマ線バーストなどの突発天体の他の衛星との同時観測を活かして検出器応答の較正を行い、入射方向にもよるが、数メガ電子ボルトまでのガンマ線のスペクトルを評価できるようになった。また、HXD は軌道上でこのような突発天体を自動的に検出し、より詳細なデータを短時間記録するための回路を動作させており、これまでに 200 以上のガンマ線バーストの検出に成功した。これらの観測結果はインターネットを通じて世界に公開され、他衛星との同時解析も行われている。

II-4-c-7

「すざく」運用計画の作成

准教授	山崎典子	NASA/GSFC Chris Baluta
NASA ゴダード宇宙飛行センター		

2008 年度は公募による観測提案に主に基づいて「すざく」の運用を行った。提案の受付は、NASA ゴダード宇宙飛行センターで開発された Remote Proposal Submission (RPS) システムを移植し、「すざく」の検出器に応じたモード選択を可能にするなどの設定を行った。RPS により、観測情報の入力 web interface を介して電子的に行なわれ、その情報は、XML base のデータベースである Observation Data Base (ODB) に移行される。観測提案中に

ある、天体の座標、観測時間、観測条件などを考慮して、スケジュールソフト Timeline Assembler, Keyword-Oriented (TAKO) を用いて観測計画の立案を行う。運用計画は、天体と太陽の位置関係による観測可能時期、他波長・他衛星との同時観測、その他科学目的に応じた観測条件に対応する必要がある。また、衛星の軌道上の位置による観測効率を計算し、実効的な観測時間が要求時間を満たしつつ、衛星運用に無駄がでないような立案が必要である。スケジュールソフト TAKO を用いて、「すざく」の運用計画の作成を行ない、提案された天体について観測計画を立案し、予定を 3%程度上回る観測効率を達成することができた。2008 年から導入された Long proposal に関しても、すべて要求された観測を終了した。また突発現象である、X 線新星、ブラックホール候補天体、ブレーザー天体からの X 線増光について 5 件 6 回の即時観測提案をうけ、急遽運用計画の変更を行い観測を行った。

II-4-c-8

「すざく」パイプライン処理システムの開発

教授	海老澤研	首都大・理	石崎欣尚
准教授	山崎典子	埼玉大・理	寺田幸功
助教	尾崎正伸	京大・理	松本浩典
		助教	田村隆幸

NASA ゴダード宇宙飛行センター

「すざく」で得られたデータは、SIRIUS と呼ばれる宇宙科学研究本部独自のテレメトリデータベースにまず蓄えられ、時系列順の生パケットから観測天体単位毎に切り出され、搭載装置毎に分類・再構成されたのち天文学の標準的なデータ形式である FITS 形式に変換され配布される。観測装置データの解析は、検出器チームによる較正や維持管理作業も含め例外無くこの配布 FITS ファイル (FFF: First Fits File) が出発点となる。配布の際には更に天文学的な解析に必要な基本的な較正まで施された上で、権利を持つ研究者だけが解読できるよう個別に暗号化されて公開される。日米共同ミッションである「すざく」のデータは日米同時に公開されるので、一連の処理プロセスは較正段階以降は両国で並列に行なわれるが、その結果が一致している事が保証されなければならない。

これを実現する為、SIRIUS からのデータ切り出しと FITS 形式への変換、必要な較正を行なうソフトウェア群を開発した。較正ソフトウェアは NASA ゴダード宇宙飛行センターの協力を得て「あすか」解析ツールでも採用された FTOOLS 形式に準拠しており、研究者が独自に再較正作業をできる事が保証されている。また、これら一連の作業をある部分は米国側ソフトウェアを利用しながら逐次行なうソフトウェアのアーキテクチャを設計し、構築している。このシステムはソースコードが公開されているか互換系が複数存在するライブラリと OS のみを利用しており、パイプライン処理マシンの将来の更新にも容易に対応できる。逐次処理は ODB を核として進行管理される。これにより、観測立案からデータ配布までの観測ライフサイクルを通して一箇所ですべて状況把握ができるシステムになっている。1 年の占有期間が過ぎた公募観測のデータについては、暗号化を即時解除し公開している。今年度は、5 年に一度の大規模な機器換装があったが、定常的なパイプライン処理に支障をきたすことなく、新システムに移行することができた。また、保守作業の標準化を目的として処理の詳細に立ち入った資料を整備した。

d. ASTRO-F プロジェクトチーム

II-4-d-1

「あかり」(ASTRO-F)の開発、打上げと運用

教授	村上 浩	教授	中川貴雄	教授	松原英雄
客員教授	芝井 広	名誉教授	奥田治之	名誉教授	松本敏雄
准教授	紀伊恒男	准教授	片坐宏一	准教授	山村一誠
助教	金田英宏	助教	松浦周二	助教	和田武彦
助教	塩谷圭吾	研究員	臼井文彦	派遣職員	成田正直
		研究員	巻内慎一郎	宇宙航空プロジェクト研究員	深川美里
		宇宙航空プロジェクト研究員	岡田陽子	研究員	大藪進喜
		宇宙航空プロジェクト研究員	永田洋久	研究員	白旗麻衣
研究員	大坪貴文	教授	田島道夫	教授	齋藤宏文
教授	橋本樹明	研究員	山内千里	教授	石井信明
開発員	馬場 肇	派遣職員	井上浩三郎	開発員	長谷川直
助教	奥泉信克	助教	大西 晃	准教授	峯杉賢治
ぐんま天文台	高橋英則	准教授	廣瀬和之	教授	山田隆弘
国立天文台	松尾 宏	教授	山本善一	准教授	澤井秀次郎
准教授	川勝康弘	主任開発員	志田真樹	名大・理	渡部豊喜
名大・理	川田光伸	情報通信研究機構	藤原幹生	東大・理	石原大助
東大・理	尾中 敬	東大・教養	土井靖生	東大・教養	上野宗孝
		名古屋科学館	野田 学	国立天文台	板 由房

第 21 号科学衛星「ASTRO-F」は、従来にない感度と角分解能で赤外線領域の天体サーベイを行い、天文学上最重要の天体カタログを制作するとともに、銀河、星・惑星系の誕生と進化を明らかにすることを目的とする。2006 年 2 月 22 日に M-V ロケット 8 号機により打上げられ、「あかり」と名付けられた。「あかり」は有効径 68.5 センチメートルの液体ヘリウム冷却望遠鏡と、赤外線カメラ (IRC: Infrared Camera)、遠赤外サーベイヤー (FIS: Far-infrared Surveyor) の二つの観測装置を搭載し、全赤外線領域で観測を行う。極低温冷却系は、液体ヘリウムと機械式冷凍機 (2 段スターリングサイクル冷凍機) を併用したシステムであり、従来の軌道赤外線望遠鏡よりも少量の液体ヘリウムで長期の観測期間 (1 年以上) を実現する。

「あかり」は、2006 年 5 月から本観測を開始し、2007 年 8 月 26 日にすべての液体ヘリウムを消費するまで、1 年以上の観測に成功した。この間、全天の 90% を超える領域について 6 つの波長帯でサーベイを行い、検出した赤外線天体カタログが制作されている。2008 年度には、赤外線天体カタログの初版が完成し、プロジェクトチーム内で天文学研究への使用が開始された。天体カタログ初版は、改訂の後、2009 年度に一般に公開予定である。

サーベイ観測のほかにも、太陽系天体から遠方の銀河にいたる多様な天体に対して、液体ヘリウム冷却中に 5000 回を超える詳細観測も実施された。これらの観測に基づく天文学的成果は、2007 年の日本天文学会欧文報告の特集号に引き続き、2008 年にも特集第二号が発行された。また 2009 年 2 月には初の国際会議が東京大学本郷キャンパスで開催され、約半数の海外参加者を含む 150 名の参加を得て、「あかり」の成果を世界に発信した。

「あかり」は現在、機械式冷凍機のみによる冷却で近赤外線の観測を継続しており、2008 年 6 月から本格的な観測を開始して、2008 年度中に 6,000 回を超える観測を実施した。

II-4-d-2

「あかり」搭載遠赤外サーベイヤー (FIS:Far-infrared Surveyor) の軌道上性能評価

教授	中川貴雄	客員教授	芝井 広	准教授	紀伊恒男
准教授	山村一誠	助教	松浦周二	助教	金田英宏
助教	塩谷圭吾	研究員	白簾麻衣	名大・理	深川美里
研究員	巻内慎一郎	研究員	鈴木仁研	東大・総合文化	土井靖生
		宇宙航空プロジェクト研究員	永田洋久	大学院学生	安田晃子
名大・理	川田光伸	名大・理	大坪貴文	筑波大	平下博之
名大・理	西澤 淳	名大・理	河村晶子	ぐんま天文台	高橋英則
		国立天文台	日比康詞	共同研究学生	村上紀子

「あかり」(ASTRO-F) に搭載された FIS (Far-infrared Surveyor) は、2006 年 5 月の観測開始から 2007 年 8 月に液体ヘリウムを消費するまでの間に、全天の 90%を超える領域のサーベイを達成した。また、特定天体の詳細研究のため、スロースキャンによる高精度測光やフーリエ分光撮像するポインティング観測も科学目的に応じて行われた。今年度は、軌道上における感度の安定性、光学性能やノイズ性能などの様々な観測性能の評価を継続的に行った。

II-4-d-3

「あかり」遠赤外線全天サーベイのデータ処理システムの構築

教授	中川貴雄	准教授	山村一誠	研究員	巻内慎一郎
		研究員	池田紀夫	研究員	山内千里
			ラザフォード・アップルトン研究所		C. P. Pearson
		KASI	W. S. Jeong	開発員	馬場 肇
		ロンドン大学インペリアルカレッジ			M. Rowan-Robinson
		ロンドン大学インペリアルカレッジ			D. Clements
		ロンドン大学インペリアルカレッジ			L. Wang
オープン大学	G. J. White	オープン大学			S. Serjeant
オープン大学	E. Figueredo	サセックス大学			S. Oliver
サセックス大学	R. S. Savage	サセックス大学			M. Thomson
サセックス大学	N. Rahman	SRON 研究所			DoKester
ソウル大学	H. M. Lee	ソウル大学			S. H. Oh

「あかり」(ASTRO-F) に搭載された遠赤外線サーベイヤー FIS によって行われた全天サーベイ観測データは、データ処理パイプラインシステムによって統一的に処理された後、遠赤外線天体カタログとして世界中の天文学者に公開され、研究に用いられる。このデータ処理システムの開発は、国際協力の枠組みの中で進められており、2001 年度から具体的な活動を行っている。2008 年度 10 月末に、最初の全天点源天体カタログ (ver. β -1) のチーム内リリースを行った。このカタログには、約 63000 天体の遠赤外線観測情報が含まれている。これを用いてチーム内で評価と初期的な科学的解析が始まった。このカタログの作成のため、昨年度に引き続き点源抽出、測定プログラムの最適化と評価を集中的に行い、全データ処理の枠組みの構築、また実データの詳細な検証をもとにノイズレベルの削減、宇宙放射線の影響を強く受けた検出器ピクセルの検出とマスクなど、データの質を高める作業を行った。このため、2008 年 11 月に海外メンバーも含めて集中的な作業を行った。プログラムの改良は引き続き続けられており、2009 年春の、ver. β -2 のチーム内公開、2009 年秋のカタログ一般公開を目指している。

II-4-d-4

「あかり」全天サーベ이의指向決定

教授	中川貴雄	准教授	紀伊恒男	准教授	山村一誠
		東大・理	石原大助	ヨーロッパ宇宙機構	A. Salama
	ヨーロッパ宇宙機構	P. Garcia-Lario	ヨーロッパ宇宙機構	C. Stephenson	
			ヨーロッパ宇宙機構	C. Alfageme	

「あかり」(ASTRO-F)の全天サーベ이의データを処理・解析し、赤外線天体カタログを作成するためには、サーベイ中の観測指向方向を正確に決定する必要がある。このため、「ASTRO-F」には焦点面スターセンサ (FSTS) が搭載されており、さらに中間赤外線サーベイデータも用い、データを衛星バス部の姿勢決定系から得られる衛星姿勢情報と合わせることによって、望遠鏡の指向方向を決定する。このシステムの作成は、ESA との国際協力の下にヨーロッパスペース天文学センター (ESAC) との共同作業として進めている。2008 年度には、前年度までに行われた全サーベイ期間中のデータ処理結果を評価し、ISAS 側で作成する姿勢情報の改善、ESAC 側でのそれに合わせたプログラムの最適化が図られた。年度中に 4 回以上の全期間の処理と評価が繰り返され、ほぼ最終版となるデータの作成が行われた。決定精度は、要求精度の 5 - 7 秒角を大きく上回る 3 秒角以下と評価されている。また、プログラムの改善の結果、運用モードの変更などにかかわらず、ほぼ全サーベイ期間にわたって、姿勢情報を提供することが可能になった。この情報が、全天サーベイデータの処理に用いられている。さらに、この作業の副産物として得られる IRC 検出イベントの位置情報負荷と、星カタログとの同定情報を行い、IRC 全天サーベイ点源カタログとして出版する準備を進めている。

II-4-d-5

「あかり」遠赤外線指向観測データ処理ソフトウェアの開発

助教	松浦周二	研究員	白簇麻衣	研究員	巻内慎一郎
		研究員	大藪進喜	准教授	山村一誠
				ヨーロッパ宇宙機構	E. Verudugo
	ラザフォード・アップルトン研究所	C. P. Pearson	KASI	W. S. Jeong	

「あかり」(ASTRO-F)に搭載された遠赤外線サーベイヤーマシによって行われた指向観測データの、装置に依存するデータ処理・解析・およびキャリブレーションのためのソフトウェアシステムの開発を続けている。2008 年度は、検出器の位置に関するキャリブレーションをやり直し、より正しい天体の位置を与えられるようになった。引き続き、ユーザーからの質問などに対応している。

II-4-d-6

「あかり」遠赤外線サーベイヤ (FIS) 分光モードのデータ較正と軌道上性能評価

		宇宙航空プロジェクト研究員	岡田陽子	教授	中川貴雄
大学院学生	安田晃子	名大・理	川田光伸	美星天文台	村上紀子
名大・理	大坪貴文	ぐんま天文台	高橋英則	名大・理	芝井 広

「あかり」(ASTRO-F)に搭載された FIS の分光モード (フーリエ分光器;FTS) のデータ解析には、撮像モードにはない特殊な過程が多くある。2008 年度は、そのデータ整約と較正を行なうプログラムがほぼ完成し、チーム内に公開した。データ較正の手法と評価については、村上らが投稿論文を準備している。また、銀河系中心や銀河面の星形成領域における星間物質の物理状態についての研究成果は研究会などで発表し、銀河系中心については安田らの投稿論文としてまとめられ、星形成領域については、岡田らが投稿論文を準備中である。

II-4-d-7

「あかり」搭載赤外線カメラ（IRC: InfraredCamera）の運用

東大・理	尾中 敬	教授	村上 浩	教授	中川貴雄
教授	松原英雄	客員教授	芝井 広	准教授	片坐宏一
名誉教授	松本敏雄	助教	和田武彦	宇宙利用推進本部	度會英教
研究員	上水と典	国立天文台	板 由房	台湾中央研究院	大山陽一
東大・総合文化	上野宗孝	東海大・工	若木守明	東大・理	石原大助
		東大・理	左近 樹	共同研究学生	藤原英明

「あかり（ASTRO-F）」に搭載される赤外線カメラ（IRC）は、近赤外から中間赤外をカバーする 3 チャンネルより構成される。近赤外領域では 512×412 素子の InSb アレイ検出器、中間赤外では 256×256 素子の Si:As アレイ検出器を用い、従来にない広視野かつ高角分解能によって、広域サーベイ観測を行うものである。

2008 年度は、冷媒消失後の波長 2.5 ミクロンでの観測を継続した。特に新しい観測モード／シーケンスに対応した運用方法の整備と取得したデータの解析ツールの整備を行い、これにより装置の性能評価も行った。

II-4-d-8

「あかり」搭載赤外線カメラ（IRC）による全天サーベイ観測

東大・理	石原大助	教授	松原英雄	教授	村上 浩
教授	中川貴雄	客員教授	芝井 広	准教授	片坐宏一
名誉教授	松本敏雄	助教	和田武彦	准教授	山村一誠
宇宙利用推進本部	度會英教	国立天文台	板 由房	台湾中央研究院	大山陽一
東大・理	尾中 敬	東大・総合文化	上野宗孝	研究員	上水と典
東大・理	左近 樹	共同研究学生	藤原英明	大学院生	瀧田 怜
		研究員	大藪進喜	ヨーロッパ宇宙機構	A. Salama
				ヨーロッパ宇宙機構	C. Alfageme

「あかり」（ASTRO-F）搭載の赤外線カメラ（IRC）による中間赤外線全天サーベイ観測を行っている。2006 年度および 2007 年度の冷媒消失までの期間、順調に観測を続行した。2008 年度はこのデータを解析し中間赤外の 2 波長での全天点状天体カタログの作成を行い、解析手法を確立した。このカタログには、およそ 80 万の天体がリストされており、2009 年度の初期にチーム内リリースする見込みである。

II-4-d-9

「あかり」観測スケジューリング方針の検討

研究員	臼井文彦	研究員	大藪進喜	研究員	大坪貴文
教授	松原英雄	准教授	山村一誠	東大・教養	土井靖生
教授	中川貴雄	客員教授	芝井 広	東大・理	尾中 敬
				ヨーロッパ宇宙機構	Alberto Salama

「あかり」（ASTRO-F）の観測スケジュールを、衛星運用の制約条件に適合させつつ、可能な限り観測提案者の要求に応えるように調整を行った。2008 年 6 月から 2009 年 10 月までの 1 年 4 ヶ月分の観測計画を立案し、合計 8300 回のポインティング観測を組み込んだ。このうち 1 割はヨーロッパ側からの提案であり、ヨーロッパ宇宙機構の担当者と密接に連絡を取って立案作業を進めた。これ以外に月に 90 回程度、装置の性能評価などのための試験観測を随時組み込んだ。ある時期における「あかり」の観測可能天域は非常に狭く、特定の天体が観測できるのは原則として半年に 1 回に限られているが、衛星の状態を考慮し必要に応じて半年後に割り当てられている観測を前倒しするなど、観測計画の最適化・再調整を行った。

II-4-d-10

「あかり」観測提案投稿システムの構築

研究員	臼井文彦	准教授	山村一誠	客員教授	芝井 広
		東大・理	尾中 敬	研究員	大坪貴文
				ヨーロッパ宇宙機構	Alberto Salama

「あかり」(ASTRO-F)の観測提案の募集, 内容更新のために, ウェブベースの投稿システムを構築し, 運用してきた. 2008年7月に一般公募観測計画(Open Time)の募集が行われたので, その際の提案書の募集・運用を実施した. また, 2009年2月に「あかり」国際会議が開催されたが, その際の参加登録・講演予稿集の取りまとめ業務にもこのウェブ投稿システムを改修することで対応した.

II-4-d-11

「あかり」運用計画作成ソフトウェアの開発とその運用

	准教授	紀伊恒男	研究員	大藪進喜	研究員	臼井文彦
	宇宙航空プロジェクト研究員	岡田陽子	研究員	白旗麻衣	研究員	巻内慎一郎
准教授	山村一誠	助教	松浦周二	助教	和田武彦	東大・理
						石原大助

「あかり」は効率のよい観測を実施するため, あらかじめ長期観測計画がスケジュールされる. 日々の運用計画作成では, この長期観測計画をもとに実コマンド作成を半自動的に行なう. しかし, 非常時コマンドの作成にも柔軟に対応する自由度の高い計画作成システムとなっている.

「あかり」は液体ヘリウム枯渇後の昨年度後半から赤外線カメラ・近赤外線撮像装置によるポインティング観測のみを行う観測フェーズに移行した. 観測フェーズ移行に伴い昨年度改訂した計画作成システムを, 今年度も引き続き改良・整備を行い, 最適化を計った. また, 非定常的なコマンド計画にも即応して日常的に運用し, 計画作成システムに起因する運用・データ損失が皆無の実績を継続した.

II-4-d-12

「あかり」長期運用計画の策定

研究員	臼井文彦	研究員	大藪進喜	准教授	紀伊恒男
		東大・教養	土井靖生	研究員	大坪貴文

「あかり」(ASTRO-F)観測スケジューリングの結果から, 実際の衛星運用コマンド作成に使える形に変換するための更新作業を行ってきた. 液体ヘリウム枯渇後は近赤外線の波長域における観測だけになり, さらに衛星軌道が比較的安定していたので, 更新作業は週1回で対応できるように調整した. 観測数自体は増大し, 平均して1日25ポインティング以下という制約条件に抵触する場合も出てきたため, 適宜調整を行い運用計画が破綻しないように努めた.

II-4-d-13

「あかり」データアーカイブの構築

教授	中川貴雄	准教授	山村一誠	助教	松浦周二
助教	和田武彦	助教	田村隆幸	研究員	巻内慎一郎
研究員	山内千里	研究員	大藪進喜	研究員	白旗麻衣
				宇宙航空プロジェクト研究員	大山陽一
		国立天文台	板 由房	ヨーロッパ宇宙機構	A. Salama
		ヨーロッパ宇宙機構	E. Verudugo	ヨーロッパ宇宙機構	R. Lorente

「あかり」(ASTRO-F)の観測データを研究者に配布するためのシステムの構築を行った. システムは, テレメトリデータからのデータ作成, データ処理ソフトウェアの開発, 観測者の処理の指標となる見本データの作成, データパッケージの作成, データベースへの登録, 観測データリストの作成からなる. 2008年8月に, Phase 1&2の

指向観測データのほとんどが一般に公開された。また、Phase 3 データの公開に向けて作業を行った。さらに、点源カタログのデータベースアクセスインタフェースの新規構築作業を行った。

II-4-d-14

「あかり」データユーザズマニュアルの作成

准教授	山村一誠	教授	松原英夫	助教	和田武彦	研究員	巻内慎一郎
						ラザフォード・アップルトン研究所	Chris Pearson
		台湾中央研究員天文及天文物理研究所		大山陽一	東大・理	尾中 敬	
国立天文台	板 由房	東大・理	左近 樹	東大・理	田辺俊彦		
	ヨーロッパ宇宙機構	A. Salama	ヨーロッパ宇宙機構	R. Lorente			

「あかり」(ASTRO-F) の観測者が、データの処理・解析を適切に行うために、観測装置の詳細な特性と、データ処理ソフトウェアの使用方法を詳細に説明したマニュアルを作成した。この文書は、打ち上げ前に作成した「Observers Manual」を改訂したものである。2007 年 3 月のデータ配布開始と同時に配布を始め、適宜改訂を行っている。2008 年度には IRC 版の改訂を二回行った。

II-4-d-15

「あかり」搭載冷却系の軌道上での性能評価と運用最適化

教授	中川貴雄	教授	村上 浩	准教授	紀伊恒男
名誉教授	松本敏雄	助教	金田英宏	助教	塩谷圭吾
		招聘職員	成田正直	筑波大	村上正秀

スペースから高感度の赤外線観測を行うためには、望遠鏡、焦点面観測装置の全てが、極低温にまで冷却されなければならない。「あかり」衛星では、そのために、2 段式のスターリング冷凍機と超流動液体ヘリウムを用いたハイブリッド冷却系を世界で初めて採用した。

搭載された液体ヘリウムは、当初の設計通り 2007 年 8 月まで保持された。液体ヘリウム消費後は、機械式冷凍機のみにより観測機器の冷却を行っている。冷凍機の状態に応じて、適切な運用を行い、IRC/NIR の観測に必要な温度を維持している。

II-4-d-16

「あかり」サーマルスナップの調査

准教授	紀伊恒男	教授	村上 浩	准教授	山村一誠
教授	小松敬治	准教授	峯杉賢治	教授	樋口 健
准教授	坂井真一郎	助教	坂東信尚	主任開発員	清水幸夫
				嘱託	大串義雄

「あかり」打ち上げ当初の 2006 年夏期から、衛星 Z 軸周りを主成分とした数秒角毎秒の振幅を持つ、継続時間数分程度の角速度変動が検出されていた。この変動は、当初は日陰期のみを検出され、制御周波数に比べ速い現象であることから、日陰日照温度サイクルによる衛星構造のサーマルスナップと推測された。しかし、主成分が観測方向周りの小角変動で活動期も限定され、観測への影響がなかったため、系統的な調査は行っていなかった。本年度夏期になり、最大角速度振幅 7 秒角毎秒、継続時間 1 時間程度に及ぶ顕著な現象が見られ、頻度も高くなったため、安信部の支援も仰ぎ系統的な調査を開始した。

この変動は 1Hz 近辺を主周波数成分とする。この周波数は、太陽電池パドルの衛星 Z 軸周りの構造周波数に近似し、原因の候補と考えられた。しかし、発現頻度は弱い軌道フェーズ依存性があるものの、温度変化が最も顕著な日陰直後は頻度が低い。また、2007 年は日陰期後 1-2 ヶ月間、現象が検出された。本年度に入り、日陰期、全日照期に関係なく冬期も含めて現象が生じ、一時期を除き、頻度の変化も見られなかった。このため、完全な原因の特定には至っていない。なお、現在まで、この現象による観測への影響は報告されていない。

II-4-d-17

「あかり」姿勢制御系運用の最適化

准教授	紀伊恒男	教授	村上 浩	教授	橋本樹明
准教授	川勝康弘	助教	坂東信尚	准教授	坂井真一郎
研究員	大藪進喜	宇宙航空プロジェクト研究員	岡田陽子	研究員	白簾麻衣
		研究員	巻内慎一郎	東大・理	石原大助

「あかり」は7月24日にジャイロ出力異常により待避姿勢へ自動移行した。7月26日には出力異常が生じたジャイロを除外した制御を立ち上げ、その後制御データを確認し、観測に最適なジャイロ設定を行い、定常観測を再開した。

また、今後の運用への影響に配慮し、打ち上げ当初の太陽面異常の後遺症による温度環境劣化によるジャイロへの影響、制御駆動系などの制御系に影響する機器の長期モニターを継続して実施している。

II-4-d-18

「あかり」によるヴェガ型星の研究

教授	村上 浩	教授	中川貴雄	准教授	片坐宏一
准教授	山村一誠	助教	和田武彦	助教	塩谷圭吾
		開発員	長谷川直	科学技術振興機構	平尾孝憲
		宇宙航空プロジェクト研究員	深川美里	研究員	大坪貴文
東大・理	石原大助	東大・理	藤原英明	東大・教養	上野宗孝
		茨城大・理	岡本美子	広島大・理	山下卓也
		国立天文台	田村元秀	OpenUniversity	Glenn J. White
				OpenUniversity	Jonathan Marshall

ヴェガ型星は、主系列星でありながら周囲に塵円盤を持ち、その赤外線放射が観測されるものであり、惑星形成の最終段階、あるいはその痕跡を見ていると考えられている。「あかり」(ASTRO-F)の全天サーベイにより新たなサンプルを含む多数のヴェガ型星を観測し、塵円盤の起源、塵の分布等、あるいはその消失過程を系統的に研究し、惑星形成過程の理解を目指す。またポインティング観測によっても近傍のヴェガ型星を観測し、これまで観測されていない暗い赤外線放射(より少ない塵の円盤)までを検出することを目指す。2008年には、「あかり」搭載赤外線カメラ(IRC)が全天サーベイで検出した赤外線源の精査を行い、確実なものだけで6個の新発見を含む9個のヴェガ型星を検出し、地上望遠鏡による追観測を行った。また指向観測でも、塵の量の少ないヴェガ型星を6個以上発見した。遠赤外線サーベイヤー(FIS)による近傍の星の観測についてもデータ解析が進み、多くの星について低温の塵円盤の測光結果が得られている。

II-4-d-19

「あかり」FISの天体を用いた遠赤外線強度較正の検討

准教授	山村一誠	開発員	長谷川直	助教	松浦周二
研究員	白簾麻衣	研究員	巻内慎一郎	名大・理	大坪貴文
国立天文台	関口朋彦			マックスプランク研究所	Th. Mu・・ller
				カリフォルニア大学バークレー校	M. Cohen

「あかり」(ASTRO-F)搭載遠赤外線サーベイヤー(FIS)のために、遠赤外線領域における輻射強度較正標準天体を確立する作業を行っている。標準天体としては、恒星と小惑星を中心に、惑星あるいは銀河も用いる。2003年頃より、標準天体の候補について、地上観測などの情報を収集・解析して準備作業を行っており、打ち上げ後より実際のデータを用いた解析・評価作業を行っている。2008年度は全天サーベikatログのリリースに向けて、実際にカタログで用いられるものと同等の処理によって測定されたデータの強度較正を行った。また、指向観測に

よる点源天体の測光について、データ処理システムの性能改善に伴って、観測と理論モデルによる推測値のより高精度の評価・解析をすすめた。その結果、サーベイについては 30-60%, 指向観測についてはおおよそ 15% ($160\ \mu\text{m}$ バンドを除く) の測光精度を達成している。今後もデータ処理・構成方法の改善により、さらに高い精度を実現するように作業を続ける。

II-4-d-20

「あかり」による近傍銀河の星間ダストの研究

名大・理	金田英宏	国立天文台	鈴木仁研	東大・理	尾中 敬
東大・理	左近 樹	ぐんま天文台	高橋英則	研究員	石原大助

約 70 個のさまざまなタイプの近傍銀河に対し、「あかり」(ASTRO-F) によって、近赤外線・遠赤外線の撮像観測、および近赤・中間赤外線での分光観測を、系統的に行うプログラムを進めた。これは、星間空間のさまざまな物理環境下でダストの特性がどう変化するか、星生成や銀河進化との関わりなどを、系統的に調べるものである。2008 年度は、近傍楕円銀河 NGC4589 を観測し、巨大有機分子 PAH と遠赤外線ダストの銀河内空間分布を求めた。また、M101 と M81 を観測し、遠赤外線撮像で得られたダストの空間分布の構造などの成果をまとめた。また、横向渦巻銀河 NGC253 からのダストアウトフローを検出した。このプログラムの全体的な初期成果のまとめを含めて、これらはそれぞれ投稿論文として発表（あるいは準備）した。

II-4-d-21

「あかり」による大光度赤外線銀河/活動的銀河核の近中間赤外分光観測

教授	中川貴雄	教授	松原英雄	准教授	紀伊恒男
助教	松浦周二	助教	和田武彦	助教	金田英宏
		助教	塩谷圭吾	研究員	白藪麻衣
		宇宙航空プロジェクト研究員	大山陽一	研究員	大藪進喜
東大・理	尾中 敬	東京大学	川原公明	国立天文台	今西昌俊

「あかり」(ASTRO-F) による大光度赤外線銀河/活動的銀河核の観測の研究を進めている。2008 年度は、近赤外線の観測に集中して、さらに観測サンプル数を増やした。

得られたスペクトルは多彩な姿を示した。大光度赤外線銀河では、活発な星形成活動を示す PAH Feature に加え、Water Ice などによる吸収が見られ、冷たい星間ガスに系が取り囲まれていることがわかった。さらに、一部の銀河では、一酸化炭素による吸収がみられ、しかもそのスペクトル線が非常に太いことがわかった。これらのスペクトルから、観測した銀河を、大きく 3 種類（星生成活動が盛んであると思われるもの、活動銀河核活動が盛んであると思われるもの、活動銀河核が多量のガス/ダストに埋もれていると思われるもの）に分類することができた。さらに、分子ガスの吸収バンドの形を精密に評価することで、銀河の中心核付近に存在するガスが非常に高温高密度であり、活動銀河核により暖められていることを明らかにした。

II-4-d-22

「あかり」による褐色矮星の近赤外線分光観測

准教授	山村一誠	東大・理	辻 隆	国立天文台	中島 紀
				東大・理	田辺俊彦

褐色矮星は、質量が小さすぎるために星の中心で核融合反応を持続することが出来ず、形成の後はそのまま冷えてしまう星である。有効温度は 2000 度程度から数百度程度にまでなる。褐色矮星の大気構造は、恒星大気と惑星大気の間をつなぐものとしてその詳細な研究が望まれてきた。2-5 マイクロメートルの波長帯での分光観測は、褐色矮星の大気中に存在する分子の吸収バンドを手がかりに、その物理・化学的構造を解明するための重要なデータとなるが、これまでの地上観測で得られる情報は限られていた。我々は「あかり」(ASTRO-F) 搭載の IRC の近赤外線分光モードによって、さまざまな有効温度を持つ 11 の褐色矮星の観測を行い、そのうち 7 天体からクオリ

ティの良いデータを得た。これによって、これまで推測の域を出なかった、おそらく大気内部の対流に起因すると思われる分子組成の非熱化学平衡状態の存在を確定した。また、二酸化炭素分子を世界で初めて検出した。これらの定量的なモデル解析を行い、成果を発表する準備を進めている。並行して、Phase 3 で M 型矮星を含むさらに多くの天体の観測を推敲している。

II-4-d-23

「あかり」による広がった星周ダストシエルの遠赤外線観測

准教授	山村一誠	国立天文台	泉浦秀行	デンバー大	植田稔也
国立天文台	松浦美香子	東大・理	中田好一	国立天文台	板 由房
京大・理	松永典之	東大・理	田辺俊彦	東大・理	富士比奈子

我々は、小・中質量星の進化末期に起きる質量放出現象が、中心星の進化とともにどのように変化し、またそれが星のどの性質に依存しているのかを理解する目的で、放出された物質が星を取り巻いて広がっている星周縁中の、ダストの放つ遠赤外線を空間分解して観測し、質量放出の履歴を求めようとしている。観測は「あかり」(ASTRO-F) 搭載の遠赤外線サーベイヤー FIS により、指向観測モードで行った。144 星の観測が行われ、そのうちの半分以上から広がったダストシエルを検出した。これは、これまでの観測で見つかった同種の星の数をほぼ一桁増やすことになる貴重な観測データとなった。この中から、特に代表的な天体についての詳細な解析が現在進行中である。

II-4-d-24

「あかり」による系外矮小銀河中の赤外線天体の観測

准教授	山村一誠	東大・理	中田好一	国立天文台	板 由房
京大・理	松永典之	東大・理	田辺俊彦	東大・理	富士比奈子
国立天文台	松浦美香子	国立天文台	泉浦秀行	デンバー大	植田稔也

恒星進化末期の質量放出には、ダストの形成が大きな役割を果たしていると考えられている。宇宙の歴史の中で、質量放出によって重元素の量がどのように増加してきたのかを理解するためには、低金属量下での質量放出がどのようなものであるかを明らかにする必要がある。我々は、銀河系と比べて金属量がずっと小さい系外矮小銀河および球状星団を、「あかり」(ASTRO-F) 搭載の近・中間赤外線カメラ IRC によって撮像観測し、赤外線が超過している質量放出星を検出してその放出量を見積もることで、それぞれの環境中での質量放出の状況を把握しようとしている。既に、いくつかの銀河中から著しい赤外線超過を示す天体を検出しており、その詳細な解析と検討を行っている。

II-4-d-25

「あかり」による遠赤外銀河ディープサーベイと宇宙背景放射の観測

助教	松浦周二	教授	中川貴雄	教授	松原英雄
		研究員	白簾麻衣	研究員	大藪進喜
	宇宙航空プロジェクト研究員		大山陽一	研究員	高木俊暢
名古屋大	川田光伸	名古屋大	竹内 努	岩手大	花見仁史
国立天文台	松尾 宏		ラザフォードアップルトン研究所		C. Pearson
	ラザフォードアップルトン研究所		G. White	オープン大	S. Serjeant
				KASI	W.-S. Jeong

「あかり」(ASTRO-F) による遠方の赤外銀河の遠赤外線ディープサーベイと宇宙背景放射の観測的研究を進めている。遠方宇宙での銀河形成途上にある星生成活動が活発な銀河においては、自身が放出した重元素のダストによって紫外線や可視光が吸収遮蔽されるため、可視での観測が困難なことが多い。そのような銀河は、ダストに吸収された光エネルギーを熱放射として中遠赤外域で再放射し、遠方のものでは宇宙膨張による赤方偏移により遠赤

外域での検出が有望である。本研究では、これまでにない広さと深さでの銀河サーベイを行って、赤外銀河の数密度と光度進化、クラスターリング検出による構造進化、さらには、検出限界以下の暗い銀河が形成する宇宙背景放射の強度や空間ゆらぎを探索する。このため、全天で最も銀河系内ダスト放射が弱い南黄極近傍の 12 平方度の領域 (AKARI Deep Field South:ADF-S) をマッピング観測した。その結果、波長 $90\mu\text{m}$ において、これまでよりはるかに暗い (遠方の) 赤外銀河を 2000 個以上検出した。また、宇宙背景放射の検出にも成功し、現行の銀河進化モデルから予言されるよりもはるかに明るいことがわかった。さらに、宇宙背景放射のゆらぎの角度スペクトル中にクラスターリング成分が見つかった。これらは、銀河進化と構造形成の研究に大変重要な情報をもたらす。

II-4-d-26

「あかり」遠赤外銀河ディープサーベイ領域のフォローアップ観測

助教	松浦周二	研究員	白籬麻衣	研究員	大藪進喜
	宇宙航空プロジェクト研究員		大山陽一	研究員	高木俊暢
名古屋大	川田光伸	名古屋大	竹内 努	岩手大	花見仁史
東大	河野孝太郎	東大	廿日出文洋	国立天文台	松尾 宏
			ラザフォードアップルトン研究所		C. Pearson
			ラザフォードアップルトン研究所		G. White
		オープン大	S. Serjeant	カトリカ大	S. Khan

南黄極近傍「あかり」遠赤外線ディープサーベイ領域 (AKARI Deep Field South : ADF-S) において、紫外線から電波に至る広い波長域でのフォローアップ観測を進めている。これまでに、ADF-S 領域中心付近の約 5 平方度において、地上望遠鏡による可視 R バンドのマッピング観測、約 1 平方度の「あかり」IRC による近中赤外観測、約 0.5 平方度の ASTE/AzTEC と APEX/LABOCA のミリ波とサブミリ波観測、ATCA の 20cm 電波観測、などのデータを取得した。さらに、あかりで検出された銀河についての可視域での分光観測も行なった。現在、これらの観測データを解析し、遠赤外銀河の可視同定、広域放射スペクトルによる銀河種族や赤方偏移の推定、分光観測による赤方偏移とそれによる光度の決定などを進めつつある。

II-4-d-27

「あかり」による近赤外宇宙背景放射の観測

名誉教授	松本敏雄	助教	松浦周二	教授	松原英雄
助教	和田武彦	ソウル大	H. M. Lee	ソウル大	J. H. Pyo
		ソウル大	H. J. Seo	KASI	W.-S. Jeong

「あかり」(ASTRO-F) による近赤外宇宙背景放射の観測的研究を進めている。IRTS などの観測結果により、近赤外宇宙背景放射の明るさは、通常銀河の重ね合わせで得られるものの数倍に相当し、宇宙にはまだ知られていない膨大なエネルギー発生源があることが分かった。この背景放射の起源は、その放射スペクトルから、宇宙初期に誕生した第一世代の星による可能性が示唆されている。また、この宇宙背景放射は大きな空間的ゆらぎを示しており、今後の詳細な研究により宇宙初期の構造形成段階の研究に重要な情報をもたらす可能性がある。ただし、これまでの観測は、数分角以上の角分解能で行われたため、銀河などの点状天体の背景放射への寄与の見積もりに不定性があった。我々は、角分解能がこれまでの 100 倍以上も高い「あかり」搭載の近赤外カメラ (IRC) を用いて、銀河などの寄与を除外した宇宙背景放射の観測を北黄極周辺の約 6 平方度の領域にて行なった。また、年間通しての北黄極の定点観測によって主要な前景成分である黄道光の季節変動を正確に測定し、これを観測値から差し引くことで、宇宙背景放射成分を抽出した。このデータ解析を行なった結果、これまでにない高い測定精度で $2-5\mu\text{m}$ の波長域での宇宙背景放射とそのゆらぎの検出に成功した。今後、宇宙第一世代星のモデル等との比較を行なって、宇宙初期の構造形成の研究を進める。

II-4-d-28

「あかり」によるシュヴァスマン-ヴァハマン第3彗星の観測

研究員	臼井文彦	国立天文台	石黒正晃	東大・理	石原大助
		研究員	大坪貴文	東大・教養	上野宗孝

73P/シュヴァスマン-ヴァハマン第3彗星(73P)は、1995年の回帰時に大規模な分裂を起こし、非常に多くの破片に分かれるのが観測された。2006年の回帰時において、5月と7月の2回「あかり」の全天サーベイによって73Pの分裂核の広がり様子を観測することに成功した。彗星は移動天体なので、通常の方法ではなく彗星追尾法によりコンボジット画像を作成した。この取得画像から、観測時、C核は活動的だったのに対して、B核は枯渇している様子が捕らえられた。また、G核は、同時期の他の観測と同様、検出されなかった。この観測結果を元に分裂核の熱進化について考察した。

II-4-d-29

「あかり」による銀河中心領域の観測的研究

教授	中川貴雄	研究員	大坪貴文	名古屋大・理	金田英宏
名古屋大・理	川田光伸	名古屋大・理	安田晃子	群馬天文台	高橋英則
		美星天文台	村上紀子	大阪大学	芝井 広

「あかり」搭載のFISフーリエ分光器を用いて、銀河系の中心領域(以下、銀河中心)の観測的研究を進めた。銀河中心は、非常に大きな光度を持っているにもかかわらず、そのエネルギーの源となるべき早期型星が多くは見つからず、大きな光度の源が謎となってきた。

従来の銀河中心領域の詳細な遠赤外線分光観測は、観測領域がきわめて限られたものであるという欠点があった。そこで、より広い領域の観測を目指して、「あかり」搭載のフーリエ分光器のデータ解析にとりくんだ。このフーリエ分光器は、遠赤外線領域において世界で初めて「面分光」を可能にした優れた機器である。この結果を用いて、銀河中心領域のエネルギー源について、新しい知見を得た。

e. SOLAR-B プロジェクトチーム

II-4-e-1

「ひので」の開発および観測運用

准教授	坂尾太郎	准教授	清水敏文	准教授	松崎恵一
		技術職員	太刀川純孝	客員教授	常田佐久
				宇宙航空プロジェクト研究員	成影典之
				宇宙航空プロジェクト研究員	渡邊恭子
国立天文台	渡邊鉄哉	国立天文台	末松芳法	国立天文台	一本 潔
国立天文台	中桐正夫	国立天文	台原弘久	国立天文台	鹿野良平
国立天文台	勝川行雄	国立天文台	坂東貴政	教授	山田隆弘
教授	山本善一	教授	田島道夫	教授	橋本樹明
教授	石井信明	准教授	峯杉賢治	准教授	廣瀬和之
准教授	坂井真一郎	准教授	澤井秀次郎	准教授	戸田知朗
准教授	加藤隆二	助教	大西 晃	助教	豊田裕之
助教	坂東信尚	助教	竹内 央	技術職員	廣川英治
技術職員	志田真樹	技術職員	中塚潤一	技術職員	斎藤 宏
技術職員	長江朋子	技術職員	餅原義孝	技術職員	周東晃四郎
		派遣職員	井上浩三郎	安全・品質保証室	大串義雄
		安全・品質保証室	清水幸夫	他「ひので」チーム	

「SOLAR-B」は、可視光を用いた太陽表面磁場の精密測定と X 線及び極紫外線によるコロナの撮像および分光プラズマ診断観測を通じて、太陽の表面からコロナにわたる磁氣的活動や加熱の全貌をとらえ、宇宙プラズマの素過程や太陽地球間宇宙環境に影響を与える磁氣的活動の源を調べることを目的として開発された。可視光望遠鏡は日米共同開発の口径 50cm のグレゴリアン望遠鏡とその焦点面観測装置であり、回折限界分解能 0.2 秒角で太陽表面の磁場ベクトルを精密測定する性能を誇る。X 線望遠鏡、極紫外線撮像分光装置もそれぞれ日米、日英米の国際共同開発で、「ようこう」や SOHO 衛星に搭載された同種観測装置を大幅に上回る性能を誇る。

「SOLAR-B」は、2006 年 9 月 23 日 6 時 36 分（日本標準時）に M-V ロケット 7 号機により打上げられ、初期投入軌道に予定どおり投入され、「ひので」と命名された。衛星はロケットから分離後、打上げからおよそ 17 分後に太陽捕捉を完了、その後太陽電池パドル展開・太陽再補足完了した。その後計 4 回の軌道マヌーバを実施し、最終的に、高度約 680km、傾斜角 98.1° の太陽同期極軌道に投入された。姿勢制御系の機能・性能確認の後、3 つの望遠鏡の電源投入およびドア開けを行い、同年 10 月下旬より試験観測を開始した。試験観測からすべての望遠鏡が非常に高い解像度など所定の性能を有していることが確認され、現在までに様々な新しい科学研究を発展できる優れた太陽画像データが得られている。2007 年年末より X 帯での科学データダウンリンクが不安定となる事象が発生し、2008 年 2 月より S 帯でのデータダウンリンクへの移行作業に着手した。2008 年度は望遠鏡側で観測の効率化を図り、発生するデータ量を可能な限り抑えるとともに、S 帯ダウンリンク作業（S 帯地上受信局の確保や JAXA 地上局の伝送回線増強など）を進めた。世界の太陽コミュニティに対する観測提案の受付・実施は、S 帯移行にともない一時的に中断していたが、2008 年 7 月より再開し、また、10 月上旬からは、所期の S 帯移行作業を完了し当初予定した地上受信局数を確保した状態での観測を行っている。これにより、引き続き、高い科学的価値をもつ観測・データ取得が可能となっている。この S 帯移行作業と並行して、科学本部の安全・品質保証室の全面的な支援・参加を得て、X 帯ダウンリンク機器（XMOD）担当メーカーとの、試作品を製作しての試験等の原因調査活動を進めている。

II-4-e-2

「ひので」搭載 X 線望遠鏡 CCD カメラの軌道上性能検証

准教授	坂尾太郎	准教授	松崎恵一	宇宙航空プロジェクト研究員	成影典之
国立天文台	常田佐久	国立天文台	鹿野良平	国立天文台	原 弘久
国立天文台	坂東貴政	国立天文台	熊谷收可	国立天文台	田村友範
		国立天文台	中桐正夫		他「ひので」チーム

「ひので」X 線望遠鏡の焦点面 CCD カメラは、(1) 長波長の軟 X 線 (XUV 光) にまで感度を持たせるために裏面照射型 CCD を採用、(2) 放射冷却により軌道上で CCD を約-80℃まで冷却可能、かつ CCD のベークイング機能を持つ、(3) 斜入射 X 線光学系の結像特性を活かす焦点調節機構 (CCD 可動機構)、などの特長を持つ。この CCD カメラは国立天文台との密接な協力のもとに開発・製作を行なった。2006 年の衛星打上げ後、本 CCD カメラの軌道上での諸性能の評価を継続している。CCD カメラは、設計値を上回る良好な CCD 冷却性能・温度安定性能をはじめ、所期の性能を示している。

II-4-e-3

「ひので」搭載 X 線望遠鏡の開発と運用

准教授	坂尾太郎	准教授	松崎恵一	宇宙航空プロジェクト研究員	成影典之
国立天文台	常田佐久	国立天文台	鹿野良平	国立天文台	台原弘久
					他「ひので」チーム

国立天文台および米国スミソニアン天文台 (SAO) と協力して、「ひので」に搭載する X 線望遠鏡 (XRT) の開発・製作を実施し、観測運用を継続している。この望遠鏡は、「ようこう」に搭載された軟 X 線望遠鏡と比べて、太陽コロナ中の 100 万度程度の低温プラズマにも感度を持つこと、2 倍以上の高空間分解能化 (1 秒角) を図っていること、などの特徴を持っており、米国側が望遠鏡部および全体組み上げを、日本側は焦点面 CCD カメラの開発を担当した。観測運用にあたっては日米 XRT チームより半々の割合で運用を担当し、週例の国際電話会議を通じて観測対象の協議、望遠鏡の健全性の議論、および観測担当者間の確実な引き継ぎを図っている。

II-4-e-4

「ひので」搭載 X 線望遠鏡 CCD カメラのコンタミネーション評価

		准教授	坂尾太郎	宇宙航空プロジェクト研究員	成影典之
		国立天文台	常田佐久	国立天文台	鹿野良平
国立天文台	台原弘久	国立天文台	坂東貴政		他「ひので」チーム

「ひので」X 線望遠鏡 (XRT) の焦点面 CCD カメラ上に、コンタミネーション物質の堆積が確認され、また、コンタミ物質を十分堆積させた後に実施した CCD ベークイングにより、CCD 上にスポット状のコンタミ物質残留が認められた。このコンタミ事象に対し、X 線・可視光撮像データを用いた堆積物質の特定 (フタル酸ジエチルヘキシル (DEHP) または類似の成分) や、CCD 周辺部のコンタミネーションモデルを作成してのコンタミ物質の到来方向の同定 (CCD 前方の鏡筒方向より到来) を行なった。なお、ベークイングにより CCD 感度は回復する。可視光チャンネル (G バンド) の太陽像の輝度変化から CCD 上へのコンタミ物質の堆積量を精度よく見積もることができ、これと実際の太陽観測データとの比較から、CCD 前方の焦点面金属フィルターにも一定量のコンタミ物質が付着している可能性の高いことが判明した。これらコンタミの全体像を取り込んだ XRT のレスポンスモデルを現在作成中である。

II-4-e-5

「ひので」搭載極端紫外線撮像分光装置 (EIS) の成果

国立天文台	渡邊鉄哉	国立天文台	原 弘久	他「ひので」チーム
-------	------	-------	------	-----------

「ひので」搭載の極端紫外線撮像分光装置 (EIS) は打ち上げからこれまで順調に運用され、取得された遷移層・

コロナからの極端紫外線スペクトルや極端紫外線像から 2008 年度には数多くの成果が得られた。それらには、EIS の観測波長帯である 17-29nm の波長領域での新輝線の発見と遷移過程の同定といった基本的なものから、コロナの加熱の本質に関わる重要な発見まで多岐にわたっている。コロナの加熱については、EIS の空間分解能以下の小さなスケールで起こっていることが、EIS の密度診断能力により観測的に明確に示されたといえる。また、コロナを形成する基本要素であるコロナループの足元に低輝度で音速程度的高速流が発見され、微小スケールの加熱がコロナのかなり下部に集中して発生していることを強く示す結果が得られた。太陽フレアのような爆発現象に対しては、形成温度の異なる多数の輝線からその温度構造が明確に示され、磁力線に沿ったプラズマ流の検出からも関わる磁力線の構造が可視化された。また、フレア時に発生する磁気流体衝撃波を極端紫外線領域のスペクトル観測で初めて検出することに成功している。

II-4-e-6

「ひので」データ伝送・コマンド計画・データ処理・解析システムの開発

准教授	松崎恵一	准教授	清水敏文
宇宙航空プロジェクト研究員	成影典之	国立天文台	坂東貴政

「ひので」の科学運用からデータ解析に用いられる計算機システムは、その科学的成果を産み出す基盤となるものである。安定な運用を実現するため、維持管理ポリシーを制定し、これに従った管理を実施している。本年度は、JAXA の要求によるネットワーク構成の変更に対応した。また、データ処理においては、テレメトリ欠損に対し、データを失う影響の低い圧縮画像解凍モジュールを開発した。

II-4-e-7

「ひので」可視光望遠鏡を用いた白色光フレアの研究

宇宙航空プロジェクト研究員	渡邊恭子	准教授	清水敏文
		京都大学・花山天文台	一本 潔
		名古屋大学太陽地球環境研究所	増田 智
SSL/UCB	S. Krucker	SSL/UCB	H. Hudson

太陽フレア現象中においては粒子が高エネルギーまで加速されており、「ひので」等によって観測されている突発的な白色光増光現象も、このような非熱的エネルギーまで加速された電子によってもたらされていると考えられている。この白色光フレアと、電子加速にともなって発生する硬 X 線放射を比べることによって、加速電子の情報を知ることができる。白色光フレアの観測例は少ないが、現在では衛星観測により、C-class フレアからもその増光が観測されている。「ひので」搭載の可視光磁場望遠鏡 (SOT) の G-band のラインを用いて、白色光放射の有無を調べることで、9 つの白色光フレアイベントを発見した。この中でも特に 2006 年 12 月 14 日に発生した白色光フレアイベントについて、RHESSI 衛星で硬 X 線のデータとの比較を行い、いくつかの放射モデルを仮定することによって、その関連性・整合性を調べたところ、白色光の放射は高エネルギー (50keV 以上) の加速電子に由来していることが分かってきた。他の白色光フレアイベントについても詳細な解析を進めており、今後、統計的な議論を行ってゆく。

II-4-e-8

「ひので」の次期太陽活動期における太陽フレア観測プランの構築

宇宙航空プロジェクト研究員	渡邊恭子	准教授	清水敏文
LMSAL	T. Tarbell	他「ひので」チーム	

「ひので」は X 帯ダウンリンク問題により取得データ量が減少したが、現在では、受信局の増加や観測の工夫により有意義な観測が行われている。しかし今後、太陽活動が活発になるにつれて急激に取得データ量が増加し、そのために衛星が観測不能となる可能性があるため、次期太陽活動期にむけて、「活動領域」「フレア」に対する汎用性の高い観測プランの立案・準備が急務となっている。「ひので」の中でも取得データの大部分 (70%) を占める

のが可視光磁場望遠鏡 (SOT) であるため, SOT の「活動領域」「フレア」観測計画は特に重要である. SOT では定期的にベクトル磁場のデータを取得するプログラムを軸に, できる限り可視光のイメージも取得し, 「フレア」や「活動領域」による磁場とその上空のプラズマの変化を詳細に観測してゆく計画である. その他の観測機器 (XRT・EIS) についても, 今後具体的な計画を進めてゆく.

II-4-e-9

浮上磁気ループの輻射輸送計算によるコロナ加熱モデルの検証

招聘研究員 加藤成晃

准教授 清水敏文

国立天文台

真柄哲也

数千度の光球上空に百万度という高温状態を保つコロナが存在する現象を説明する物理機構は未だ研究途上にある. 太陽表面からコロナにかけての熱力学的状態とそれを反映した輻射過程を調べることは, コロナ加熱の物理機構を理解する上で重要な研究課題である. 太陽大気の流れが散逸し熱化する過程は多種多様で, 空間的にも時間的にも特徴があり, それぞれ見え方が違うはずである. そこで浮上磁束管の輻射輸送計算を行い, 見え方の違いからコロナループ加熱モデルの妥当性について検証した. 浮上磁束管の 3 次元磁気流体シミュレーション (真柄 2006) から得られた電流分布を用いて, 磁束管の加熱過程をモデル化し, 加熱後の電子温度と密度の空間分布を再評価した磁気流体データの輻射輸送計算を行った. 電流がある閾値を越えた所でジュール加熱するモデルでは, 遷移層付近で加熱が起こり, 磁束管内の密度が十分大きくなると, コロナループの足元が熱制動放射により X 線で明るく輝く様子が再現された. これは従来の 1 次元ループ計算では考慮されていないループの足元での物理量分布を考慮している. しかし「ひので」X 線望遠鏡の軟 X 線で見えているコロナループ構造を再現できないことから, シミュレーションでは捉えきれない未知の加熱機構が存在することを示している.

II-4-e-10

コロナ磁気ループ加熱機構の輻射輸送計算による検証

招聘研究員

加藤成晃

准教授

清水敏文

HAO/NCAR

久保雅仁

海洋研究開発機構

井上 諭

国立天文台

真柄哲也

前述の通り, 浮上磁束管の 3 次元磁気流体シミュレーションに基づいた単純な電流加熱モデルでは軟 X 線コロナループ構造を再現出来ない. しかしこの原因が, 磁気流体大気モデルなのか加熱モデルなのか明確ではなかった. そこで「ひので」可視光望遠鏡 (SOT) による磁場観測データに基づいた大気モデル (磁場構造と電流密度分布) を用いて, 加熱モデル自体の妥当性を X 線望遠鏡 (XRT) の観測データを用いて検証した. SOT/SP データに基づいて, 比較的穏やかな活動領域の 3 次元ポテンシャル磁場構造, 光球面から遷移層付近の水平面内の電流密度分布を計算し, 3 次元空間の大気モデルを構築した. この大気モデルに対して, 前回と同様に電流がある閾値を越えた領域で加熱が起こる異常抵抗モデルを採用し, 加熱後の電子温度と密度の空間分布を再評価した大気モデルの輻射輸送計算を行った. その結果, 電流の閾値に応じて軟 X 線ループの本数が変化し, 閾値が 1mA 程度の場合, XRT イメージに良く似た軟 X 線ループ構造を再現できることが分かった. さらに太陽大気の高波長連続波スペクトルを用いた診断によると, X 線放射の強度を説明するには, 「ひので」SOT/SP では観測できない光球面から 600km 程度上空に加熱・蒸発領域があることを示唆していることが分かった. 即ち, 彩層およびコロナ加熱を担う異常抵抗機構を観測的に制限できる可能性があることを示している.

II-4-e-11

「ひので」サイエンス運用方法の改訂

准教授

清水敏文

宇宙航空プロジェクト研究員

成影典之

国立天文台

坂東貴政

国立天文台

勝川行雄

NASA/MSFC

A. Sterling

ロンドン大学 MSSL

D. Williams

他「ひので」科学運用チーム

「ひので」は世界に開かれた軌道上太陽天文台として科学運用を実施している. X 帯通信での科学データ伝送に障害が発生し, 安定した科学運用を行うために伝送に用いる通信を S 帯高速ラインに 2008 年春以降順次変更した.

これに伴い、搭載データレコーダの運用方法、観測計画の衛星へのアップロード頻度などを大幅に改訂した。S 帯受信の地上局の増強も行われ、地上局の立案計画方法の見直し等も行った。科学観測は、科学運用チームが主体的に提案・実施するコア観測プログラムと、世界の研究者からの提案に基づく観測提案プログラム（HOP, Hinode Operation Plan）に基づいて行われる。特に、観測提案プログラムの実施を行うために必要となる事項の明確化などを行い、WEB で世界に周知させた。

f. INDEX プロジェクトチーム

II-4-f-1

「れいめい」衛星によるオーロラ観測（まとめ）

東大・大学院	平原聖文	東北大・大学院	坂野井健	東北大・大学院	岡野章一
東北大・大学院	笠羽康正	助教	浅村和史	助教	山崎 敦
准教授	齋藤義文	准教授	篠原 育	情報・システム研究機構	小川泰信
		宇宙航空プロジェクト研究員	宮下幸長	情報・システム研究機構	麻生武彦
		情報・システム研究機構	門倉 昭	情報・システム研究機構	岡田雅樹
		情報・システム研究機構	宮岡 宏	名大	藤井良一
情報・システム研究機構	佐藤夏雄	名大	野澤悟徳	名大	海老原祐輔
客員准教授	田口 真	名大	関華奈子	名大	三好由純
名大	塩川和夫	名大	大山伸一郎	京大・大学院	齊藤昭則
名大	家田章正	情報通信研究機構	亘 慎一	電通大	細川敬祐
				愛媛大	村田健史

「れいめい」は 2005 年 8 月の打ち上げ以降、軌道上で 42 ヶ月が経過したが、オーロラ活動や太陽風流入に関わる電離圏変動の把握に適した太陽同期軌道上での理学観測を継続している。その結果、今年度においても、過去のオーロラ探査衛星のみならず、2006 年度までの「れいめい」による観測では取得されなかった様々な新しい観測データを取得するに至った。一方で、「れいめい」による高い理学観測成果を支えているものとして、衛星計画そのものの独創性・独自性（理想的な軌道要素（高度・子午面）と高精度の衛星姿勢制御を活用した高時間・高空間分解能によるオーロラ画像・粒子観測）を活かすということだけではなく、地上観測装置との同時多点観測を精力的に実行していることも挙げられよう。我々、「れいめい」理学観測班と他研究機関に所属する地上観測の研究者との協同においても、過去の国内外の衛星・地上共同観測計画において例がない程の質的・量的な連携が特徴的である。また、「れいめい」を用いた理学研究を特徴付けるものとして、計画立案・データ解析用ツールの構築がある。海外衛星計画では標準になりつつあるが、国内の太陽地球系物理学における衛星計画では極めて特筆すべきものである。最近 DARTS に整備された CEF（Conjunction Event Finder）もその一つであり、地上観測装置のみならず他衛星との今後の共同観測の立案に大きな役割を果たすことは言を俟たない。この CEF に加えて、宇宙研内外でデータベース・解析ツールの充実がなされつつあり、「れいめい」による高い研究成果をもたらす原動力として位置付けられる。「れいめい」による理学データは一般・専門家に対して高い公開性を実現しており、自由な閲覧・解析が可能となっている。

II-4-f-2

「れいめい」の定常運用

助教	浅村和史	助教	山崎 敦	開発員	永松弘行
情報・通信研究機構	岡田雅樹	東北大・理	小淵保幸	東北大・理	坂野井健
立教大・理	平原聖文	開発員	坂井智彦	助教	福田盛介
助教	福島洋介	准教授	坂井真一郎	准教授	水野貴秀
		教授	齋藤宏文	INDEX プロジェクトチーム	

「れいめい」は XML をベースとした統一的な運用手順書/コマンド作成ソフトウェアに加え、搭載計算機のプロトタイプモデルや各種ダイナミクスシミュレータを用いるコマンドの事前検証システムを整備し、少人数でも柔軟かつ安全な運用を実現している。また、極軌道衛星に有利な北欧の民間地上局（SvalSat 局、Tromso 局）を利用し、効率的な観測データ、衛星監視データのダウンリンクを行っている。2007 年から南極昭和基地においても第 48 次、第 49 次、第 50 次南極地域観測隊により「れいめい」の受信を開始し、上記 2 局に加えて南半球での受信が可能となった。運用体制の変更を最小限に抑えて、より多くの観測データのダウンリンクが可能になった。

II-4-f-3

「れいめい」によるブラックオーロラ・パルセーティングオーロラの画像・粒子同時観測

東北大・理	坂野井健	東北大・理	西山尚典	助教	浅村和史
助教	山崎 敦	東大・理	平原聖文	東北大・理	岡野章一
		東北大・理	笠羽康正	名大・高等研究院	海老原祐輔
				INDEX プロジェクトチーム	

パルセーティングオーロラはディフューズオーロラ中にみられる周期的（数秒程度）に点滅するパッチ状発光構造であり、これまでに多くの研究がされているが、その生成メカニズムは不明である。れいめい衛星では、光学・粒子同時観測データから、パルセーティングオーロラ現象の同定と、これを引き起こす降下電子観測が可能であり、これまでにない高時間分解能のデータセットからユニークな成果が期待できる。本研究では、降下電子中にみられる時間分散から TOF（Time-of-flight）解析を実施し、ソース領域推定を行った。TOF 解析は、2005 年 11 月から 2007 年 8 月までの 15 パス、38 例のパルセーティングオーロラに伴う降下電子イベントについて行われた。得られた結果は、発生ソースが磁気圏赤道面付近であることを示していたが、完全な赤道面よりはむしろ磁気緯度 30 度付近に渡って連続的に分布していた。この分布を解釈するために、ピッチ角散乱レートもモデル計算を実施した。この結果、ピッチ角散乱レートは磁気緯度 0 度よりむしろ 30 度程度の Off-equator のほうが高いことが示された。これは観測事実と合致する。現在は、パルセーティングオーロラの発光周期性と形状について研究を進めている。

II-4-f-4

「れいめい」観測と昭和基地地上観測によるオーロラ微細構造の研究

助手	浅村和史	極地研	岡田雅樹	東大・理	平原聖文
		東北大・理	坂野井健	極地研	佐藤夏雄

2007 年（第 48 次南極地域観測隊）より昭和基地において「れいめい」データの試験受信を開始したことにより、昭和基地における豊富な地上観測との同時観測によるデータの蓄積が可能になった。昭和基地においては、オーロラテレビ観測（ATV）、カラーデジタルカメラ観測（CDC）、スキャンニングフォトメータ観測（SPM）、オーロラスペクトルイメージャー（ASI-1, 2）がオーロラ観測のために天候が許す限り稼働している。地上からの高時間分解能の画像と比較することにより、衛星観測と補完的な同時観測を実現できると考えられる。「れいめい」搭載の電流モニター（CRM）は、飛翔体環境のモニターとして粒子計測（EISA）とともに短時間の飛翔体環境変化をモニターすることができると期待されている。昭和基地における「れいめい」データの受信が可能になり、より多くの CRM データが蓄積され、オーロラ高エネルギー粒子による飛翔体環境変動のシミュレーションに役立つものと

期待される。

II-4-f-5

「れいめい」による波動加速されたオーロラ電子の研究

助手	浅村和史	名大・高等研究院	海老原祐輔	東北大理	坂野井健
東北大理	小淵保幸	助教	山崎 敦	立教大理	平原聖文
				東北大理	笠羽康正

「れいめい」はオーロラ加速域よりも下部を飛翔している。このため、オーロラ電子と対応するオーロラ発光層を同時に、そして加速構造による磁場変動などの影響を受けずに観測することができる。オーロラ帯の高緯度側付近では、慣性アルフベン波によるものと思われる加速された降りこみ電子がしばしば観測される。「れいめい」は波動加速されたと思われる電子とともに、電離層における磁力線フットプリント領域でのオーロラ発光層を観測した。その結果、慣性アルフベン波の生成と、オーロラ発光層の渦構造やドリフトに関連があることがわかった。

II-4-f-6

「れいめい」によるオーロラ発光層と波動加速されたオーロラ電子との対応関係の研究

大学院学生	伊藤祐毅	助教	浅村和史	名大・高等研究院	海老原祐輔
東北大理	坂野井健	助教	山崎 敦	立教大理	平原聖文
				東北大理	笠羽康正

オーロラ加速領域の高緯度側によく見られる、低エネルギー電子のエネルギー方向の時間分散構造は慣性アルフベン波によるものと考えられる。その多くは **Inverted-V** と呼ばれる大規模オーロラ加速構造に重なって現れる。電子観測から電子エネルギーの時間分散構造が存在するイベントを抽出し、電離層における磁力線フットプリント領域でのオーロラ発光構造を調べた。その結果、高い割合でオーロラ微細発光構造がアーク方向にドリフトしていることが分かった。

II-4-f-7

「れいめい」公開データベースの構築

宇宙航空プロジェクト研究員	宮下幸長	電通大	細川敬祐	助教	浅村和史
		助教	山崎 敦	東北大理	笠羽康正

「れいめい」の観測データは宇宙科学データアーカイブシステム **DARTS** に登録され、公開されている。「れいめい」は他の地上観測データ・衛星データと併せて解析することが重要である。**DARTS** では **CEF** (**Conjunction Event Finder**) という多種にわたる太陽地球系観測データの同時観測検索システムが稼動しており、予測軌道を含むれいめいデータを **CEF** に登録した。

II-4-f-8

「れいめい」による中緯度帯リム撮像観測

東北大・理	坂野井健	東北大・理	西山尚典	助教	浅村和史
助教	山崎 敦	東大・理	平原聖文	東北大・理	岡野章一
		東北大・理	笠羽康正	名大・高等研究院	海老原祐輔

中緯度において多色カメラのリム観測を開始し、スプライト・大気光現象の解明を進めている。スプライト発光の宇宙からの多色撮像は世界初であり、 N_2^+ と N_2 の発光波長強度比モデルをもちいて電子エネルギーと電場強度推定が可能であるため、重要である。これまでの 3 例のスプライト発光多色撮像データから、 N_2^+ 発光を捉えることができなかったため、電子エネルギーと電場強度の上限値を求めることとした。

結果として、電子平均電子エネルギーは 5.5-6.7 (eV)、規格化した電場強度は 141-209 (Td) と見積もられた。今後は、イベント発生頻度が低いいため、継続観測が必要であり、 N_2^+IN バンドの検出を試みる。また、大気光観測

については、0557.7nm と OH 大気光発光のグローバルな緯度・経度分布の統計が得られつつある。また、信楽 MU レーダー・光学機器との共同観測が実施され、初期解析がなされた。

II-4-f-9

「れいめい」搭載のリチウムイオン電池の軌道上性能評価と地上試験

教授 齋藤宏文 開発員 鵜野将年

「れいめい」搭載のリチウムイオン電池は、電気補助自転車用のアルミラミネート実装であり、3AH の容量を持つ。耐真空のために、アルミ製容器に収納しエポキシ樹脂を充填してある。軌道上の充放電状態をモニターしつつ、地上で同様な軌道上の充放電サイクル試験を軌道上に先行して継続実施している。この先行地上試験により、軌道上の電池の性能を予測しつつ、衛星運用に役立てている。2009 年 3 月段階で打ち上げ後 43 ヶ月が経過し、充放電サイクルは 18,000 サイクルにおよぶ。

II-4-f-10

「れいめい」搭載の超小型 GPS 受信機の軌道上性能評価

教授 齋藤宏文 助教 浅村和史 東京電機大 梶川泰広

「れいめい」搭載の GPS 受信機は、車載用の GPS 受信機を宇宙用に改修した超小型受信機である。軌道上のコードスタート性能、測位精度の性能を測定して評価を継続している。

II-4-f-11

電源系運用および評価

開発員 鵜野将年 教授 齋藤宏文
准教授 田中孝治 共同研究員 升本義就 助教 三田 信

「れいめい」では、リチウムイオン二次電池をバスバッテリーとして使用している。この電池は、民生用の 3Ah ラミネート式マンガン系リチウム電池であり、INDEX では 7 セルを直列接続したバッテリーを使用している。ここでは減圧耐性を向上させるため、エポキシ樹脂によりポッティングを施すことにより構造強化を図ったバッテリーを使用した。

現在、軌道上運用においては、約 18,000 サイクルを経過しており、今のところ劣化に起因する大きな電圧の低下は見られていない。

また、あわせて先行実施している地上試験においてはさらに向こう半年以上の運用データを得ているが、ここでも依然として大きな劣化が生じておらず、「れいめい」について、今後も長期に渡り支障なく運用が可能であることがわかっている。

さらに、これらの運用および評価試験を通じて、先行する地上データから、軌道上データをフィッティングするためのキャリブレーション手法の研究を進めている。特に、各種インピーダンス情報に注目し、軌道上で運用性評価および寿命予測を行うことを最終目標とし、軌道上データおよび地上試験データを継続的に評価している。

g. PLANET-C プロジェクトチーム

II-4-g-1

金星探査機「PLANET-C」の飛翔モデルの開発

教授	中村正人	教授	石井信明	教授	佐藤毅彦
准教授	阿部琢美	准教授	今村 剛	助教	山崎 敦
	ファンクションマネージャ		鈴木 睦	東大・教養	上野宗孝
	宇宙航空プロジェクト研究員		福原哲哉	研究員	上水和典
准教授	川勝康弘	助教	森 治	教授	樋口 健
助教	奥泉信克	准教授	曾根理嗣	助教	豊田裕之
開発員	成田伸一郎	准教授	廣瀬和之	助教	大西 晃
主任開発員	太刀川純孝	開発員	中塚潤一	准教授	戸田知朗
開発員	長江朋子	准教授	吉川 真	開発員	関 妙子
開発員	山本高行	開発員	鶴野将年	開発員	川原康介
開発員	福吉芙由子	開発員	餅原義孝	開発員	入門朋子

金星周回軌道は熱入力の大きな日照側と極低温の日陰側を行き来する厳しい環境であるが、電力消費の低減や排熱の工夫により、これを克服した。また、惑星探査に必要となる小型軽量化を行った。高温環境下で赤外線観測を行うために、高感度の検出器や機械式冷凍機による低温光学技術を開発した。全ての観測装置の開発を完了し、単体での性能確認のうえ、一次噛み合わせ試験にて衛星システムとのインターフェース確認を行った。画像データを機上で高度処理する専用装置も新規開発して性能を確認した。低消費電力で高い通信速度が達成できる高効率デジタルトランスポンダ、太陽光の集熱を避けられる軽量の超薄型平面アンテナ、緊急時に常に回線を確保する超広角レンズアンテナなど、惑星探査に求められる通信系を新規開発した。電源系に関しても、発生電力効率の高い3 接合太陽電池セルや大容量のリチウムイオン2 次電池などを新規開発した。

II-4-g-2

金星探査機「PLANET-C」搭載用セラミックスラスタのフライトモデル開発

教授	佐藤英一	准教授	澤井秀次郎	助教	元屋敷靖子
		開発員	中塚潤一	情報・計算機センター主任開発員	山西伸宏
				研究開発本部開発員	長田泰一

宇宙機（衛星・探査機）の軌道変換用2 液スラスタとして、耐熱温度および比推力の向上と国産技術化をめざした窒化珪素製スラスタ（セラミックスラスタ）の研究を行っている。要素モデル試作により、セラミック材料の有効性を明らかにするとともに、スラスタのプロトタイプモデル開発を実施した。燃焼器、インジェクタを製作し、一連の認定試験を実施している。またそれとは並行に、さらに将来の宇宙機への提案を念頭におき、セラミック材料の耐熱性の高さという性能をフルに発揮するような改良を目指した研究にも着手した。その第一段階として、改良を効率よく行うため、スラスタ内部の燃焼の様子を数値解析により推定する手法の構築を開始した。

II-4-g-3

金星探査機「PLANET-C」搭載用近赤外カメラ（IR1）の開発

東大・理	岩上直幹	東大・教養	上野宗孝	研究員	上水和典
		東大・理	杉田精司	東北大・理	坂野井健
				神大・理	はしもとじょーじ
		教授	中村正人	ファンクションマネージャ	鈴木 睦

IR1 は近赤外波長で金星の地表面や下層大気を遠隔観測する。前年度までに製作した飛翔モデルに対して単体での性能確認を行い、一次噛み合わせ試験によって衛星システムとのインターフェースの確認を行った。

II-4-g-4

金星探査機「PLANET-C」搭載用近赤外カメラ（IR2）の開発

教授	佐藤毅彦	東大・教養	上野宗孝	研究員	上水和典
教授	中村正人	准教授	笠羽康正	准教授	今村 剛
		東大・理	岩上直幹	ファンクションマネージャ	鈴木 睦

IR2 は近赤外波長で金星の下層大気や雲構造を遠隔観測する。前年度までに製作した飛翔モデルに対して単体での性能確認を行い、一次噛み合わせ試験によって衛星システムとのインターフェースの確認を行った。

II-4-g-5

金星探査機「PLANET-C」搭載用中間赤外カメラ（LIR）の開発

		客員准教授	田口 真	准教授	今村 剛
				宇宙航空プロジェクト研究員	福原哲哉
教授	中村正人	東大・理	岩上直幹	東大・教養	上野宗孝
				ファンクションマネージャ	鈴木 睦

LIR は中間赤外波長で金星の雲頂の温度場を可視化する。前年度までに製作した飛翔モデルに対して単体での性能確認を行い、一次噛み合わせ試験によって衛星システムとのインターフェースの確認を行った。

II-4-g-6

金星探査機「PLANET-C」搭載用紫外撮像カメラ（UVI）の開発

北大・理	渡部重十	東北大・理	山田 学	助教	山崎 敦
東大・教養	上野宗孝	東北大・理	岡野章一	准教授	今村 剛
		教授	中村正人	ファンクションマネージャ	鈴木 睦
		東大・理	岩上直幹	マックスプランク研究所	H. U. Keller
		マックスプランク研究所	W. J. Markiewicz	マックスプランク研究所	D. Titov

UVI は紫外波長で金星の雲頂付近の紫外吸収物質をマッピングする。前年度までに製作した飛翔モデルに対して単体での性能確認を行い、一次噛み合わせ試験によって衛星システムとのインターフェースの確認を行った。

II-4-g-7

金星探査機「PLANET-C」搭載用雷大気光カメラ（LAC）の開発

東北大・理	高橋幸弘	東北大・理	吉田 純	極地研	堤 雅基
		大阪府立大	牛尾知雄	教授	中村正人

LAC は高速撮像により金星での雷発光をとらえると同時に、上層大気の化学的発光（大気光）を撮像する。前年度までに製作した飛翔モデルに対して単体での性能確認を行い、一次噛み合わせ試験によって衛星システムとのインターフェースの確認を行った。

II-4-g-8

金星探査機「PLANET-C」搭載用画像処理装置（DE）の開発

		ファンクションマネージャ	鈴木 睦	東大・理	岩上直幹
東大・教養	上野宗孝	客員准教授	田口 真	北大・理	渡部重十
教授	佐藤毅彦	准教授	今村 剛	教授	中村正人

DE は4つのカメラ（IR1, IR2, LIR, UVI）を統合制御するとともに、これらの画像データの一次処理や圧縮処理を行う。前年度までに製作した飛翔モデルに対して単体での性能確認を行い、一次噛み合わせ試験によって衛星システムとのインターフェースの確認を行った。

Ⅱ-4-g-9

金星探査機「PLANET-C」の電波科学観測の検討と超高安定発振器の開発

准教授	今村 剛	教授	中村正人	准教授	石井信明
東大・教養	上野宗孝	助教	奥泉信克	准教授	戸田知朗

金星大気の鉛直構造をさぐる電波科学観測のシステムの開発を行った。また、この観測のために探査機に搭載する超高安定発振器（USO）の飛翔モデルの開発をドイツの Timetech 社とともにに行い、超高安定発振器と「PLANET-C」のトランスポンダーとのインターフェースを試験で確認した。一次噛み合わせ試験によって衛星システムとのインターフェースの確認も行った。

h. BepiColombo プロジェクトチーム

II-4-h-1

国際共同水星探査計画「BepiColombo (ベピ・コロombo)」の設計 (衛星試作): 4 年目

JAXA/BepiColombo プロジェクトマネジャー	教授	早川 基		
MMO プロジェクトサイエンティスト	教授	藤本正樹		
MPO サイエンスコーディネーター	教授	加藤 學		
プロジェクトオフィス	准教授	小川博之	准教授	峯杉賢治
	准教授	松岡彩子	准教授	高島 健
		宇宙航空プロジェクト研究員		亀田真吾
			技術参与	向井利典
東北大学・理	笠羽康正		教授	山本善一
京都大・生存圏研	山川 宏		教授	小野田淳次郎
京都大・総長	松本 紘		教授	川口淳一郎
			教授	森田泰弘
技術職員	下瀬 滋	有人宇宙環境利用ミッション本部		小沢正幸
技術職員	伊藤文成		教授	前澤 洸
技術職員	太刀川純孝		准教授	齋藤義文
技術職員	鎌田幸男		助教	浅村和史
技術職員	川原康介		助教	横田勝一郎
技術職員	志田真樹		助教	長谷川洋
技術職員	市川 勉		助教	山崎 敦
教授	小松敬治	宇宙航空プロジェクト研究員		宮下幸長
准教授	堀 恵一		教授	中村正人
			准教授	北村良実
教授	佐藤英一		教授	藤村彰夫
准教授	廣瀬和之		准教授	岡田達明
准教授	水野貴秀		准教授	田中 智
教授	橋本樹明		准教授	安部正真
准教授	澤井秀次郎		助教	早川雅彦
准教授	加藤隆二		助教	飯島祐一
教授	山田隆弘		助教	矢野 創
准教授	吉川 真		助教	春山純一
准教授	久保田孝		助教	大竹真紀子
教授	石井信明		准教授	篠原 育
教授	樋口 健		名誉教授	鶴田浩一郎
教授	國中 均		名誉教授	小山孝一郎
准教授	後藤 健		名誉教授	西田篤弘
助教	大西 晃	研究開発本部		岡田 (上田) 裕子
准教授	戸田知朗	研究開発本部		松本晴久
教授	八田博志	研究開発本部		小原隆博
教授	齋藤宏文			
教授	田島道夫	獨協医科大学		野上謙一

立教大学・理	柳町朋樹
名大院・理	渡辺誠一郎
名大・太陽地球環境研究所	小島正宣
名大・太陽地球環境研究所	藤井良一
名大・太陽地球環境研究所	関華奈子
名大・太陽地球環境研究所	家田章正
名大・太陽地球環境研究所	三好由純
名大・高等研究院	海老原祐輔
北大・低温科学研究所	山本哲生
北大院・理	日置幸介
法政大・工	中野久松
福井工業大	大家 寛
富山大・理	藤 浩明
富山県大・工	石坂圭吾
富山県大・工	岡田敏美
富山県大・工	三宅壮聡
富山県大・工	高野博史
理研	滝澤慶之
N I C T	村田健史
N I C T	寺田直樹
N I C T	長妻 努
N I C T	品川裕之
N I C T	坪内 健
環境研	松永恒雄
海洋研・地球深部探査センター	杉原孝充
東北大・惑星プラズマ大気研究センター	森岡 昭
東北大・惑星プラズマ大気研究センター	岡野章一
東北大・惑星プラズマ大気研究センター	三澤浩昭
東北大・惑星プラズマ大気研究センター	坂野井健
東北大・惑星プラズマ大気研究センター	土屋史紀
東北大・惑星プラズマ大気研究センター	加藤雄人
東北大院・理	小野高幸
東北大院・理	大谷栄治
東北大院・理	熊本篤志
東北工業大・工	中川朋子
東邦学園大	高木靖彦
東京理科大	向後保雄
東京大・地震研	三浦弥生
東京大院・理	星野真弘
東京大院・理	杉浦直治
東京大院・理	平原聖文
東京大院・理	吉川一朗
東京大院・理	阿部 豊
東京大院・新領域	杉田精司

東京大院・工	宮本英昭
東京大院・工	岩井岳夫
東京工芸大・工	渋谷真人
東京工業大院・理工	寺澤敏夫
東京工業大院・理工	綱川秀夫
東京工業大院・理工	長井嗣信
東京工業大院・理工	松島政貴
東京工業大院・理工	中澤 清
東京工業大院・理工	井田 茂
東京工業大	高橋 太
東京工業大	本蔵義守
東京海洋大	大橋英雄
東海大・総合情報センター	高橋隆男
東海大・総合情報センター	田中 真
東海大・工	利根川豊
東海大・工	遠山文雄
東海大・工	三宅 互
電気通信大・電気通信	柳澤正久
大阪府大院・工	中村雅夫
大阪大院・理	佐伯和人
大阪市大院・工	南 繁行
大阪市大院・工	武智誠次
早稲田大・理工	宮島光弘
早稲田大・理工	菊池 順
早稲田大・理工	宮地 孝
早稲田大・理工	長谷部信行
神戸大院・自然科学	向井 正
神戸大院・自然科学	中村昭子
極地研	田口 真
極地研	岡田雅樹
極地研	田中良昌
鹿児島工専	野澤宏大
国立天文台	佐々木晶
国立天文台	荒木博志
国立天文台	河野宣之
産総研	中村良介
埼玉県短大	柴村英道
リモート・センシング技術センター	塩見 慶
国際通信経済研究所	佐川永一
高知大・理	本田理恵
熊本大・理	渋谷秀敏
九州大院・理	吉川顕正
九州大院・理	篠原 学
九州大・宙空環境研究センター	湯元清文

九州大・宙空環境研究センター	河野英昭	京都大・生存圏研	臼井英之
金沢大院・自然科学	八木谷聡	京都大・生存圏研	小嶋浩嗣
金沢大院・自然科学	後藤由貴	京都大・生存圏研	上田義勝
金沢大・総合メディア基盤センター	笠原禎也	京都産業大・工	筒井 稔
金沢大・総合メディア基盤センター	井町智彦	宮城教育大・教育	高田淑子
金沢大・理事	長野 勇	会津大・コンピュータ理工	出村裕英
京都大院・理	町田 忍	会津大・コンピュータ理工	平田 成
京都大院・理	山路 敦	一関工業高専	白井仁人
京都大院・理	能勢正仁	理研	片岡龍峰
京都大院・工	柴田裕実	スウェーデン宇宙物理研究所	諸岡倫子
京都大・生存圏研	橋本弘蔵	オーストリア宇宙研究所	中村るみ
京都大・生存圏研	大村善治		

概要

「ベピ・コロombo (BepiColombo)」計画は、ESAとJAXAによる初の本格的な日欧共同計画で、未知の惑星・水星の磁場・磁気圏・表層・内部を初めて多角的・総合的に観測しようとするプロジェクトである。本計画は、ESAではコーナーストーンミッションとして、JAXAでは太陽系科学探査の基幹として、いずれでも最重要ミッションの1つである。JAXAが水星磁気圏探査機「MMO」、ESAが水星表面探査機「MPO」、電気推進モジュール「MTM」等を分担する。両探査機は、一つのスタックとしてアリアン5型ロケットで打ち上げられ、水星到達後に分離、協力して観測活動を行う。

本計画の科学的意義は、以下の二つである。

- (1) 固有磁場と磁気圏を持つ地球型惑星は地球と水星だけである。水星の詳細探査は、初の固体惑星磁場・磁気圏の詳細比較の機会となる。惑星の磁場・磁気圏の普遍性と特異性の知見に大きな飛躍をもたらすことが期待される。
- (2) 水星は、磁場の存在と関係すると見られる巨大な中心核など特異な構造と歴史を持つ。その内部・表層の全球観測は、太陽系形成、特に地球型惑星の起源と進化の解明に貢献することが期待される。

本計画は、上記に最適化された2つの周回探査機、すなわち表面・内部の観測に最適化された、3軸制御、低高度極軌道の水星表面探査機「Mercury Planetary Orbiter (MPO)」と、磁場・磁気圏の観測に最適化された、スピニング安定、楕円極軌道の水星磁気圏探査機「Mercury Magnetospheric Orbiter (MMO)」から構成される。JAXAは、日本の得意分野を主目標とする「MMO」探査機の製作・運用を担当し、ESAは打ち上げ・惑星間空間の巡航・水星周回軌道への投入および「MPO」探査機の製作・運用を担当する。両探査機の観測装置は、日欧合同科学チームが開発・運用する。

磁場や磁気圏の様子がよくわかっている惑星は地球だけである。唯一の磁場を持つ地球以外の地球型惑星である水星は、初めての地球との詳細比較機会を提供する。この両者の比較は、磁場/磁気圏を巡る惑星環境の更なる理解に貢献するとともに、広く宇宙に存在する様々な磁気圏の特殊性・普遍性を知る大きなステップとなる。JAXAの担当する水星磁気圏探査機「MMO」はこの解明に最適化されたもので、以下の特徴を持つ。

- ・軌道：磁気圏全域をカバーするため、夜側を包含しうる長楕円極軌道をとる。
- ・姿勢：ワイヤアンテナ展開、粒子全方位計測のため、スピニング安定である。
- ・電磁干渉対策：精密な磁場・プラズマ計測のため、帯磁・帯電・電磁ノイズ低減をはかる。

磁場の存在は、半径の3/4を占める巨大な中心核を持つ水星の特異な構造に関係する。水星の特異な姿の原因は、原始太陽系星雲の最も内側で最後に固まったとされるこの天体の初期に遡ると考えられる。ESAの担当する水星表面探査機「MPO」は、この解明に最適化されたもので、以下の特徴を持つ。

- ・軌道：表層・内部・磁場を全球計測するため、低高度極軌道をとる。
- ・姿勢：表層を高空間分解で計測するため、3軸制御を行い、常時水星表面を指向する。

「BepiColombo」全体計画

重量・コストの制約に起因するESA側のスケジュール遅延（技術課題に対するリスクの見直し、重量超過に伴う打ち上げ機体の変更）に伴い、「MMO」探査機及び観測装置等の設計・試作を2005-2008年度に行い、製作を2009-2011年度に行なう。2011～2012年度の国内での総合試験、2012～2013年度に欧州での総合試験を経て、2014年7月末～8月初頭に打上げる。

「MPO」・「MMO」両探査機は、惑星間軌道で使用する推進モジュール（MTM=Mercury Transfer Module）と結合させた、統合モジュール（MCS=Mercury Cruise Composite）として打ち上げられる。打ち上げは、アリアン5型により、南米Kourou基地（仏領ギアナ）で2014年夏に実施する。地球（1回）、2回の金星、4回の水星フライバイを経て、2020年に水星に到着する。この間の統合モジュールの制御・運用は「MPO」がつかさどり、ESAによって実施される。JAXAが担当する「MMO」探査機は殆どの時間は電源OFF状態で（MPOからの温度維持機能を除く）、最低限のヘルスチェック運用のみ実施する。

水星周回軌道に入る前に、「MCS」から「MTM」が切り離され、「MPO」の推進機能を使って超楕円の水星周回軌道に投入される。その後「MPO」の推進機能を用いて遠水点高度を下げ、「MMO」の周回軌道（高度：400x12,000km、周期：9.3時間）に到達する。ここで「MMO」は起動され、十分なヘルスチェックの後に「MPO」からスピン分離し、臼田64mによる独自の運用・観測活動を開始する。「MPO」は、再度の推進薬の噴射によって更に高度を下げ、ほぼ円軌道（高度：400x1,500km、周期：2.3時間）に至る。これにより、「MPO」/「MMO」探査機は、同一軌道面を1：4の軌道周期で周回し、磁場連携観測などに寄与する。

開発全体スケジュールと主要マイルストーン

- ・2003年度 基礎研究フェーズ
- ・2004年度 フェーズA（研究フェーズ）
国際観測機器公募、内惑星熱真空環境シミュレータ製作など
- ・2005年度 フェーズB（予備設計フェーズ）
衛星システム検討、サブシステム設計/重要部試作、観測装置の設計/重要部試作、材料・観測センサー等の環境試験 などを実施
- ・2006年度 同上続き
システム検討、サブシステム設計/重要部試作、観測装置の設計/重要部試作、材料・観測センサー等の環境試験 などを引き続き実施
- ・2007年度 同上続き
衛星システムの検討およびMTM・TTMの一部製造、サブシステムの熱構造設計確定およびSTM・EMの一部製造、観測装置の熱構造設計確定およびSTM・EMの一部製造、材料・観測センサーなどの環境試験 などを実施
- ・2008年度 同上続き
衛星システムの検討およびMTM・TTMの一部製造、サブシステムの熱構造設計確定およびSTM・EMの一部製造、観測装置の熱構造設計確定およびSTM・EMの一部製造、材料・観測センサーなどの環境試験 などを実施
- ・2009年度 フェーズC（設計・製作フェーズ）
年度前半から「MMO」探査機の熱構造モデルの試験@JAXA
1月： 「MMO」探査機の熱構造モデルのESA/ESTECへの輸送
- ・2010年度 フェーズC（設計・製作フェーズ）
7月： システムCDR
3月～ FM一次噛み合わせ@JAXA
- ・2011年度 同上続き およびフェーズD（「MMO」総合試験@JAXA）
～6月 FM一次噛み合わせ@JAXA

- 7 月～9 月 FM 単体環境試験@JAXA
- 11 月～ FM 総合試験@JAXA
- ・2012 年度
 - ～7 月「MMO」／FM 総合試験@JAXA
 - 9 月：「MMO」探査機のフライトモデルの ESA/ESTEC への輸送（ESA 要求）
 - 母船総合試験@ESTEC（欧州宇宙技術センター）
- ・2013 年度 母船総合試験@ESTEC（欧州宇宙技術センター）
- ・2014 年度 射場作業，打上げ（2013 年 7-8 月予定）

表 1 水星探査プロジェクト：2008 年度主要会合

	サイエンス会議
2008 年 5 月 12 日	第 9 回（ISAS）
2008 年 9 月 12 日	第 10 回（ISAS）
	設計会議
2008 年 5 月 13 日	第 9 回（ISAS）
2008 年 9 月 11 日	第 10 回（ISAS）
	ESA-JAXA インターフェース会議
2008 年 5 月 21-28 日	第 22 回（ESTEC）
2009 年 2 月 24-27 日	第 23 回（ESTEC）
	BepiColombo サイエンスワーキングチーム会合
2008 年 9 月 16-18 日	第 5 回（東北大）

「MMO」・「MPO」搭載観測機器

2004 年 11 月に、「MMO」・「MPO」の搭載観測機器チームが決定した。2008 年度は昨年度に引き続き，この中で，日本側の参加がある機器の設計・試作・試験等を実施した。また，BepiColombo 科学ワーキングチーム（Bepi-SWT）の会合が定期的に開かれ，探査計画の立案・実施に関わる全ての事象についてこの会合において議論，決定されている。

「MMO」探査機は，表 2 に示す 5 の観測装置チームによって，「MPO」との共同も踏まえ以下の科学目標の達成を目指す。

- 固有磁場の成因の解明：水星周辺の磁場を高い精度で計測し，水星本体が有する固有磁場の成因を探るとともに，水星本体・水星磁気圏の電流構造，時間変動を解明する。
- 地球と異なる特異な磁気圏の解明：電離層の有無，スケールの相違，大きな太陽距離変化などを踏まえて水星磁気圏の構造・運動・高エネルギー現象を観測し，地球との比較によってその物理過程の普遍性と特異性を明らかにする。
- 激しく変動する希薄な大気：希薄大気の大規模構造・時間変動を観測し，その生成・消滅の物理機構を調べるとともに，磁気圏・表層との相互作用を解明する。
- 太陽近傍の惑星間空間の観測：直接観測可能な中で最も高マッハ数の衝撃波を観測し，そのエネルギー過程の解明を目指す。太陽系内部領域の惑星間空間ダストについて，Helios 以来の観測を行う。

また「MPO」探査機は，表 3 に示す 11 の観測装置チームによって，「MMO」との共同も踏まえて以下の科学目標の達成を目指す。

- 鉱物・元素組成の解明：表面からの赤外-可視，X 線・ γ 線・中性子観測，表面や大気の紫外分光，中性粒子・プラズマ直接計測によって水星全球を詳細観測し，太陽系の最も内側で起きた惑星の形成・進化に迫る。
- 巨大な鉄の中心核（全体の 3/4）の解明：重力場の全球詳細マッピングを行い，水星の特異な内部構造を明らかにする。
- 極の氷の存在検証： γ 線・中性子観測によって，非日照域に存在する可能性のある水などを検証する。

○形成初期の姿を残す表面地形の解明： 全表面，特に MESSENGER ができない南半球の詳細地形撮像を行い，表面地形の成因解明を目指す。

また，両探査機の連携によって以下のより有意義な観測が可能となる。

- a) 水星磁場の精密観測：「MMO」による本体近傍～磁気圏・太陽風の磁場観測と，「MPO」による本体近傍の磁場観測の結合により，水星固有磁場の“二点同時計測による高精度決定”，および水星磁気圏の“編隊飛行による時空間分解”が初めて可能となる。
- b) 磁気圏-水星表層の直接相互作用の検出：「MMO」による磁場・高エネルギー粒子（原因）の観測と，「MPO」による表面からの原子・X線放射（結果）の検出の結合によって，希薄大気（Na が主）の生成過程や表層風化と磁気圏活動との関連が初めて可能となる。

表2 「MMO」探査機：観測機器チーム

名称	観測内容	代表者/副代表者および機関	他の参加機関（国内）・参加国
MGF	水星内部・磁気圏・太陽風の磁場観測	W. Baumjohann (IWF, オーストリア)	Japan：東海大，九州大，東北工大，熊本大，東京工大，東京大， NiCTEurope 他：ドイツ，イギリス，アメリカ
		松岡彩子 (JAXA)	
MPPE	電子・イオン・高速中性粒子のエネルギー・質量分析による磁気圏・大気・太陽風探査	齋藤義文 (JAXA)	Japan：京都大，名古屋大・太陽地球環境研，東京工大，東北大，東京大，極地研，NiCT Europe：フランス，イギリス，イタリア，チェコ，ベルギー，ドイツ，スイス Others:アメリカ，台湾
		J. -A. Sauvaud (CESR-CNRS, フランス) 平原聖文 (立教大.) S. Barabash (IRF, スウェーデン)	
PWI	電場，プラズマ波動，電波電子密度・温度計測による磁気圏・大気・太陽風探査	笠羽康正 (東北大)	Japan：富山県大，愛媛大，京都産業大，東北大，JAXA Europe：フランス，スウェーデン，ノルウェー，フィンランド，ハンガリー，ESA
		J. -L. Bougeret (LESIA, フランス) L. Blomberg (KTH, スウェーデン) 小嶋浩嗣 (京都大・生存圏研) 八木谷聡 (金沢大)	
MSASI	ナトリウム大気の撮像による大気生成・消滅の探査	吉川一朗 (東大)	Japan：立教大，東北大，東京工芸大，極地研，JAXA
		O. Korablev (IKI, ロシア)	
MDM	水星・惑星間・恒星間ダストの観測	野上謙一 (獨協医大)	Japan：東京海洋大，早稲田大，京都大，大阪市大，国立天文台，JAXA
			Europe：ドイツ

表 3 「MPO」探査機：観測機器チーム

名称	観測内容	PI/Co-PI (一部略)	他の国内参加機関
BELA	レーザー高度計による重力場・内部構造の探査	N. Thomas (Univ. Bern, スイス)	国立天文台
		T. Spohn (DLR, Germany)	
ISA MORE	電波精密測距による重力場・内部構造の探査	V. Iafolla (CNR-IFSI, Italy) L. Iess (Univ. Rome, Italy)	---
MAG	水星内部・磁気圏・太陽風の磁場観測	K. H. Glassmeier (TUB, Germany)	JAXA 他
		C. M. Carr (ICL, UK)	
SIMBIO-SYS	撮像および光・近赤外分光による表層地形・組成 地形・組成観測	E. Flamini (ISA, Italy)	---
		F. Capaccioni (INAF-IASF, Italy) 他 5	
MERTIS-TIS	赤外熱撮像	E. K. Jessberger (Univ. Munster, Germany)	
MGNS	ガンマ線・中性子計測による表面組成	I. Mitrofanov (IKI, Russia)	長谷部信行 (早大 : Co-PI), JAXA, 他
MIXS SIXS	X 線計測による表面組成	G. Fraser (Univ. Leicester, UK) J. Huovelin (Univ. Helsinki, Finland)	JAXA 他
PHEBUS	紫外線分光による大気組成	E. Chassefiere (SA/IPSL, France)	JAXA, 東京大, 他
		岡野章一 (東北大), O. Korablev (ロシア)	
SERENA	中性粒子・イオン観測による表面・大気組成	S. Orsini (CNR-IFSI, Italy) 他	JAXA 他

「MMO」探査機の設計検討・開発状況

定期的に設計会議を開催している。また、衛星システム（基本文書作成、品質保証計画、対 ESA モジュール I/F, 「MMO」探査機詳細仕様など）、機械（分離機構など）、熱（熱数学モデル作成・解析など）、電気（電源など）、通信機器（HGA・MGA・XPA・トランスポンダなど設計）、推進系（熱検討など）、DH 系（DMC など）の詳細検討、設計および試作をおこなった。

- 1) バス、観測機器の熱構造検討を継続実施。また、EM の製作・試験、MTM/TTM の製作を開始した。
- 2) ESA モジュールからの分離機構に関する詳細検討を日欧双方で継続実施、「MMO」の周囲を覆う ESA 製作のサンシールドの開き角 16 度あれば「MMO」分離時にサンシールドとの衝突が起きない事を確認した。
- 3) 太陽電池関連の熱光学特性、高温試験を実施し、太陽電池の高温耐性に関してデータを取得。太陽電池セルの高温連続動作試験により、セルの高温・高太陽光強度下での劣化特性の確認を行った。
- 4) 太陽光に直接さらされる機器の一部に関して、高温・高太陽光強度下での性能の確認を行った。

ESA とのインターフェース調整

ESA-JAXA プロジェクト間の会合を複数回実施、お互いの進捗状況、問題点に関して情報を交換した。また、緊急を要する課題に関してはビデオ会議、電話会議も併用し議論を行った。インターフェース要求条件書 (IRD)、インターフェースコントロール確認書 (ICD) の内容を ESA と調整。ESA 側システム PDR の終了前に正規版を発行の予定。ESA における MTM 試験以降の安全管理、品質管理に関して ESA 側 PA (Product Assurance) マネージャーと調整を開始した。

Phase-1 安全審査の実施

昨年度のプロジェクト内安全審査、基本設計審査の終了を受けて、JAXA のフェーズ 1 安全審査を受審。安全管

理に関して、次フェーズである詳細設計ならびに開発モデルの製作試験への移行が妥当であることを確認した。

「MMO」・「MPO」観測チームの活動

BepiColombo Science Working Team (Bepi-SWT)

MMO プロジェクトサイエンティスト

教授 藤本正樹

MPO サイエンスコーディネーター

教授 加藤 學

2008 年度の Bepi-SWT を、JAXA 主催・東北大共催により仙台にて 2008 年 9 月に開催した。会議では (1) プロジェクトの進行状況報告、(2) 各搭載機器の開発状況報告、(3) 水星サイエンスに関する基調講演が行われたのち、(4) NASA の水星探査計画 MESSENGER 関係者による講演と、両ミッションにおいてどのように協力をはかっていくかについての議論が行われた。さらに、(5) MMO と MPO 双方において実施される水星周辺プラズマ観測をどのようにコーディネートしていくべきかの議論が開始した。

MMO Science Working Sub-Group (MMO--SWG)

MMO プロジェクトサイエンティスト

教授 藤本正樹

2008 年度の MMO-SWG を、5 月 12 日、および 9 月 12 日に JAXA 宇宙科学研究本部で開催した。これらにおいては、水星周辺という熱的に厳しい環境、さらには、活用できるリソースが限られているという境界条件において、いかに最高のサイエンス成果を得るかというデータ取得戦略議論を行った。

「MMO」搭載伸展物の検討

准教授 松岡彩子

教授 小松敬治

教授 橋本樹明

東北大・理 笠羽康正

東北大・理 熊本篤志

金沢大・工 八木谷聡

「MMO」には、4 本のワイヤアンテナ WPT・MEFISTO（電場センサー）および 2 つの MAST（磁場センサー保持）が、伸展物として搭載される。WPT/MAST は国内で、MEFISTO は欧州グループで、それぞれ開発される。

2008 年度は、水星周回軌道における MMO の温度を下げるために、MMO 本体に流入する熱を低減するための MAST の熱計装設計の見直しを行った。具体的には、総重量を増やすことなく、MLI のブーツで MAST を覆う設計変更を行った。また、ブーツが太陽電池に落とす影が発生電力の低下を招くことから、MAST を 1° 下方に伸展することを検討した。

その他には、以下の試験や検討を行った。

- (1) WPT センサ EM の振動試験と結果の評価を行った。
- (2) MAST に搭載する磁場センサーのハーネスの検討と選定を行った。
- (3) MAST および WPT を伸展する回路の EM と、それをコントロールする MDP との間の Space Wire インターフェース試験を行い、問題点を抽出した。
- (4) 欧州から提供されるワイヤアンテナ (MEFISTO) の設計・開発を支援した。

MDP（ミッションデータプロセッサ）

東北大・理 笠羽康正

准教授 高島 健

MDP は、2 つの DPU[データ処理部・一時データ保存メモリ部]からなり、外部の MDP-PSU[電源ユニット]から電源供給を受ける。MMO に搭載される観測機器とシリアル I/F「Space Wire」を介して接続し、各機器へのコマンドの配信、各機器からの HK・テレメトリの収集を行う。収集したデータを統合オンボード処理した後に、統合テレメトリの生成を行う。

2008 年度は、2007 年度末の PDR で確定した EM（エンジニアリングモデル）設計をベースとして、その製造・単体試験・I/F 試験を行った。

- (1) FM 設計：放射線耐性に関する問題点に関して、複数 CPU の再検討を実施し、PDR 検討時の CPU で設計を進めていくこととした。

- (2) EM-I/F 定義：対 DMCI/F の基本定義の調整を行った。また、観測機器との I/F について詳細定義を実施した。その結果を「MDP Interface Requirement Document」(MDP-IRD) に反映した。観測機器チームにおける Space WireIPcore 開発の支援を行った。
- (3) BBM・EM の製造・試験：BBM および EM 品のハードウェア製造、および搭載する OS・ミドルウェアの開発を行った。Payload/DMCEmulators を用いた単体試験によって、これらの機能・性能の確認を行い、基本動作に問題がないことを確認した。
- (4) EM-ソフトウェア開発：ミドルウェア上に搭載する「ユーザーアプリケーション」の基本設計および観測機器データ処理タスクとの I/F 思想を確定し、基礎開発に着手した。また、各観測機器チームが生成する基本 TLMデータ計画を更新した。
- (5) EM-I/F 試験：年度前半には、「MDPEmulator」を各観測機器チームに配布し、MDP-IRD の定義に従って Space Wire (SpW) 上でのコマンド・HK・テレメトリ通信の確認を行える環境を整備した。年度後半には、各観測機器の BBM・EM と MDP 間で I/F 試験を実施し、基本動作に問題がないことを確認した。
- (6) EM試験準備：EM試験の項目の検討を実施し、試験項目を確定した。EM 総合試験に向けて、コマンドと HK 情報を SIB2 システムに入力した。

MMO/PWI (プラズマ波動・電場観測装置)

	東北大・理	笠羽康正	熊本篤志
	京都大・生存圏研	小嶋浩嗣	大村善治
	金沢大院・自然科学	八木谷聡	笠原禎也
		富山県大・工	石坂圭吾
		NICT	村田健史
		JAXA	佐藤義弘
		MMO/PWI チーム	

PWI は、3 つの受信機システム (EWO・SORBET・AM2P) と 4 つのセンサー (WPT・MEFISTO・LF-SC・DB-SC) が結合した複合搭載機器グループである。2008 年度は、2007 年度末の PDR で確定した EM (エンジニアリングモデル)・STM (熱構造モデル) 設計をベースとして、両者の製造および単体試験を行った。

- (1) PME (PWI-MGF-Electronics Box)：シャシーの EM モデルを製造し、内蔵される各コンポーネントとの機械 I/F 確認を行った。共通機能である IPD (電源 Distributer) の EM モデルを製造し、内蔵される各コンポーネントとの電気 I/F 確認を行うとともに、システム提供される PME-PSU の仕様を確定した。各ボード間の個別 I/F 試験を 2008 年 11~12 月に実施し本質的問題がないことを確認しており、2009 年 4 月からは PME 全体 I/F 試験を実施する。
- (2) EWO (Electric field detector, Waveform capture, and Onboard frequency analyzer)：EM モデルを製造し、単体性能を測定・確認した。CMD・HK および内部処理を確定させ、MDP エミュレータとの間で基本機能確認を行った。
- (3) LF-SC (Low Frequency Search Coil)：センサーおよびプリアンプの EM モデルを製造し、単体性能を測定・確認した。EWO などとの電氣的 I/F に本質的問題がないことを確認した。
- (4) WPT (Wire Probe Antenna)：伸展ユニット (WPT-S) の機械構造を更新し、環境条件を満たす機構設計を確定し、EM・STM モデルの製造を行った。プリアンプ (WPT-Pre) の EM モデルを製造し、単体性能測定、EWO などとの電氣的 I/F 試験を行い、本質的問題がないことを確認した。
- (5) SORBET・AM2P・MEFISTO・DB-SC：欧州側から提供される各コンポーネントの EM 製造を支援するとともに、各種 I/F 試験を実施して本質的問題がないことを確認した。
- (6) MDP ソフトウェア：MDP にインストールする制御・データ処理ソフトウェアの設計を行うとともに、データ圧縮・FFT などの基本機能の CPU 負荷およびデータ評価を継続実施した。また、基本 TLM データ計

画を更新した。

- (7) EM試験準備：EM・STM試験の内容を確定するとともに、必要なGSEの開発整備を行った。また、CMD・HK情報をシステム地上系へSIB2を介して入力反映した。
- (8) EMC試験：システムに協力して各種EMC試験・測定を行った。

MMO/MGF（「MMO」磁場計測器）&MPO/MAG（「MPO」磁場計測器）の設計

助教授	松岡彩子	東海大・工	遠山文雄
九州大・理	篠原 学	情報・システム研究機構	田中良昌

MMO/MGF および MPO/MAG チーム

水星は固有主磁場を持つ、地球以外の唯一の地球型惑星である。水星の内部構造の解明や、水星磁気圏の研究のためには、高精度の磁場測定が必須である。水星磁気圏探査機「MMO」には、4.6mの長さの伸展マストに2台の磁力計を搭載することによって、冗長性を取り衛星からの磁場の影響を評価しつつ、水星周辺の磁場を測定する計画である。2台の磁力計の1台（MGF-O）はヨーロッパのグループによって、もう1台（MGF-I）は日本のグループによって開発・製作される。

2008年度は、日本とヨーロッパのグループ間で情報を交換しつつ、磁力計の設計検討と試験モデルによる実証試験を継続して行った。

- (1) 衛星総重量低減のために、電源の構成の見直しがあり、MGF-Iは別系統の電源となった。このため、電源に対する要求の見直し、設計された電源に対する問題点の検討を行った。
- (2) MGF-O, MGF-I共に、重量削減のための部品、基板実装の方法の見直しを行った。
- (3) 各種性能試験（温度試験、熱真空試験）を行い、問題の無いことを確認した。
- (4) MGF-O, MGF-IをコントロールするMDPとのSpaceWire通信の試験を行い、問題の無いことを確認した。
- (5) MGF-OとMGF-Iの間のデータ同期の予備試験を行った。
- (6) 衛星に搭載するサブシステム、ペイロード機器の出す磁気ノイズの測定や低減のための検討を行った。

MMO/MDM（水星ダスト計測器）

獨協医大・医	野上謙一	早大・理工総研	宮地 孝
東京海洋大・海洋科	大橋英雄	東京海洋大・大学院学生	平井隆之
東大・工	岩井岳夫	京大・工	柴田裕実
国立天文台・電波	佐々木晶	大阪市大・工	南 繁行
大阪市大・工	武智誠次	大阪市大・工・大学院学生	篠原悠紀
大阪市大・工・大学院学生	河内祐也	助教	矢野 創
開発員	長谷川直	招聘職員	藤井雅之

マックスプランク研究所 E. Grün R. Srama

7月 PZTとCFRP（フレーム素材）にAZ2000白色塗装をし、ソーラー照射テスト。
ピーリング試験OK。α増加。

11月14日—12月19日 PZTとCFRPソーラー照射テスト。宇部興産白色塗料。
α劣化は許容範囲内。

熱衝撃試験、-100℃～+200℃を1000回、PZTとCFRP。

CFRP密着性に多少問題あり。対策として表面に金属蒸着後白色塗装を行った。

塗装時に300℃に加熱するので、PZTはその後に分極処理が必要。

12月 ドイツMPIにて加速器ダスト照射実験。白色塗装PZT。

12月 CFRPのアウトガステスト、OK

2月 宇宙研にてMDM-EとMDP接続テスト完了。

MMO/MSASI（水星ナトリウム大気分光撮像装置）の開発

東大・理 吉川一朗 プロジェクト研究員 亀田真吾

Cypress 社の CMOS イメージセンサと浜松ホトニクス製イメージインテンファイアーをフジノン製の転送レンズで接続し、検出器ユニット全体の試験を行った。結果は良好である。

ロシアが開発・製造を続けてきた回転鏡の試作品に対し、EMC試験を実施した。結果は良好である。ロシアの開発部位との電気、機械 I/F に関する仕様を確定した。

MSASI の電子回路部の EM 品を製造し、SPACE CUBE との接続試験を行った。結果は良好である。

MPO/PHEBUS（紫外線分光器）の開発

東北大・惑星プラズマ大気研究センター 教授 岡野章一

東大・理 吉川一朗

未知の大気成分の検出を目的とする PHEBUS は、検出器の高感度化が課題である。光検出部に用いられるマイクロチャンネルプレート（MCP）の量子効率を向上させる研究を引き続き行ない、試作品を製造した。試作品は、フランスとロシアの開発部位と接続し、現在欧州にて試験中である。また、熱構造モデルの製造に取り掛かった。

MMO/MPPE&MPO/SERENA（プラズマ／粒子観測装置）

共通要素である熱数学モデル作成・熱解析、熱シールド部設計、高圧部開発を進めるとともに、個別センサーにおいて以下の検討・設計・試作・試験を実施した。

[MEA（低エネルギー電子エネルギー分析器）]

准教授	齋藤義文	客員教授	平原聖文
准教授	高島 健	助教	浅村和史
助教	横田勝一郎	教授	向井利典

水星磁気圏を理解する為には磁気圏に存在するプラズマの直接測定を行う計測装置が必須である。「低エネルギー電子エネルギー分析器 MEA（Mercury Electron Analyzer）」は数 eV から 30keV 程度の低エネルギー電子のエネルギースペクトルを計測する観測装置であり、特に水星磁気圏構造の解明、荷電粒子加速機構の解明において重要となる観測装置である。MEA は水星で予測されている広い強度範囲にまたがって存在する電子フラックスを計測できるように、電気的な感度変更機能を有している。また、水星磁気圏で予想される高い時間変動に対しても観測を行えるように、衛星上に 2 台の観測器を用意して時間分解能を上げる事を予定している。水星周辺は熱的に厳しい環境であるため、観測器の発熱量は極力減らす必要があると共に、開口部からの熱入力を極力減らすように熱設計を行う必要がある。本年度は熱モデルの設計・製作、エンジニアリングモデルの設計製作等を行なった。

[MIA（低エネルギーイオンエネルギー分析器）]

准教授	齋藤義文	客員教授	平原聖文
准教授	高島 健	助教	浅村和史
助教	横田勝一郎	教授	向井利典

水星磁気圏探査衛星 Bepi Colombo/MMO には、数 eV/q から 30keV/q 程度の低エネルギーイオンのエネルギースペクトルを計測する観測装置「低エネルギーイオンエネルギー分析器 MIA（Mercury Ion Analyzer）」が搭載される予定である。MIA は（1）水星磁気圏構造（2）水星磁気圏粒子加速機構（3）水星・太陽風相互作用（4）水星大気（電離大気）（5）0.4AU における太陽風などの解明において特に重要となる観測装置である。水星周辺における低エネルギーイオンのフラックス強度は、107 程度の非常に広い範囲で存在することが推定されている。このため、MIA はトロイダルトップハット型の静電分析器であるが、通常の実験器に比べてはるかに広いダイナミックレンジを実現する必要がある。本年度は熱モデルの設計・製作、エンジニアリングモデルの設計製作等を行なった。

[MSA (低エネルギーイオンエネルギー質量分析器)]

准教授	齋藤義文	客員教授	平原聖文
准教授	高島 健	助教	浅村和史
助教	横田勝一郎	教授	向井利典

低エネルギーイオンエネルギー質量分析器 MSA (Mass Spectrum Analyzer) は, Bepi Colombo/MMO に搭載されるプラズマ/粒子計測装置 MPPE に含まれる観測装置の一つで, 数 eV/q から 40keV/q の範囲の低エネルギーイオンのエネルギースペクトルをイオン種毎に計測する事ができる. 水星周辺空間には, 水星表面を起源とすると考えられるナトリウムやカリウムの希薄大気が存在が地球からの光学観測で明らかになっており, これらの希薄大気は, 太陽光によって電離され, 水星磁気圏内で大きな役割を果たしていると考えられている. MSA はこれらの重イオン粒子を計測できるように高い質量分解能を有する必要があるため, LEF (Linear Electric Field) を用いた TOF (Time Of Flight) 方式で質量分析を行う. 本年度は熱モデルの設計・製作, エンジニアリングモデルの設計製作等を行なった.

[ENA (高速中性粒子)]

助 教	浅村和史	技術参与	向井利典	准教授	齋藤義文
-----	------	------	------	-----	------

水星周回探査衛星 BepiColombo/MMO 搭載用に高速中性粒子観測器を開発している. 水星は自身の持つ固有強度が小さく, 地表を取り巻く大気も極めて希薄であると考えられている. このため, 太陽風や磁気圏プラズマ粒子が容易に地表にまで到達すると考えられ, 結果として地表から二次的な粒子がたたき出される (スパッタリング). スパッタリング過程によってたたき出された粒子は, 降り込み粒子の運動量によって高いエネルギーを持ち得る. このことは光子や電子の衝突による脱ガス過程には見られない現象であり, エネルギー選別によってスパッタリング粒子を選択的に観測することが可能であることを示している. ほとんどが電氣的に中性であるスパッタリング粒子の観測により, 磁気圏プラズマ現象のモニタリング, 及び水星大気の生成過程にせまる. 本年度は電子基板試験モデルの試作を行うとともに, サーマルシールドの試作, 白色塗装を行った.

[HEP (高エネルギー電子・イオン)]

東大・理	平原聖文	立教大・理	柳町朋樹	准教授	高島 健
				准教授	齋藤義文

上述の MDP と HEP との間のインターフェースによるデータ転送の詳細が決定された. これにより, HEP-i に関しては SSD によるエネルギー分析と TOF による速度分析の結果が MDP で独立に判定・初期処理が可能となり, 温度環境やセンサー要素の問題による一部のデータ欠損が全データの消失を引き起こさない処理が実現できる見通しを得た. また, 探査機・地球間のデータ伝送量に応じて変更すべく, 観測モードに関しても設定がなされた. 今後, 他のプラズマ・粒子センサーの観測データ処理も含め, MDP での統合処理方法を検討できることとなった.

前年度に HEP-i の視野範囲を削減したことに伴い, 粒子検出部の再設計を施し, 高圧配線・信号読み出し経路を確定し, 特に TOF ユニットに用いられる MCP アセンブリーの試験モデルを製作した. 温度・機械環境試験のための HEP-i の構造モデルも製作され, これらのモデルを用い, 次年度において順次試験に供される予定である.

i. ASTRO-G プロジェクトチーム

II-4-i-1

基本設計フェーズに入った第 25 号科学衛星 ASTRO-G

教授	齋藤宏文	教授	坪井昌人	主任開発員	太刀川純孝
主任開発員	吉原圭介	開発員	川原康介	JAXA 統括	平林 久
准教授	村田泰宏	助教	朝木義晴	助教	土居明広
研究員	望月奈々子	研究員	浅田圭一	研究員	紀 基樹
研究員	亀谷和久	SE 推進室	小川 亮	教授	樋口 健
開発員	岸本直子	名誉教授	名取通弘	武蔵工業大学	目黒 在
准教授	水野貴秀	准教授	吉川 真	助教	竹内 央
准教授	加藤隆二	総合追跡ネットワーク技術部	中村信一	総合追跡ネットワーク技術部	中村 涼
研究開発本部	石島義之	開発員	市川 勉	教授	小松敬治
研究開発本部	内田英樹	開発員	福吉芙由子	開発員	鶴野将年
准教授	紀伊恒男	助教	豊田裕之	教授	田島道夫
准教授	廣瀬和之	開発員	嶋田貴信	准教授	坂井真一郎
助教	坂東信尚	研究開発本部	巳谷真司	開発員	坂井智彦
准教授	戸田知朗	開発員	関 妙子	助教	森 治
准教授	澤井秀次郎	招聘職員	中部博雄	教授	石井信明
SE 室開発員	今村裕志	国立天文台	井上 允	国立天文台	武士保健
国立天文台	梅本智文	国立天文台	萩原喜昭	国立天文台	河野裕介
国立天文台	氏原秀樹	国立天文台	永井 洋	国立天文台	小林秀行
国立天文台	川口則幸	国立天文台	柴田克典	法政大学・工	春日 隆
		鹿児島大・理	面高俊宏	鹿児島大・理	西尾正則
		客員准教授	亀野誠二	鹿児島大・理	今井 裕
		鹿児島大・理	祖父江義明	鹿児島大・理	中川亜紀治
		大阪府立大・理	小川英夫	大阪府立大・理	木村公洋
		岐阜大・工	須藤広志	岐阜大・工	高羽 浩
		山口大・理	藤沢健太	山口大・理	輪島清昭
		山口大・理	澤田佐藤聡子	筑波大	中井直正
		北海道大学・理	羽部朝男	北海道大学・理	徂徠和夫
		一橋大	大坪俊通	防衛大・システム工	田中宏明
		一関高専	亀卦川尚子	情報通信研究機構	國森裕生
		情報通信研究機構	久保岡俊宏	情報通信研究機構	後藤忠広

史上最高の角度分解能でブラックホールの周辺などを観測するスペース VLBI 電波観測ミッションの ASTRO-G 衛星は、第 25 号科学衛星として、2012 年度打ち上げ予定である。2008 年度は、2007 年度に引き続き、基本設計を実施した。P FM方式で開発する先行開発機器である直径 9m の大型展開アンテナ、推進系、構体、K a アンテナ系、クライオスタット系については、3 月に設計確認会その 1 として、PDR 相当の審査を通過した。コスト超過と展開アンテナの経年劣化問題のため、2008 年 1 月から再評価のプロセスに入った。

II-4-i-2

ASTRO-G 搭載大型アンテナの開発

教授	樋口 健	開発員	岸本直子	開発員	川原康介
		准教授	水野貴秀	主任開発員	太刀川純孝
		武蔵工業大学	目黒 在	防衛大・システム工	田中宏明

ASTRO-G 搭載大型アンテナは、直径約 4m のモジュール 7 個で構成されるモジュール型メッシュアンテナであり、展開トラス部は技術試験衛星「きく 8 号」の技術を受け継ぎ、鏡面系は「はるか」の 10 倍の高周波化・解像度の向上・高感度化を目指すためにラジアルリブ／フープケーブル方式による鏡面構成となっている。本年度は、8, 22, 43GHz の各観測周波数に対するフィードホーン的设计と配置の検討、メッシュ張力やリブ断面、ケーブル張力といった鏡面系的设计パラメータの確定、焦点及び指向軸調整機構的设计、先行 EM1 モジュールを用いた試験による基本設計の検証、熱入力に対するアンテナゲインの推定、軌道上材料経年劣化に対する鏡面精度推定、鏡面精度誤差バジェットとその検証方法、縮小電気モデルによるコンパクトレンジ電気性能測定試験、などを行なった。

II-4-i-3

ASTRO-G 宇宙環境設計

准教授	紀伊恒男	主幹開発員	池田雅彦	主任開発員	吉原圭介
				助教	豊田裕之

ASTRO-G 計画では放射線、プラズマ環境ともに厳しい地球周回中高度長楕円軌道を取る。このため、耐環境性を明確にするため ASTRO-G 固有の宇宙環境条件を精査し、システム文書等に反映した。内部帯電、シングルイベント条件等には新たな知見が得られたが、文書への反映は来年度となる。また、この作業の一環として、大型展開アンテナの材料実験条件、太陽電池パドル設計条件の評価・確認など、個別の対応も行った。

II-4-i-4

ASTRO-G データ処理系の概念設計

開発員	関妙子	准教授	紀伊恒男	准教授	村田泰宏
-----	-----	-----	------	-----	------

ASTRO-G 計画では「はやぶさ」、PLANET-C 計画で既開発のデータ処理系を用いる方向で検討が進んでいる。深宇宙探査で最適化された設計範囲でのより高いデータ収集レートの実現、観測信号系へのデータ出力、などが新規要因となる。今年度は、既開発品の設計仕様に基づいた詳細検討を行い、新規開発機器や早期データ設計が必要な機器と、その検討結果を用いた調整を実施している。また、詳細設計に向けた検討も進め、ミッション目的になったデータ処理系の実現が、現在の概念設計の構成で可能であるとの感触を得ている。

II-4-i-5

ASTRO-G 観測信号リンク系の開発

国立天文台	河野裕介	准教授	村田泰宏	教授	坪井昌人
		助教	竹内 央	助教	土居明広
		研究員	望月奈々子	国立天文台	萩原喜昭
		鹿児島大・理	西尾正則	共同研究学生	橋本厚太

ASTRO-G で受信された信号は、国内外の地上リンク局からアップリンクされた基準信号に同期し周波数変換、AD 変換され、キャリア周波数 37GHz で変調されて地上に伝送される。2008 年度はこのリンクシステムの総合的な設計と、TWTA 試作機を用いた変復調部の BBM 評価試験を行い性能確認を行った。また SSF のデジタルフィルタのアルゴリズム開発とパラメータ評価を計算機シミュレーションにより求めた。これにより非常に簡易で高感度なデジタルフィルタが実現でき、VLBI 観測を実施して観測が実際に行えることが分かった。

II-4-i-6

ASTRO-G 搭載デジタルフィルタの高速演算アルゴリズムの検証

助教 竹内央

国立天文台

河野裕介

共同研究学生

橋本厚太

ASTRO-G の観測信号系サンプル&フォーマッタ部において、IF 信号を A/D サンプリング (512Msamples/sec, 3bit) した後に、128MHz 帯域幅/2bit のバンドパス信号を切り出すデジタルダウンコンバータ処理を、FPGA で効率的に行うためのアルゴリズムを考案し、シミュレーションによる性能評価と地上電波望遠鏡を用いた実証試験を行った。

II-4-i-7

ASTRO-G 位相補償観測実現に向けた高速姿勢変更則の検討

准教授 坂井真一郎

助教

坂東信尚

東京大学大学院生

中邨 勉

ASTRO-G では位相補償観測を行うために、その姿勢を高速に変更する必要がある。典型的には、離角 3 度程度の姿勢変更を、静定時間まで含めて 15 秒程度で行う必要がある。さらに ASTRO-G には大型展開アンテナが搭載されており、すなわち、柔軟構造を有しながら高速な姿勢変更を行う、世界的に見てもユニークな衛星となっている。今年度は CMG を用いた姿勢駆動則の検討、また、頻繁に高速な姿勢変更を行うことに対応する姿勢決定則の検討などを行った。

II-4-i-8

ASTRO-GKa バンド通信アンテナの検討

助教 土居明広

教授

樋口 健

国立天文台

河野裕介

准教授

村田泰宏

教授

坪井昌人

研究員

望月奈々子

開発員

岸本直子

主任開発員

太刀川純孝

ASTRO-G で受信された天体信号は、国内外の地上リンク局からアップリンクされた基準信号に同期し周波数変換、AD 変換され、キャリア周波数 37GHz で変調されて地上に伝送される。そのための衛星側のハイゲインアンテナが Ka バンド通信アンテナである。主鏡材 CFRP の電波特性や、駆動部導波管に使用されるロータリージョイント、指向精度誤差の検討などをおこなった。先行開発機器として基本設計をおこない、PDR 相当の審査をおこなった。

II-4-i-9

ASTRO-G 軌道決定系の開発

助教 竹内 央

助教

朝木義晴

主任開発員

吉原圭介

統合追跡ネットワーク技術部

中村信一

統合追跡ネットワーク技術部

中村 涼

統合追跡ネットワーク技術部

井上高広

情報通信研究機構

國森裕生

一橋大

大坪俊通

ASTRO-G 衛星は遠地点高度 25,000km、近地点高度 1,000km の長楕円軌道衛星で、軌道決定精度 10cm を目指している。GPS、衛星レーザ測距 (SLR)、Ka 帯ドップラの各観測量を効果的に組み合わせて軌道決定を行うための軌道決定システムの設計を行っている。今年度は、地上系軌道決定ソフトウェアの Astro-G 対応を進めるとともに、疑似データを用いた達成精度評価や、SLR 取得データ処理方法の検討を行った。

II-4-i-10

ASTRO-G 搭載 GPS アンテナの開発

助教	朝木義晴	研究開発本部	内田英樹
		開発員	福吉英由子

VSOP-2 では位相補償観測を行う。位相補償観測の際に電波望遠鏡間のベクトル（基線ベクトル）を 10cm の精度で求めることを要求されており、ASTRO-G 衛星に対してこれまでの科学衛星では経験のない非常に高い軌道決定精度が求められる。軌道上で GPS を利用した航法データを取得し高精度軌道決定を行うために、搭載 GPS アンテナの開発を行っている。昨年度行った概念設計をもとに、電気設計ならびに 3 次元電磁界解析を用いたシミュレーション検討、熱設計および初期熱解析、構造設計ならびに構造解析を行い、EM 設計を行った。

II-4-i-11

ASTRO-G 搭載 GPS 受信機システムの検討

助教	朝木義晴	主任開発員	吉原圭介
助教	竹内 央	教授	齋藤宏文

VSOP-2 では位相補償観測を行う。位相補償観測の際に電波望遠鏡間のベクトル（基線ベクトル）を 10cm の精度で求めることを要求されており、ASTRO-G 衛星に対してこれまでの科学衛星では経験のない非常に高い軌道決定精度が求められる。軌道上で GPS を利用した航法データを取得し高精度軌道決定を行うために、搭載 GPS 受信機の概念設計を行った。

II-4-i-12

ASTRO-G 搭載 SLR レーザー反射鏡の開発

情報通信研究機構	國森裕生	助教	竹内 央
		一橋大	大坪俊通
		統合追跡ネットワーク技術部	中村信一

Astro-G の高精度軌道決定用 GPS 受信機を補完し、特に高高度における地上レーザー局から同衛星への衛星レーザー測距（SLR）に対応するためのレーザー反射鏡アレイ（SLRA）の設計を行っている。

2008 年度は、予備設計の最終段階にあたり、構造設計、熱設計、放射線設計をすすめ、BBM を用いた振動試験、衝撃試験をおこなった。プリズムの保持方法やフォーマットの設計の基本的な見通しを得た。

ASTRO-G は、SLR による高精度測位を定常的に行う世界で初めての長楕円軌道衛星になり、地上局ネットワークの支援を得るため ILRS（国際レーザー測距サービス）の会合で計画の説明を開始している。

II-4-i-13

ASTRO-G 受信機フロントエンドシステムの EM 製作

教授	坪井昌人	准教授	村田泰宏
法政大・工	春日 隆	大阪府立大・理	小川英夫
国立天文台	氏原秀樹	国立天文台	武士保健
国立天文台	河野裕介	教授	齋藤宏文
助教	土居明広	共同研究学生	黒住聡丈
共同研究学生	城山典久	共同研究学生	海田正大
共同研究学生	木村公洋	共同研究学生	利川達也
共同研究学生	小嶋崇文	大学院学生	佐藤麻美子
大学院学生	但木謙一	主任開発員	太刀川純孝
開発員	福吉英由子	研究員	亀谷和久
研究員	浅田圭一	研究員	望月奈々子
開発員	川原康介	教授	小松敬治

スペース VLBI 衛星 ASTRO-G は 8, 22, 43GHz 帯の 3 周波数両偏波の受信機フロントエンドシステムを搭載する。22, 43GHz 帯受信機は 30K 程度まで機械式冷凍機で冷却して使用する予定である。22/43GHz LNA 専用に試作した MMIC を基に LNA の EM を製作して単体 RF 性能を評価し振動試験を実施した。22/43GHz 帯受信機の冷却ホーン・ポラライザの EM を製作して単体 RF 性能を評価し振動試験を実施した。これをホーンアッシーに組み立てて RF 性能を評価し振動試験を実施した。最終的にクライオスタット EFM に組み込んだ。

また熱設計、機械設計の見直しをすすめて冷凍機の到達温度を改善した。8GHz 帯でも同様に LNA とホーン・ポラライザの EM を製作して単体 RF 性能を評価し振動試験を実施した後、ホーンアッシーに組み立てて RF 性能を評価し振動試験を実施した。最終的にクライオスタット EFM に組み込んだ。

II-4-i-14

ASTRO-G 衛星副鏡反射面／透過材の性能評価

教授	坪井昌人	研究員	亀谷和久
国立天文台	氏原秀樹	国立天文台	武士保健
国立天文台	梅本智文	大学院学生	佐藤麻美子
		大学院学生	但木謙一

本衛星に搭載される電波望遠鏡はオフセットカセグレン方式であるが、副鏡は雑音特性と偏波性能が劣化しないようにしたい。そこで CFRP の素地、金属コーティング材など反射面の候補と熱制御材候補を熱サイクルの影響を含めながら性能評価した。また測定システムを改良しながら来年度も測定を継続する予定である。

II-4-i-15

ASTRO-G 搭載 22GHz, 43GHz 帯フロントエンドシステム EM の RF 性能試験

研究員	亀谷和久	教授	坪井昌人
法政大・工	春日 隆	大阪府立大・理	小川英夫
大学院学生	佐藤麻美子	大学院学生	但木謙一
准教授	村田泰宏	国立天文台	氏原秀樹
共同研究学生	木村公洋	共同研究学生	黒岩宏一
		開発員	川原康介

ASTRO-G 衛星に搭載する 22GHz 帯および 43GHz 帯フロントエンド（電波受信機）システムの EM に対して、RF 性能試験を実施した。同衛星のフロントエンドは主にホーン、導波管、円偏波分離器、低雑音増幅器（LNA）から構成される HORNASSY を周波数毎に搭載する。特に 22, 43GHz 帯は軌道上では受信機雑音を抑えるために

冷凍機により 30K (LNA) および 100K (ホーン) に冷却して運用される. 本年度は HORNASSY の EM 開発を行ない, 運用時の環境を模擬するための冷却系に組み込んで受信機雑音温度, 周波数帯域特性, ビームパターン等の測定を行なった. その結果, 全ての試験項目で衛星の仕様値を満たす性能が得られることが確認された. さらに振動試験 (QT レベル) の前後で上記測定を比較し, 振動による性能の劣化が無いことが確認された.

II-4-i-16

ASTRO-G key Science Program : M87 観測計画の検討

研究員	浅田圭一	国立天文台	井上 允
国立天文台	紀 基樹	国立天文台	永井 洋
客員准教授	亀野誠二	助教	土居明広

我々は, 活動銀河核 M87 の ASTRO-G 観測を, ASTRO-G 科学観測のうち学問的研究価値が非常に高い研究テーマとして遂行される Key Science Program として提案する準備を行っている. 活動銀河核 M87 は最も近傍に存在する卓越したジェットを持つとともに, 中心のブラックホール質量が極めて精密に求められている天体である. また, ブラックホール半径で規格化した見かけのスケールがもっとも大きくなる天体で, そのため, 降着円盤の物理, ジェット生成・収束機構等未だ説明されていない積年の難問にもっとも迫りやすい天体であると考えられている. 本年度我々は, ASTRO-G のための先攻研究として地上 VLBI 観測および過去のアーカイブを用いた解析を行った.

II-4-i-17

ASTRO-G key Science Program : 降着円盤撮像の観測計画の検討

助教	土居明広	共同研究学生	秦 和弘
国立天文台	永井 洋	研究員	浅田圭一
研究員	紀 基樹	客員准教授	亀野誠二

かつてない高い空間分解能 (約 40 マイクロ秒角) の撮像能力をもった VSOP-2 は, 重要な科学目標の 1 つ「降着円盤の撮像」に挑もうとしている. 検出限界の 10^8 – 10^9 ケルビンよりも高い輝度温度で光っていると期待される「放射効率の悪い円盤」が有望なターゲットとなる. 我々の知っている近傍の低光度活動銀河核電波源は, そのような円盤で駆動されている可能性があると同時に, 活動銀河核の中でも大きなブラックホール (10^8 – 10^9 倍の太陽質量) をもち, 近傍のため大きな立体角が期待でき, 降着円盤を空間的に分解して撮像できるかもしれない. ASTRO-G 衛星打ち上げ前に, 地上 VLBI で準備研究をおこない (Pre-launch Study), 撮像に最適な観測天体に狙いを絞り込んだうえでスペース VLBI 観測に臨む方針を検討した. VSOP-2 Key Science Program (KSP) 活動銀河核分野日本検討チームでは, ターゲットのリストアップをおこない, 地上 VLBI での観測準備を開始した.

II-4-i-18

ASTRO-G key Science Program : Disk-Jet Connection の検討

国立天文台	永井 洋	研究員	浅田圭一
助教	土居明広	共同研究学生	秦 和弘
客員准教授	亀野誠二	研究員	紀 基樹

本テーマは, Key Science Program (KSP) ワーキンググループの一つである AGN サブワーキンググループによる観測提案である. AGN において観測される相対論的ジェットは, 巨大ブラックホール近傍の降着円盤から噴出していると考えられている. 相対論的ジェットは, 一般的には非定常な噴出をするが, この非定常性の原因はよくわかっていない. 降着円盤の物理状態の変化が原因ではないかと予想されているが, その直接的な証拠をとらえた例はない. X 線は降着円盤の状態を探る有力な手法であることから, VSOP-2 によるジェット噴出の様子の変化と X 線における変動の両方を探ることで, ジェットが強く噴出するタイミングにおける降着円盤の状態を探れると期待される. さらに, いくつかの天体では VSOP-2 による降着円盤撮像の可能性があり, そのような天体については降着円盤とジェットの関係をより直接的に明らかにすることができるだろう. 今年度の検討では, ブラックホール

半径の 100 倍程度を空間分解することができ、かつ X 線観測を行いやすい天体に着目し、観測候補天体の抽出を行った。このうちいくつかの天体においては、過去に行われた地上 VLBI 観測データを用いて解析を行い、より具体的な観測可能性を探る作業を始めた。今後は、国内外の地上 VLBI 網に観測提案を行い、準備研究を進める予定である。

II-4-i-19

ASTRO-G key Science Program: ガンマ線ブレーザー観測計画の検討

研究員	紀 基樹	研究員	浅田圭一	国立天文台	永井 洋
		研究員	Gabanyi, Krisztina	CSIRO	Edwards, PhilipG
		TurkuUniv.	Lindfors, Elina	理化学研究所研究員	磯部直樹

ガンマ線ブレーザーは、ジェットの最深部（根元）における激しいエネルギー散逸現象である。最新の多波長観測と理論モデルの対比によれば、放射源は相対論的な速度で進むサブパーセク程度の大きさのプラズマ塊であるべき、という物理的制限がこれまでに得られている。ところが現存の VLBI 装置の能力では分解能がサブパーセクスケールに届かず直接観測ができない。そこで VSOP-2 の 43GHz を用いると、空間分解能がサブパーセクスケールに届き、人類は初めてその放射領域を直接観測できるようになる。こうした VSOP-2 の特長を生かすユニークな観測計画をわれわれは検討している。その事前準備研究として、本年度はまず天体の絞込み作業を行い、最適な天体として Mrk421 を選んだ。さらにアーカイブデータを調査し、SwiftX 線衛星との同時観測が行われている時期（2006 年夏）の 43GHz のアーカイブデータを鋭意解析中である。

II-4-i-20

ASTRO-G Key Science Program: メガメーザー銀河の観測の検討

国立天文台	萩原喜昭	国立天文台	山内 彩
客員准教授	亀野誠二	鹿児島大学	今井 裕
助教	土居明広	研究員	望月奈々子

国立天文台、鹿児島大学、JAXA の共同研究チームはメーザーKey Science Program (KSP) の中の一部である、メガメーザーKSP の検討を行った。ASTRO-G による水メガメーザーの研究で科学的意義が顕著に見込まれるテーマに関して Working group で検討をおこなった。水メガメーザーは銀河中心核を取り囲む円盤構造をサブパーセクスケールでトレースすることが知られる。ASTRO-G の 22GHz 帯での高空間分解能観測により、他波長ではなし得ないスケールで、円盤構造の空間的な分解を可能にし、AGN の circumnuclear 領域の研究の発展が見込まれる。本検討では、円盤構造を 2 つ、1) 薄い円盤構造、および 2) 厚い円盤、つまりトーラス構造、と分類し、各々で観測可能な天体を数天体ずつ列挙し、感度面、校正天体の有無などから観測可能性を議論した。薄い円盤の研究では、円盤の厚みや円盤上のメーザー源の固有運動の精密測定に科学的意義があり、厚い円盤では、連続波観測で可能なプラズマトーラスの撮像と併せて AGN 周囲の物質及分布にサブパーセクスケールでアプローチすることに科学的意義があることが現在のところ指摘されている。今後は地上 VLBI だけのパイロット観測を打ち上げまでに重ねて、候補天体を絞っていく必要がある。また、あらたなメガメーザー源の検出や既知の天体のモニターも重要であると認識された。

II-4-i-21

ASTRO-G Key Science Program: マゼラン銀河の観測計画の検討

鹿児島大・理	今井 裕	鹿児島大・理	片山雄太
鹿児島大・理	中西裕之	鹿児島大・理	祖父江義明
客員准教授	亀野誠二	国立天文台	萩原喜昭
国立天文台	廣田朋也	国立天文台	本間希樹
准教授	村田泰宏	研究員	望月奈々子
CSIRO	Edwards, PhilipG.	CSIRO	Phillips, C.
		MPIR	Brunthaler, A.

我々は国立天文台や鹿児島大学といった研究機関と共に Key Science Program (KSP) の検討を行った。KSP とは、ASTRO-G で行う観測のうち、学問的研究価値が非常に高い研究テーマ、一般の公募観測提案には適さないが大きな科学性成果を上げられると期待される研究テーマ、といった観点から、ミッション主導で推進する科学プログラムである。ここでは特に、大小マゼラン雲に付随する水蒸気メーザー源について KSP 実施可能性について検討を進めた。メーザー-subWG として活動を初めて以降、VSOP-2 の優れた撮像能力でなければなし得ないテーマを厳選していった結果、メーザー源としては 50kpc 遠方にあるマゼラン銀河中の水蒸気メーザー源がターゲットとなり得ると結論した。その中で、技術的には挑戦的課題である年周視差 ($20 \mu\text{as}$) の検出、大マゼラン雲の銀河回転を利用した直接測距 ($400 \mu\text{as/yr}$)、大小マゼラン雲の局所銀河群中での軌道の推定 ($400 \mu\text{as/yr}$)、メーザー源三次元内部運動 ($10 \mu\text{as/yr}$) 分析に基づくスターバースト領域内部のガス運動の解明とスターバースト素過程の解明、などを目指す。観測実現のために、ATNF のアーカイブデータを分析して、大小マゼラン雲中にそれぞれ 13 個と 3 個のメーザー源を同定し、さらに、ATNF を用いた隣接参照電波源探索の提案を行い採択された。今後、研究計画案を策定し、地上 VLBI 観測網を用いた準備研究を進める予定である。

II-4-i-22

ASTRO-G 搭載 8GHz 帯フロントエンド部の開発

大阪府立大・理	小川英夫	大阪府立大・工	千葉正克
共同研究学生	木村公洋	教授	坪井昌人
准教授	村田泰宏	共同研究学生	海田正大
国立天文台	氏原秀樹	法政大・工	春日 隆

ASTRO-G 衛星に搭載する 8GHz 帯フロントエンドの開発を進めている。このフロントエンド部は主にマルチモードホーンおよび偏波分離器から構成されており、天体からの右旋・左旋円偏波信号を給電、分離して増幅部へと伝送する。各部品には低損失かつ高い偏波分離度が必要である。有限要素法を用いた電磁界解析から設計を行い、製作を進めた。特性測定や振動テストの結果、目標値を満足することを確かめた。

II-4-i-23

ASTRO-G 衛星ビーム伝送系の RF 特性検討

大阪府立大・理	小川英夫	共同研究学生	木村公洋
教授	坪井昌人	国立天文台	氏原秀樹
法政大学・工	春日 隆	准教授	村田泰宏

ASTRO-G 衛星にはオフセットカセグレン望遠鏡が搭載され、カセグレン焦点面に 8, 22, 43GHz 帯受信機が配置される。これら受信機のアンテナ特性は物理光学手法を用いて算出した。また、光学素子の変形や位置ずれがアンテナ特性にどのような影響を与えるかの評価を行った。これらのデータはアンテナ構造体設計へのフィードバックや運用時の光学調整に重要である。

II-4-i-24

ASTRO-G 推進系の開発

助教	森 治	准教授	澤井秀次郎
主任開発員	志田 真樹	開発員	中塚潤一
		助教	丸 祐介

ASTRO-G 推進系は、ヘリウムを加圧ガスとした一液ブローダウン方式の 3N スラスタであり、ペリジアップのための推力発生や姿勢異常時のセーフホールド姿勢制御を行う。本年度は、システムの重心位置の変更を受けて、機械インターフェースに注意しながらスラスタ 8 本の再配置を行った。これを踏まえて、推進系の詳細な設計を進め、設計確認会を実施した。

j. ASTRO-H プロジェクトチーム

II-4-j-1

「ASTRO-H」の開発

PI/プロジェクトマネージャー	教授	高橋忠幸
プロジェクトサイエンティスト	教授	満田和久
NASAPI	Dr. Rich Kelley	
バス系統括	准教授	峯杉賢治
ミッション系機器統括	教授	堂谷忠靖
ジョイントシステムエンジニア	主任開発員	小川美奈

教 授	山田隆弘	助 教	竹井 洋
教 授	海老澤研	助 教	辻本匡弘
教 授	石田 学	助 教	坂東信尚
教 授	池田博一	開発員	岩田直子
教 授	中川貴雄	開発員	嶋田貴信
教 授	川崎繁男	宇宙航空プロジェクト研究員	太田直美
客員教授	國枝秀世	宇宙航空プロジェクト研究員	内山泰伸
客員教授	能町正治	宇宙航空プロジェクト研究員	篠崎慶亮
准教授	峯杉賢治	宇宙航空プロジェクト研究員	佐藤理江
准教授	小川博之	宇宙航空プロジェクト研究員	佐藤悟朗
准教授	山崎典子	宇宙航空プロジェクト研究員	大野雅功
准教授	戸田知朗	研究員	馬場 彩
准教授	吉光徹雄	主任研究員	田村啓輔
准教授	国分紀秀	研究員	森 英之
准教授	石村康生	岩手大学	山内茂雄
研開本部・熱グループ	杉田寛之	県立ぐんま天文台	衣笠健三
研開本部・熱グループ	佐藤洋一	東京大学／理化学研究所	牧島一夫
主任開発員	志田真樹	理化学研究所	三原建弘
客員准教授	藤本龍一	理化学研究所	玉川 徹
助 教	尾崎正伸	理化学研究所	平賀純子
助 教	前田良知	理化学研究所	磯部直樹
助 教	田村隆幸	理化学研究所	川原田円
助 教	渡辺 伸	理化学研究所	中川友進

理化学研究所	山口弘悦	名古屋大学	小賀坂康志
埼玉大学	田代 信	名古屋大学	古澤彰浩
埼玉大学	寺田幸功	名古屋大学	幅 良統
芝浦工業大学	久保田あや	名古屋大学	田原 譲
東京大学	中澤知洋	京都大学	小山勝二
中央大学	坪井陽子	京都大学	鶴 剛
東京工業大学	河合誠之	京都大学	松本浩典
東京工業大学	片岡 淳	京都大学	上田佳宏
東京工業大学	中森健之	大阪大学	常深 博
首都大学東京	大橋隆哉	大阪大学	林田 清
首都大学東京	石崎欣尚	大阪大学	宮田恵美
首都大学東京	江副祐一郎	大阪大学	穴吹直久
工学院大学	幸村孝由	大阪大学	中嶋 大
青山学院大学	吉田篤正	大阪大学	勝田 哲
青山学院大学	山岡和貴	神戸大学	伊藤真之
青山学院大学	小谷太郎	広島大学	深沢泰司
東京理科大学	松下恭子	広島大学	水野恒史
日本大学	根来 均	広島大学	片桐秀明
日本大学	中島基樹	広島大学	高橋弘充
立教大学	北本俊二	愛媛大学	栗木久光
立教大学	村上弘志	愛媛大学	寺島雄一
立教大学	森井幹雄	宮崎大学	廿日出勇
金沢大学	村上敏夫	宮崎大学	山内 誠
金沢大学	米徳大輔	宮崎大学	森 浩二
金沢大学	佐藤浩介		他 ASTRO-H チーム
日本福祉大学	宇野伸一郎		

次期 X 線天文観測衛星 ASTRO-H は、2013 年度打ち上げを目指して開発を進めている我が国 6 番目の X 線天文衛星である。本計画は、合計 25 校に達する日本の国公立大学の研究グループの支持と協力で検討が進められ、世界最高の圧倒的に優れた観測能力で、宇宙科学の根源的課題に挑む。2008 年度 7 月から 8 月にかけての宇宙開発委員会における開発研究事前評価、JAXA のプロジェクト移行審査を受け、第 26 号科学衛星 ASTRO-H プロジェクトとして、正式に 10 月 1 日よりその活動を開始した。

ASTRO-H は、X 線超精密分光と軟 X 線・硬 X 線撮像分光/軟ガンマ線観測とによる広帯域観測を、これまでにない高感度で実現する。これによって、宇宙のダイナミックな進化と非熱的物質を含めたエネルギー集中過程と階層形成の解明を目指すものである。高温ガスの運動を初めて捉え、宇宙の進化をリアルタイムの映像として明らかにし、超広帯域の観測とも合わせることで、ダイナミックな宇宙の進化の真の姿が初めて明らかにされるだろう。ASTRO-H は、最低 3 年間軌道上において観測を続ける事をめざしており、科学的目標は以下の通りである。

- 1) ダークマターが支配する銀河団という宇宙最大の天体における熱エネルギー、銀河団物質の運動エネルギー、非熱的エネルギーの全体像を明らかにしダイナミックな銀河団の成長を直接観測する。
- 2) 厚い周辺物質に隠された遠方（過去）の巨大ブラックホールを、現在運用中の日本の X 線天文衛星「すざく」の約 100 倍の感度で観測し、その進化と銀河形成に果たす役割を解明する。
- 3) ブラックホールの極めて近傍にある物質の運動や、そこから出る輝線の構造を測定することで、重力のゆがみを把握し、相対論的時空の構造を明らかにする。
- 4) 宇宙に存在する高エネルギー粒子（宇宙線）がエネルギーを獲得する現場の物理状態を測定し、重力や衝突・爆発のエネルギーが宇宙線を生み出す過程を解明する。

5) 距離 (年齢) の異なる銀河団のダークマター分布を測定し、銀河団進化に対するダークマターと暗黒エネルギーの役割を探索する。

この科学的目標を実現するために、以下の装置の開発を行う。

(1) 軟 X 線超高分解能分光システム：軟 X 線望遠鏡とエネルギー分解能 7 電子ボルトを持つマイクロカロリメータ検出器からなる。ダークマターに閉じ込められた銀河団中の高温ガスの速度分布をはじめて計測し乱流構造を明らかにする。(観測範囲：0.5-12keV)。

(2) 広視野軟 X 線撮像分光システム：軟 X 線望遠鏡と大面積 X 線 CCD を用い、広い視野を持つ超低雑音 X 線カメラ (観測範囲：0.3-10keV)。

(3) 硬 X 線撮像分光システム：日本独自の硬 X 線望遠鏡と硬 X 線半導体撮像装置からなる。全天に広がって分布する X 線背景放射から、個々の天体を切り出すことを可能にし、厚い塵に隠された巨大ブラックホールの検出感度を一気に向上させるブレークスルーをもたらす。(観測範囲：5-80keV)。

(4) 軟ガンマ線検出システム：独自の狭視野半導体コンプトンカメラにもとづき、一桁以上の感度の向上を実現した超低雑音ガンマ線検出装置。ブラックホールの周辺領域のジオメトリを偏光観測で探る能力をもあわせ持つ世界トップの装置 (観測範囲：10-600keV)。

また、硬 X 線望遠鏡の焦点距離 12m を実現し、打ち上げ時の振動、温度変化・放射線等の軌道上環境で、対象とする天体を 5 秒角以下の精度で指向するための構造と制御系、絶対温度 55mK を実現する冷凍機システムをデータ処理、通信系などにも実現する。

ASTRO-H は米国、オランダなど、非常に緊密な国際協力によって開発を行う事となっており、特に NASA/GSFC を中心としたグループは、2008 年に NASA の SMEX/MOORE 公募プログラムにより競争的に資金を得る事が決定し、ASTRO-H の鍵となる検出器—軟 X 線分光システム—の共同開発を大掛かりに行うこととなった。2008 年度末には、NASA, ESA, JAXA のそれぞれの宇宙機関から開発段階、そして初期の試験観測期間において、科学的な見地から助言を得るために、サイエンスワーキンググループ (SWG) メンバーが公募され、13 名が選ばれた。

II-4-j-2

ASTRO-H 衛星搭載マイクロカロリメータ (SXS) の開発

教授	満田和久	筑波大・工	村上正秀	NASA/GSFC	P. J. Shirron
准教授	山崎典子	埼玉大・理工	田代 信	NASA/GSFC	M. J. DiPirro
助教	竹井 洋	埼玉大・理工	寺田幸功	SRON	J-W. denHerder
助教	辻本匡弘	理研	玉川 徹	ウィスコンシン大	D. McCammon
		宇宙航空プロジェクト研究員	篠崎慶亮	理研	三原建弘
		研開本部	杉田寛之	理研	川原田円
		研開本部	佐藤洋一	理研	山口弘悦
		金沢大・自然	藤本龍一	立教大・理工	北本俊二
		金沢大・自然	佐藤浩介	立教大・理工	村上弘志
		首都大・理工	大橋隆哉	NASA/GSFC	R. L. Kelley
		首都大・理工	石崎欣尚	NASA/GSFC	C. A. Kilbourn
		首都大・理工	江副祐一郎	NASA/GSFC	F. S. Porter

ASTRO-H 搭載予定の SXS 検出器は極低温検出器マイクロカロリメータを用いた精密分光器である。マイクロカロリメータは X 線 CCD カメラの 20 倍程度の分光能力を持ち、天体の運動や物理状態を精度よく決定することが可能である。宇宙の様々な謎を解き明かし、未知の物理現象を発見することが大きく期待される。今年度は米国の SXS への参加が正式に決定し、それに基づいて、日米間のタスクシェアの決定、インターフェース調整を行い、それに基づいて検出器と冷却系の間、および衛星とのインターフェースの基本設計を行った。SXS は 50mK という極低温で動作させる。冷却系は 1.3K までが日本、1.3K から 50mK までを米国 NASA/GSFC という製作分担とな

っているが、全ての設計を日米で協力し、十分な情報交換を行いながらすすめている。また、冷凍機の駆動回路や X 線の信号を処理するアナログおよびディジタルエレクトロニクスの構成、それぞれの機器の間のインターフェイスについても日米で協力して検討を進めた。さらに、リスクの早期発見と予防のため、日米の joint systems engineering team (JSET) を構成し、課題の洗い出しを行っている。日本における SDR、米国の SRR、SDR 審査会を大きな課題なく通過した。

II-4-j-3

ASTRO-H 衛星搭載 X 線望遠鏡 (SXT/HXT) の開発

教授	石田 学	大学院生	林多佳由	愛媛大・理工	栗木久光
助 教	前田良知	大学院生	佐藤拓郎	愛媛大・理工	黄木景二
主任研究員	田村啓輔	首都大・理工	白田渉雪	大阪市大・工	高坂達郎
研究員	森 英之	名大・理	國枝秀世	NASA/GSFC	岡島 崇
大学院生	中村良子	名大・理	小賀坂康志	NASA/GSFC	Serlemitsos P. J.
大学院生	染谷謙太郎	名大・理	古澤彰浩	NASA/GSFC	Soong Y.

2013 年度に打ち上げを目指す Astro-H 衛星には 2 台の硬 X 線望遠鏡 (HXT: Hard X-ray Telescope) と 2 台の軟 X 線望遠鏡 (SXT: Soft X-ray Telescope) が搭載される。HXT 製作は日本側の担当であり、名古屋大学、愛媛大学、大阪市立大学、宇宙研が共同で開発を進めている。今年度は HXT の基本設計を行い、望遠鏡ハウジングの機械強度計算に基づいて設計を固め、EM のハウジングの製作までを行った。またこれと並行して熱設計を進めるとともに、使用材料のアウトガスの検討も行った。

SXT は NASA/GSFC の担当であるが、基本的な技術に HXT と共通する部分が多いため、TV 会議などで緊密に連絡を取りながら開発を進めている。「すざく」で使用したサーマルシールド用のフィルムが製造停止になったため、「あすか」で使用した $0.5\mu\text{m}$ 厚のアルミナイズドマイラフィルムの音響試験を NASA/GSFC で実施し、使用可能であることを検証した上で、Luxel 社の $0.2\mu\text{m}$ ポリイミドフィルムの試験を計画している。いっぽう望遠鏡本体は、すでに数十枚の反射鏡を詰めて結像性能 1.3 分角の望遠鏡を実現しており、Astro-H のスペックを満たす SXT が製作可能であることを実証した。並行して EM の構造設計を開始している。

II-4-j-4

ASTRO-H 搭載 SXI の開発

教授	堂谷忠靖	阪大・理	常深 博	京大・理	松本浩典
助 教	尾崎正伸	阪大・理	林田 清	工学院大	幸村孝由
研究員	馬場 彩	阪大・理	中嶋 大	立教大・理	村上弘志
大学院学生	松田桂子	阪大・理	穴吹直久	宮崎大・工	森 浩二
大学院学生	藤永貴久	阪大・理	松浦大介	他 ASTRO-HSXI チーム	
		理研	平賀純子	京大・理	鶴 剛

SXI (Soft X-ray Imager) は、ASTRO-H に搭載予定の広視野撮像分光検出器である。 5.6m の焦点距離を持つ軟 X 線望遠鏡 (SXT-I) の焦点面に置かれ、大面積の X 線 CCD を 4 枚配置することで 38 分角の視野をカバーする。SXI は、「あすか」、「すざく」での X 線 CCD カメラの経験をもとに開発が進められており、次のような特徴を持つ。(1) 世界で初めて N 型 CCD を採用し、きわめて厚い空乏層を実現する。(2) アナログ回路を ASIC 化し、CCD 近傍に配置することでノイズ性能の向上と低電力化を計る。(3) 冷凍機を用いて CCD を -120°C に冷却し、放射線損傷の影響が出にくくする。(4) CCD 表面に直接アルミを蒸着することで可視光遮断膜を廃し、カメラボディの真空容器化を不要とする。(5) FPGA によるイベント処理を一部利用することで、撮像間隔を短縮する。2008 年度は、SXI で使われる要素技術の開発を進めるとともに、基本設計に着手した。X 線 CCD については、仕様を決定し焦点面アセンブリの設計を進めた。また、センサー、冷凍機、フロントエンド回路系などを搭載する SXI プレートの基本設計を進めた。特に、衛星システムとの熱構造インタフェースの検討を行い、冷凍機からの発熱を効率

良く宇宙空間に捨てるため、ラジエータとヒートパイプからなる放熱系を採用することにした。CCD 表面に直接作り付ける可視光遮断層については、試作を行い、X線透過率および紫外線や可視光の遮断性能を測定するためのビームライン実験の準備を進めた。ASIC については、放射線照射実験を行うとともに、その結果を踏まえて専門家によるレビューを受けた。現在は、レビュー結果を受けて設計の確認を行っている。ASTRO-H では、衛星内のネットワークに SpaceWire を全面的に採用している。そこで、SpaceWire を用いた SXI データ処理系の BBM を製作し、基本的な動作の確認を行った。

II-4-j-5

ASTRO-H 衛星搭載硬 X 線撮像検出器/軟ガンマ線検出器 (HXI/SGD) の開発

教授	高橋忠幸	客員教授	能町正治
教授	池田博一	准教授	国分紀秀
		助教	渡辺 伸
宇宙航空プロジェクト研究員	内山泰伸	宇宙航空プロジェクト研究員	佐藤悟朗
宇宙航空プロジェクト研究員	佐藤理江	東京大学/理化学研究所	牧島一夫
		宇宙航空プロジェクト研究員	大野雅功
東京大学	中澤知洋	埼玉大学	寺田幸功
東京工業大学	片岡 淳	青山学院大学	山岡和貴
広島大学	深沢泰司	Stanford 大学	田島宏康
広島大学	水野恒史	Stanford 大学	田中孝明
		広島大学	高橋弘充

硬 X 線撮像検出器 (Hard X-ray Imager; HXI) および軟ガンマ線検出器 (Soft Gamma-ray Detector; SGD) は、ASTRO-H に搭載予定の検出器であり、それぞれ 10-80keV と 30-600keV という高エネルギー側の広帯域を検出範囲として持つことで、ASTRO-H の目指す広帯域高感度観測を実現する。HXI は両面シリコンストリップ検出器と両面ストリップ型テルル化カドミウム検出器を多層に組み合わせた主撮像部を硬 X 線望遠鏡の焦点位置に設置して、10keV 以上の硬 X 線光子に対する高い検出効率と分光能力、位置分解能 $250\mu\text{m}$ を同時に実現する。さらに周囲を、BGO シンチレーターで出来た厚いアクティブシールドで囲むことで、低バックグラウンドによる高感度を実現する。SGD は、シリコン及び CdTe のピクセル型検出器を数 10 層にも積層して半導体コンプトンカメラとして動作させ、コンプトン運動学を用いた到来方向決定能力によって、さらなる高感度観測とガンマ線の偏光観測能力を実現する。

今年度は、検出器センサ部の要素技術開発を進めるのと平行して、衛星搭載のための基本設計を実施した。HXI においては、フライト品予定の両面シリコンストリップ素子を用いた基礎性能測定の実施、読み出し用アナログ ASIC の製造と機能評価及び素子と結合した読み出し試験を行い、問題がないことを確認した。SGD においては、ピクセル型シリコン/CdTe 素子の試作と性能評価を実施し、また BGO 結晶を保持するための構造部材の開発を行って、振動試験による性能実証を行った。さらに衛星バス部を含めた熱数学モデルを用いた熱設計を実施し、想定される発熱に対して必要な放熱板のデザインを行った。HXI, SGD とも、次世代データ通信の国際標準規格である SpaceWire に準拠したインターフェースを採用するが、このための標準 I/O ボードと標準 CPU ボードの試作を行い、それらを用いたデータ処理系の機能確認に着手した。

k. 小型科学衛星プロジェクトチーム

II-4-k-1

柔軟な標準バスの開発研究

准教授	澤井秀次郎	准教授	坂井真一郎
助教	福田盛介	東大・教養	上野宗孝
助教	山崎 敦	助 教	竹内伸介
		研究員	上水和典

小型科学衛星は、低コスト・短期間で様々な科学要求に応えるために立ち上げられたシリーズであり、これに供する標準的なインタフェースを有した柔軟な標準バス、セミオーダーメイド型の衛星開発手法について研究開発を行っている。プロジェクト以降 1 年目となる 2008 年度は、広範囲なミッションをカバーし得る熱／構造設計や、標準データインターフェース（SpaceWire）周辺の試作などに着手した。

II-4-k-2

小型科学衛星 1 号機ミッション部の研究開発

東大・教養	上野宗孝助	教	山崎 敦
東大・理	吉川一朗	東北大・理	笠羽康正
		研究員	上水和典

小型科学衛星 1 号機ミッション部の熱・構造系に関する概念検討を行うとともに基本設計に着手した。極端紫外線観測装置に用いる MCP 検出器の性能評価、主鏡サンプルピースの試作・評価および極端紫外線波長用回折格子の試作・評価を行った。MCP 用高圧電源回路の設計評価を行った。

I. SPICA プリ・プロジェクトチーム

II-4-I-1

次世代赤外線天文衛星「SPICA」の概念設計と基礎開発

教授	松原英雄	教授	小松敬治
教授	齋藤宏文	教授	橋本樹明
教授	八田博志	教授	田島道夫
教授	佐藤英一	教授	山田隆弘
客員教授	芝井 広	名誉教授	松本敏雄
准教授	片坐宏一	准教授	紀伊恒男
准教授	山村一誠	准教授	澤井秀次郎
准教授	小川博之	准教授	後藤 健
准教授	廣瀬和之	准教授	戸田知朗
准教授	川勝康弘	准教授	坂井真一郎
助教	和田武彦	助教	松浦周二
助教	大西 晃	助教	塩谷圭吾
助教	坂東信尚	助教	福田盛介
助教	富木淳史	宇宙航空プロジェクト研究員	永田洋久
主任開発員	久木田明夫	開発員	嶋田貴信
開発員	中塚潤一	開発員	福吉英由子
開発員	長江朋子	開発員	清水成人
開発員	藤原 謙	開発員	馬場 肇
安全品質保証室	大串義雄	安全品質保証室	清水幸夫
		システムエンジニアリング推進室	高橋伸宏
		システムエンジニアリング推進室	野田篤司
		システムエンジニアリング推進室	小川 亮
		システムエンジニアリング推進室	池永敏憲
		システムエンジニアリング推進室	歌島昌由
研究開発本部	小谷政規	研究開発本部	大谷 崇
研究開発本部	小原隆博	研究開発本部	山脇俊彦
研究開発本部	清水隆三	研究開発本部	岡本 篤
研究開発本部	佐藤洋一	研究開発本部	杉田寛之
宇宙利用ミッション本部	猿渡英樹	宇宙利用ミッション本部	宮本正志
		宇宙利用ミッション本部	油井由香利
東大・理	尾中 敬	東大・理	左近 樹
東大・総合文化	上野宗孝	東大・総合文化	土井靖生
東大・天文センター	小林尚人	東大・天文センター	宮田隆志
東大・天文センター	酒向重行	名大・理	金田英宏
名大・理	川田光伸	国立天文台	田村元秀
国立天文台	今西昌俊	国立天文台	松尾 宏
国立天文台	常田左久	国立天文台	児玉忠恭
国立天文台	泉浦秀行	国立天文台	有本信雄
東北大学	山田 亨	東北大学	市川 隆
筑波大・工	村上正秀	ESA/ESTEC	N. Randola

ESA/ESTEC L. Popken
英国 RAL B. Swinyard
NASA/JPL M. Bradford

ESA/ESTEC A. Heras
英国 RAL D. Griffin
韓国ソウル大 H. M. Lee

次世代の赤外線天文衛星「SPICA (Space Infrared Telescope for Cosmology and Astrophysics)」の概念検討を進めている。「SPICA」は、(1) 銀河誕生のドラマ、(2) 惑星形成のレシピ、(3) 宇宙における物質循環という天体物理学の重要課題の課題の解明に挑む赤外線天文衛星プロジェクトである。このような課題を解明するために、「SPICA」では、放射冷却と機械式冷凍器の活用により、従来よりもはるかに大口径 (3m 級) の冷却 (4.5K) 赤外線望遠鏡の衛星への搭載を目指している。

従来より進めてきた研究開発をまとめ、各種の審査を経て、2008 年 7 月には、SPICA が JAXA においてプリプロジェクト化された。それを受け、SPICA プリプロジェクトチームを組織し、系統的にシステム検討を進めた。2008 年度には、概念設計の前半の作業を行った。

さらに、並行して、ESA Cosmic Vision の枠組み内で、ヨーロッパの担当部分の検討が行われた。具体的には、ESA による望遠鏡検討、ヨーロッパ・コンソーシアムによる観測機器 (SAFARI) 検討が進められた。

II-4-1-2

次世代赤外線天文衛星「SPICA」搭載望遠鏡の開発

教授	中川貴雄	助教	塩谷圭吾
名大・理	金田英宏	東大・理	尾中 敬
宇宙利用ミッション本部	丹下義夫	宇宙利用ミッション本部	片山晴善
宇宙利用ミッション本部	菅沼正洋	宇宙利用ミッション本部	今井 正
		宇宙利用ミッション本部	内藤聖貴
研究開発本部	宇都宮真	研究開発本部	小谷政規
環境試験技術センター	猿渡英樹	環境試験技術センター	宮本正志

「SPICA」に搭載する口径 3.5m の望遠鏡には、波長 $5\mu\text{m}$ で回折限界を達成する光学性能が要求されると同時に、軽量かつ 4.5K まで冷却可能という特性が要求される。2008 年度は、新しい C/SiC 複合材 (HBCesic) を用いた口径 800mm の鏡の低温光学試験を 2 回、行い、鏡材料および鏡支持部の低温特性の評価を行った。さらに、大型鏡・望遠鏡の低温光学試験を国内で実現するために、つくば 6m チャンバーの改修の検討を進めた。SPICA のような大型望遠鏡の光学試験方法について、JAXA 他本部間の横断で大型ミラー研究として共同で検討を進めた。

II-4-1-3

宇宙望遠鏡用軽量鏡材の低温物性評価

教授	中川貴雄	教授	村上 浩
教授	松原英雄	教授	八田博志
名誉教授	松本敏雄	准教授	片坐宏一
		助教	塩谷圭吾
宇宙利用ミッション本部	丹下義夫	宇宙利用ミッション本部	木村俊義
宇宙利用ミッション本部	油井由香利	宇宙利用ミッション本部	片山晴善
宇宙利用ミッション本部	今井 正	研究開発本部	小谷政規
東大・理	尾中 敬	名古屋大	金田英宏

大型で軽量の低温宇宙望遠鏡を実現するため、各種の SiC など、高剛性の鏡材が提案されている。これらの材料を用いるさいには、それらおよびそれらの支持機構などに用いる材料の低温物性を事前に知っておくことが重要である。我々は、焼結型 SiC などを対象とした、物性測定を継続的に行っている。とくに改良型の炭素繊維強化シリコンカーバイド (HBC/SiC) の熱膨張率 (CTE) の測定に大きな進展があり、得られたデータをもとに、炭素繊維の配向性と CTE の関係について解析をすすめている。そのほか、支持機構に用いられる代表的材料である、イン

パー合金のCTEを測定した。

II-4-1-4

次世代赤外線天文衛星「SPICA」冷却システムの設計・検討

教授	中川貴雄	教授	村上 浩	教授	松原英雄
教授	小松敬治	名誉教授	松本敏雄	准教授	片坐宏一
准教授	小川博之	助教	金田英宏	助教	大西 晃
助教	塩谷圭吾	客員教授	芝井 広	筑波大・工	村上正秀
		研究開発本部	杉田寛之	研究開発本部	岡本 篤
		研究開発本部	佐藤洋一	研究開発本部	山脇俊彦

「SPICA」の画期的な冷却システムを実現するためには、効率的な放射冷却の実現と、信頼性ある機械式冷凍機の開発が必要である。2008 年度には、冷却システム全体の見直しを行い、マージンの確立を進めた。さらに、実際のシステムの成立性をたかめるため、詳細な設計にも着手した。

II-4-1-5

次世代赤外線天文衛星「SPICA」用冷凍機の開発

教授	中川貴雄	教授	村上 浩	教授	松原英雄
教授	小松敬治	名誉教授	松本敏雄	准教授	片坐宏一
准教授	小川博之	助教	金田英宏	助教	大西 晃
助教	塩谷圭吾	客員教授	芝井 広	筑波大・工	村上正秀
		研究開発本部	杉田寛之	研究開発本部	岡本 篤
		研究開発本部	佐藤洋一	国立天文台	常田左久
				国立天文台	岩田 生

スペースでの赤外線による天体観測では、観測装置からの赤外線放射を低減し、検出器の感度を向上させるため、望遠鏡を含めた全システムを液体ヘリウムで冷却する必要がある。しかし、長期間の観測のための大量のヘリウムを搭載することは、衛星重量・体積を増やし、また装置を複雑にする。宇宙用機械式冷凍機を開発することによりこの制約から逃れることは、将来の赤外線天文学にとって必須の要件である。具体的な開発対象として SPICA にむけて、今までに開発を進めてきており、実験室レベルでは、必要とされる冷却能力をほぼ達成することができている。

今までの開発検討により、SPICA に必要な冷凍機のノミナルな状況での性能達成にはめどを得た。そこで、2008 年度には、今までの成果にもとづき、ノミナルな状態以外（たとえば入熱が大きく変化した場合）の冷凍機の挙動について実験を進めた。この結果にもとづき、冷凍機の安定運用を行う方法を検討した。さらに、長寿命試験にむけての準備を進めた。

II-4-1-6

次世代赤外線天文衛星「SPICA」搭載用ステラコロナグラフ観測装置の開発・検討

教授	中川貴雄	准教授	片坐宏一	助教	塩谷圭吾
大学院学生	樋香奈恵	大学院学生	樋口 慎	国立天文台	田村元秀
国立天文台	西川 淳	国立天文台	村上尚史	国立天文台	山下卓也
国立天文台	成田憲保	大阪大	深川美里	神戸大	伊藤洋一
		ニース大	Abe, Lyu	国立天文台ハワイ観測所	Guyon, Olivier

SPICA を用いて太陽系外惑星を直接観測し、大気分光を行うことを主目的とした基礎開発をすすめた。太陽系外惑星の直接観測にあたっては、主星と惑星との光量の圧倒的な違い（コントラスト）が障壁となる。このコントラストを緩和し、微弱な惑星光の観測を可能にするのが、ステラコロナグラフ光学系である。我々はこれまでに原

理が提案されている複数のコロナグラフ光学系について、とくに実現可能性を重視して比較検討を行った。そして有望と判断されたバイナリ瞳マスクの方式を、SPICA の瞳形状にたいして最適化し、採択し得る設計を初めて得た。この結果を検証する高精度の光学実験を立ち上げ、SPICA に搭載するにあたって目標としていた性能 (10^{-6}) を超える 1.1×10^{-7} というコントラストを達成し、さらに P S F 差分法の適用および改良によって $\sim 1 \times 10^{-9}$ という非常に高いコントラストに到達した。また、基礎研究として多段式 prolate リオ型コロナグラフの実証実験も進めた。そのほかサイエンス検討を行った。

II-4-I-7

SPICA 衛星用 Tip-Tilt システムの開発

教授 中川貴雄

准教授 片坐宏一

助教 塩谷圭吾

東大・理 尾中 敬

東大・天文センター 宮田隆志

東大・天文センター 酒向重行

SPICA への搭載を目的とした冷却振動鏡システムの開発を進めている。従来はピエゾアクチュエータが低温で破損することが多く実用には問題があったが、昨年度までの研究で低温用ピエゾの破損原因がおおよそ明らかになり、品質管理を十分行ったピエゾ素子を使えば破損が防げることがわかった。またピエゾ素子の素材をハード系にすることで低温でのストローク減少を 4% から 16% まで改善できることがわかった。今年度は低温熱サイクル試験を行い、ピエゾ素子の破損を実機で確認した。結果 50 回の熱サイクルでも素子の破損は見られないことが明らかになった。また実機により近いストローク (4K で $10\mu\text{m}$ 以上) を持つピエゾアクチュエータの開発も行い、振動鏡システムに組み込んだでの駆動試験に成功した。さらには低温での特性がよりよい素材の選定および試作機の製作も実施した。これら研究によってピエゾアクチュエータを本目的のような低温アプリケーションに利用できる可能性が開けてきた。

II-4-I-8

SPICA 衛星用イマージョングレーティングの開発

教授 中川貴雄

教授 松原英雄

准教授 片坐宏一

助教 塩谷圭吾

東大・天文センター 小林尚人

東大・天文センター 近藤荘平

東大・天文センター 安井千賀子

名大 所 仁志

名大 平原靖大

フォトコーディング社 池田優二

イマージョングレーティング素子を次世代赤外線天文衛星 SPICA に搭載することで、波長分解能が数万程度の初のスペース高分散分光を実現すべく、要となるイマージョン回折素子の試作を東大天文センター、フォトコーディング社の研究者らと共同で進めた。最も有望な材料である ZnSe のプリズムにフライカット切削によりイマージョン回折素子を試作した結果、相対効率 90% を越える良好な形状の回折格子の製作に成功した。可視光および中間赤外のレーザー光を用いることにより、イマージョングレーティングとしての試験をした結果、実際に所定の高分散スペクトルが得られることを確認した。最終的な冷却イマージョングレーティングとして完成させるために必要な、入射面の反射防止コーティングと反射面の金属反射コーティングの R&D をすすめ、基本的な設計解を得た。これにより、実際に搭載するイマージョングレーティング実現の目処がたった。

II-4-I-9

SPICA 搭載中間赤外線カメラの開発

准教授 片坐宏一

助教 和田武彦

SPICA を用いて、中間赤外線での低分散分光観測や広視野撮像観測を行うための中間赤外線カメラの開発を行っている。

反射系の光学設計をすすめ、6x6' という広い視野を確保しつつ、波長 5-40 μm 全域をカバーできる光学設計に目処を付けた。

また、現実的な条件の下、感度の計算を進め、波長 18 μm より長波長側では、JWST/MIRI では実現できない高感度を実現できることを明らかにした。また、広視野サーベイ観測では、波長 5-40 μm 全域で、JWST/MIRI では実現できない高いサーベイ効率が実現できることを明らかにした。

平行して要素技術の開発も行っており、プロトタイプ検出器 (Si:Sb128x128) の低温での暗電流測定を行い、撮像観測には十分な性能を持つことを確認した。また、光学材料の検討を行い、波長 30 μm でのバンドパスフィルターとしてシリコンと DLC を用いた薄膜干渉フィルターが有望であることを明らかにした。

II-4-I-10

SPICA 搭載用遠赤外 Ge:Ga アレイ検出器の開発

助教 松浦周二

助教 和田武彦

研究員 白簾麻衣

研究員 渡辺健太郎

研究員 永田洋久

東大・総合文化 土井靖生

東大・大学院生 澤山慶博

名古屋大 川田光伸

SPICA による遠赤外域での撮像観測を目指して、Ge:Ga 光伝導素子を用いた 2 次元アレイ検出器の開発を行っている。

「あかり」に搭載した Ga:Ga モノリシックアレイ検出器の素子数は 3x20 であったが、これを 32x32 以上に拡張した検出器を試作した。また、「あかり」よりも 1 桁以上雑音が低い極低温読みだし回路の開発、および、Ge:Ga 素子を読みだし回路にハイブリッド接続する技術の開発も行なっている。さらに、高感度化のための Ge:Ga への無反射コートの開発をも進めている。これまでに、Ge:Ga の単一素子および 5x5 素子の試作と極低温読みだし回路の試作を行なうとともに、その評価実験装置を整備した。また、無反射コートの試作品の透過特性を測定し、高感度化の実現をする目処をたてた。

II-4-I-11

SPICA の目指す科学目的及びミッション要求の多角的検討

教授 松原英雄

教授 中川貴雄

准教授 片坐宏一

助教 和田武彦

助教 塩谷圭吾

助教 松浦周二

研究員 白簾麻衣

研究員 大藪進喜

名誉教授 松本敏雄

システムエンジニアリング推進室 高橋伸宏

名大・理 金田英宏

名大・理 川田光伸

東大・理 小林尚人

東大・理 尾中 敬

東大・理 左近 樹

東大・理 土井靖生

東北大 山田 亨

東北大 市川 隆

国立天文台 今西昌俊

国立天文台 泉浦秀行

国立天文台 田村元秀

国立天文台 山下卓也

国立天文台 渡部潤一

東京大 川良公明

東京大 河野孝太郎

愛媛大 斎藤智樹

台湾中央研究院 高見道弘

SPICA ミッションのステークホルダー対策の一つに、光学赤外線天文学コミュニティの意見をミッション要求に反映させる道筋の確立が挙げられる。このために、我が国の光学赤外線天文学連絡会の元に SPICA タスクフォースが設置され活動を開始した。これを受けて従来の SPICA サイエンスワーキンググループメンバー及びプリプロジェクトチームメンバーと SPICA タスクフォースメンバーとで、最先端天文学の進捗・計画の中他ミッション

との比較等，ミッション要求分析を協力して進めた．

II-4-I-12

SPICA 搭載焦点面観測装置の全体構成およびインターフェース検討

教授	松原英雄	教授	中川貴雄	准教授	片坐宏一
助教	和田武彦	助教	塩谷圭吾	助教	松浦周二
研究員	白簇麻衣	研究員	大藪進喜	名誉教授	松本敏雄
		研究開発本部	大谷 崇	研究開発本部	山脇敏彦
		研究開発本部	佐藤洋一	研究開発本部	杉田寛之
		名大・理	金田英宏	名大・理	川田光伸
東大・理	小林尚人	東大・理	尾中 敬	東大・理	左近 樹
				東大・総合文化	土井靖生

SPICA に搭載される冷却望遠鏡の焦点面観測装置の全体構成と，熱的・構造的インターフェース検討を行った．また各観測装置の姿勢制御要求について検討した．

m. 再使用観測ロケット技術実証プリプロジェクト

准教授	小川博之	教授	稲谷芳文	助教	成尾芳博
		助教	野中 聡	准教授	徳留真一郎
		宇宙輸送ミッション本部	吉田 誠	宇宙輸送ミッション本部	佐藤正喜
		宇宙輸送ミッション本部	小野寺卓郎	宇宙輸送ミッション本部	橋本知之
		宇宙輸送ミッション本部	高田仁志	宇宙輸送ミッション本部	木村俊哉
				宇宙輸送ミッション本部	升岡 正

平成 20 年 7 月に再使用観測ロケットはプロジェクト準備審査を受審し，運用システム開発計画全体のプロジェクト準備ではなく，まずは，その運用システム開発前にリスクの大きなシステムレベルの技術課題を抽出しその技術実証を行う「技術実証プロジェクト」の準備が認められた．以下に「再使用観測ロケット技術実証プロジェクト」の準備について記す．

II-4-m-1

再使用観測ロケットシステム開発リスクと技術課題の抽出

再使用観測ロケットシステムの開発において運用システム開発のスタート時点で技術開発上大きなリスクが残らないようにリスクの大きなシステムレベルの技術課題を抽出した：(1) エンジン故障時や機体転回時に発生し得る大スロッシングやバップルの表出による相変化を伴うタンク加圧特性への影響，(2) 着陸時など迅速にエンジンが起動できる状態を確保するための液体水素リサーキュレーションシステム，(3) 帰還時において着陸前の機体転回運動，(4) エンジンの再使用性・整備性．

II-4-m-2

再使用観測ロケットシステム検討

技術実証の前提となる再使用観測ロケットシステムの基本仕様の検討を行った．

II-4-m-3

再使用観測ロケット要素技術試験計画検討

エンジン故障時や機体転回時に発生し得る大スロッシングやバップルの表出による相変化を伴うタンク加圧特性への影響を把握する為のスロッシング／排液試験，着陸時など迅速にエンジンが起動できる状態を確保するための

液体水素リサーキュレーションシステム特性試験，帰還時において着陸前の機体転回運動を実証するための小型モデル滑空転回試験などの要素技術試験について試験計画の検討を行った．

Ⅱ-4-m-4

再使用観測ロケット帰還飛行特性研究

再使用ロケットの帰還に備えて特に垂直着陸型の再使用観測ロケットの飛行方法について機体の運動や空力特性を把握し，形状設計や操縦性に関する基礎的な研究を継続して実施した．風洞試験および解析による空力特性データの集積とそれらによる空力特性および飛行性能の評価を行った．また帰還時の加速度環境における液体推進剤の液面挙動の数値解析を行い内部デバイスの検討を進めた．

Ⅱ-4-m-5

再使用観測ロケット飛行特性研究

再使用観測ロケットのシステム検討として打ち上げおよび帰還飛行性能の評価を行い，機体形状および機体サイズの検討を行った．機体形状の改善に伴い，遷／超音速風洞試験および解析を実施し，縦および横の空力特性データを集積して飛行解析を行い，ミッション達成に必要とされるエンジン性能や機体の離陸／乾燥重量比を検討した．また帰還時に必要な姿勢安定性やダウンレンジ要求を満たすための揚抗比特性，着陸時のエンジンによる減速に必要な速度増分，再着火タイミングなどについて検討を行った．

Ⅱ-4-m-6

再使用観測ロケット原型エンジンの検討と技術実証試験の検討

システム検討に基づき，再使用観測ロケットエンジンの仕様を検討し，原型エンジンの基本計画をまとめた．また再使用性を実証することも含めた技術実証計画を検討した．