

3.2 天文学研究の成果

—研究成果概観—



- ▶ **小惑星・彗星**
 - ▶ 小惑星の大きさ・反射率の測定
 - ▶ 彗星の分光観測
- ▶ **黄道光・惑星間塵**
 - ▶ 黄道光の分布の計測
 - ▶ 黄道光放射を担う塵の同定
- ▶ **惑星系形成／デブリディスクの観測**
 - ▶ 高温デブリディスクの同定
 - ▶ 協同観測によるデブリディスク中の塵の鉱物学的性質の解明
- ▶ **褐色矮星の研究**
 - ▶ 褐色矮星の分光観測
- ▶ **宇宙の物質循環と銀河進化**
- ▶ **星の形成— 銀河スケールから0.3光年スケールまで —**
 - ▶ 大質量星がガスを吹き払い圧縮することによる星形成の連鎖 (数百光年スケールの探査)
 - ▶ 銀河円盤へのガス降着による誘発的星形成の物理過程の解明 (数万光年スケールの探査)
 - ▶ 星の母体である分子雲の形成メカニズムを明らかに (10 - 100 光年スケールの探査)
 - ▶ 大きな分子雲に付随せず、孤立して形成する星々の存在 (数 100 光年スケールの探査)
- ▶ **中小質量星のガス放出とダスト形成**
 - ▶ 質量放出星のダストシェルの遠赤外線観測
 - ▶ 星周物質と星間物質の相互作用の発見
- ▶ **星間物質の進化**
 - ▶ 橢円銀河NGC4589中のダスト進化
 - ▶ 大マゼラン雲中の若い星周囲からCO2氷を検出
- ▶ **超新星爆発によるダスト形成と破壊**
 - ▶ 超新星残骸と星間物質の相互作用の観測
 - ▶ Ib型超新星2006jcの近・中間赤外線分光・撮像観測
- ▶ **銀河からのガス・ダスト流出**
 - ▶ 銀河の衝突によるダスト流出
 - ▶ 爆発的星形成を起こしている銀河からのダスト流出
- ▶ **活動銀河核／ブラックホール**
 - ▶ 高赤方偏移クェーサーの近・中間赤外線分光観測
 - ▶ 「あかり」中間赤外線全天サーベイからの活動銀河核探査
 - ▶ 近傍の超高光度赤外線銀河 UGC05101 の近・中間赤外線分光観測
 - ▶ 約300天体の近赤外線分光による統計
- ▶ **遠方銀河観測と宇宙の星形成史**
 - ▶ 遠方銀河のスペクトル
 - ▶ 北黄極(NEP)ディープサーベイから求めた星形成史
- ▶ **宇宙背景放射**
 - ▶ 近赤外線の観測結果—宇宙第一世代の星の探求—
 - ▶ 遠赤外線の観測結果

3.2 天文学研究の成果

(1) 研究成果(小惑星・彗星)



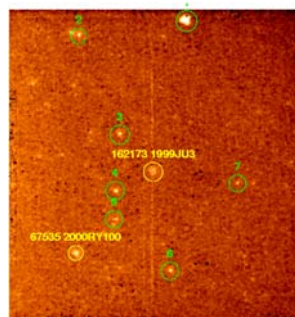
(1) 小惑星・彗星

地上からでは実現不可能な観測手法を用いて、小惑星カタログを作成するなど現在の太陽系内小天体の詳細な描像を明らかにし、また惑星が形成された頃の原始太陽系星雲中に存在する氷ダストの物理状態を特定した。一方、太陽系探査計画に対して、ターゲット選定に必須である天体の大きさ・反射率などの情報を赤外線衛星観測(「あかり」)が提供し、日本の観測衛星・探査機間で密接に連携できる可能性を示した。

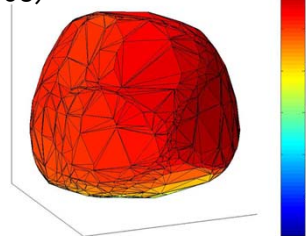
小惑星の大きさ・反射率の測定

・中間赤外線のサーベイデータを基に、小惑星について最も基礎的な情報である大きさと反射率(アルベド)を決定した。その数は**5120天体**であり、これは従来使われていた **IRAS衛星の成果の2倍**にのぼる(Usui et al. 2011, PASJ, 63, 1117)。直径が15km以上のものについては、ほぼすべての小惑星を調べることができている。

・また、太陽系探査候補小天体に対し必須情報であるサイズ・アルベド・表層状態や形状・自転軸を求めることができた。



Hasegawa et al., PASJ, 60, S399, (2008)



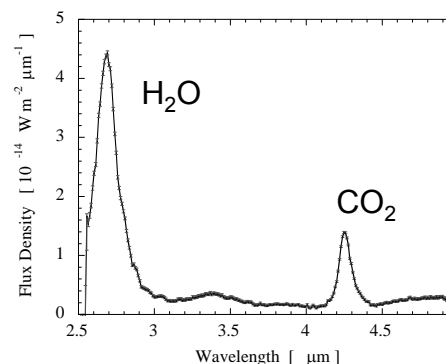
波長15 μ mで撮像した**はやぶさ2候補天体162173 1999 JU3**(図左;黄丸)、形状と温度分布(図右)。

観測の結果、アルベドは低く始原的な天体であり、表層は月の様に砂ではなくイトカワの様に小石で覆われている可能性を示した。

彗星の分光観測

・観測例が非常に限られていた彗星の**CO₂分子**の検出数をこれまでの**約4倍**を増やし、彗星のCO₂氷のH₂O氷に対する存在量から、原始太陽系星雲での彗星核周辺の温度環境など物理情報の手がかりを得ることができた。

Ootsubo et al., ApJL, 717, L66, (2010)



ルーリン彗星(C/2007 N3)の近赤外線スペクトル(図左)、2、3、4 μ mの三色疑似カラー写真(図右)。

2.66 μ m(H₂O)と4.26 μ m(CO₂)付近の強度から、H₂OとCO₂が彗星から大量に放出されていること、ルーリン彗星は他の彗星に比べCO₂が少ないことが分かった。

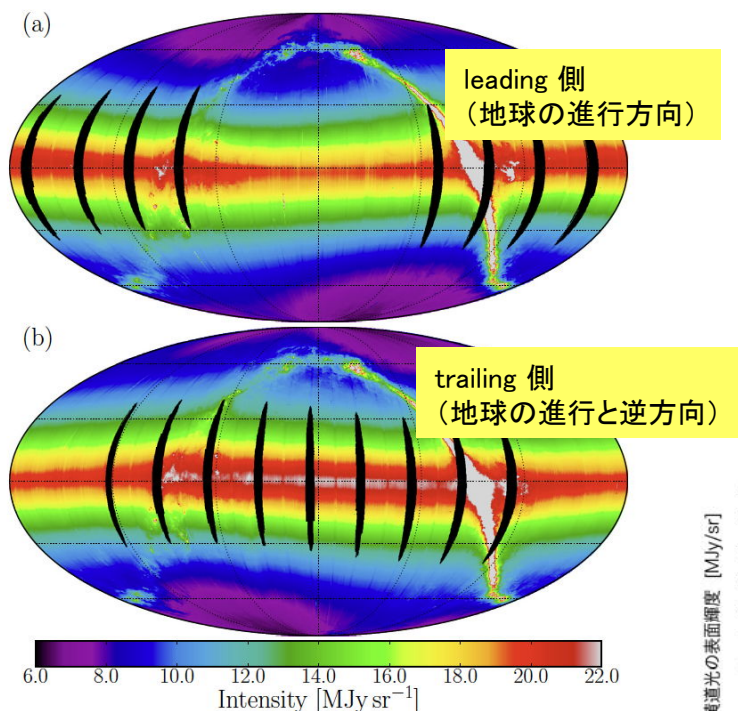
3.2 天文学研究の成果

(2) 研究成果(黄道光・惑星間塵)



黄道光の全天分布を調べ、我々地球を広く取り巻く惑星間塵の空間分布を明らかにし、その供給源として小惑星だけでなく短周期彗星の寄与も大きいことの観測的証拠を得た。「あかり」の黄道光全天データは今後の太陽系探査や太陽系外惑星系の研究にとって重要なだけでなく、広い分野の多くの拡散光観測データを正確に解釈する上でも欠くことのできない基礎テンプレートを提供するものである。

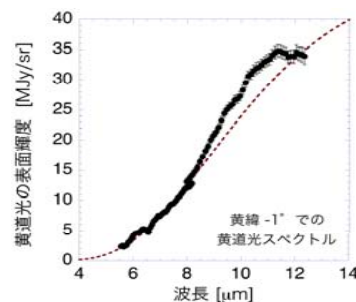
黄道光の分布の計測



・過去の衛星を越える感度と空間分解能で赤外線サーベイを行い、全天での黄道光の輝度分布を調べた。これは、地上観測では捉えることが難しい太陽系に広がっている塵の大局的・三次元的な空間分布を明らかにするもので、赤外線サーベイ衛星にしかできないことである。

・これらの結果は太陽系内起源と太陽系外起源の放射を切り分けるためにも非常に重要であり、宇宙背景放射や銀河系内の拡散放射を正確にとらえる際にも、前景放射として分離するために欠くことのできない基礎データで、これまで様々な分野でほぼIRAS/DIRBEの結果にのみ依存していた黄道光モデルを大幅に改訂し、基礎テンプレートとして世界中に提供していくことになるかと期待される。

黄道光放射を担う塵の同定



黄道光のスペクトルを、地球上のケイ酸塩鉱物や成層圏で採集された地球外起源の惑星間塵などと比較することで、鉱物組成の同定をおこなった。黄道光付近の中間赤外線スペクトル(左図)は、輝石・カンラン石が凝集した10-100 μm 程度の(短周期彗星起源の)惑星間塵とよく一致することが分かった。Ootsubo et al. ASPC, 418, 395, (2009)

9 μm の黄道光全天マップ。惑星間塵雲の対称面が黄道面(地球軌道面)に対して傾いているのが見えている。Pyo et al. A&A, 523, 53, (2010)

3.2 天文学研究の成果

(3) 研究成果(惑星系形成／デブリディスクの観測) (1/2)



惑星系形成過程を探る上でカギとなるデブリディスクの候補天体を、全天サーベイ観測データの中から新たに複数同定し、ディスク中の塵の量や鉱物学的特性について調査。

▶ 背景と目的

近年太陽以外の星にも続々と見つかった惑星系の形成メカニズムを探るため、また太陽系創生期の姿を探るためには、原始太陽系と似た若い星の観測的研究が重要である。特に、惑星の材料である小天体同士の衝突が起こり、大量の塵が放出されることで形成されたと考えられるデブリディスク(残骸円盤)は、材料物質の惑星への成長を探る上でカギとなる天体であると考えられる。

これまでのデブリディスクの研究は、IRAS衛星の遠赤外線観測に基づくものであり、中心星から遠方にある低温の塵の議論が中心であった。一方で、地球に似た岩石質惑星が形成すると期待される内側領域に存在する、高温のデブリディスクの諸性質については、あまり理解が進んでいなかった。

そこで「あかり」では、中間赤外線全天サーベイ観測の特性を生かし、

- (1) 高温デブリディスクの探査を行い、新たなサンプルを同定する、
- (2) 検出されたデブリディスクの赤外線放射から、惑星材料物質の性質に制限を付ける、ことを狙い、研究が進められている。

3.2 天文学研究の成果

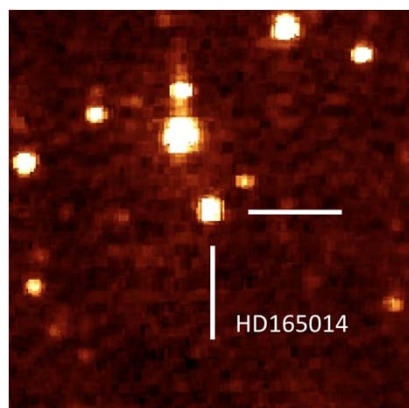
(3) 研究成果(惑星系形成／デブリディスクの観測) (2/2)



高温デブリディスクの同定

中間赤外線全天点源カタログより、波長18 μm で赤外線超過を示す高温デブリディスクを12天体同定した。うち8天体は「あかり」で初めて発見されたものであり、高温デブリディスクのサンプルを大幅に増やすことに成功した。また、同定されたデブリディスクには、太陽系惑星間塵に比べて1000倍以上濃い塵が存在することを、中間赤外線光度から突き止めた。

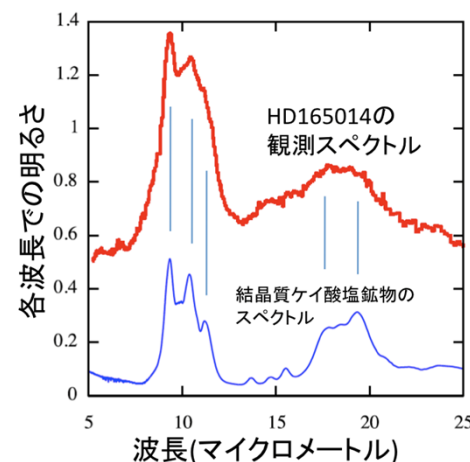
Fujiwara et al. ApJL, 695, L88, (2009), Fujiwara et al. ApJL, 714, L152, (2010)



「あかり」の観測により発見された高温デブリディスクの18 μm 画像(中央)。

協同観測によるデブリディスク中の塵の鉱物学的性質の解明

「あかり」で同定されたデブリディスクを、すばる望遠鏡やスピッツァー宇宙望遠鏡などで観測し、ディスク中の塵について鉱物種の同定に成功した。塵はケイ酸塩系の特性を示すものの、詳細な元素比は天体毎にばらつきが見られることから、**デブリディスク内側領域では、惑星材料物質が多様な形で進化していることを突き止めた。**



スピッツァー宇宙望遠鏡との協同観測で得られたデブリディスク天体(HD165014)の赤外線スペクトル。

3.2 天文学研究の成果

(4) 研究成果(褐色矮星の研究)

褐色矮星の分光観測

自らは水素の核融合反応を起こせず、恒星と巨大ガス惑星の中間に位置する、低温矮星の分光観測を行い、10数天体のスペクトルを取得した。褐色矮星大気研究にとって最も重要なデータセットである。

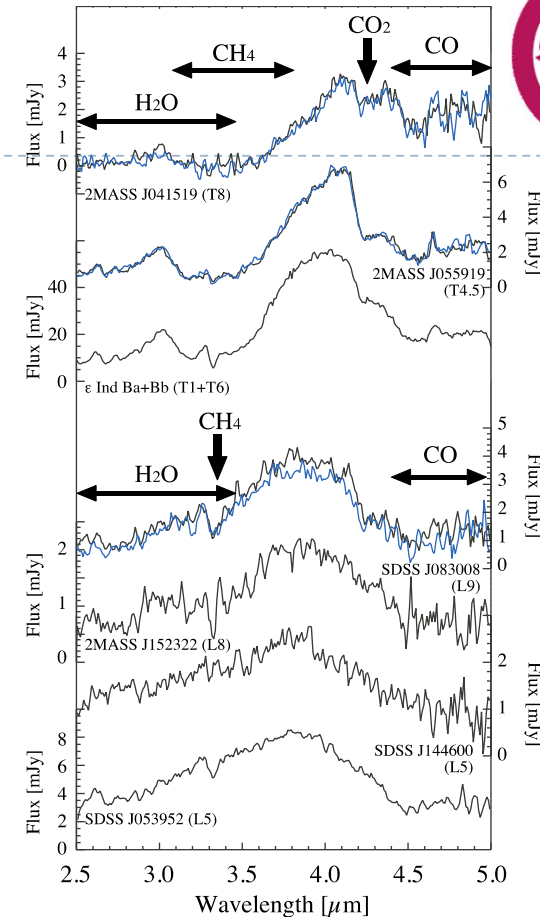
世界で初めて褐色矮星大気から二酸化炭素(CO_2)が検出された。Yamamura et al. ApJ, 722, 682 (2010)

また、もっとも低温(表面温度 800 K)の褐色矮星大気に一酸化炭素の存在が確認された。

→ これらのスペクトルは熱平衡状態では理解できず、褐色矮星大気の非平衡化学状態を解明するための研究が行われている。

Tsuji et al. (ApJ, 734, 73, 2011) では、 CO_2 の吸収バンドの強度が、C, O の存在量に強く依存することを発見し、褐色矮星に金属量が異なる少なくとも二種類のグループがあることを世界で初めて指摘した。

Sorahana et al., (ApJ, 760, 151, 2012; ApJ, 767, 77, 2013) では、解析天体を16に拡張したうえ、有効温度 1700 K前後の褐色矮星の半径が、理論進化モデルの予想に比べて小さくなることを指摘した。



「あかり」による褐色矮星の近赤外線スペクトル。下から上に、有効温度が高い→低い順に並べている。相対的に温度が高いL型褐色矮星では、なめらかなスペクトルにメタン(CH_4)による吸収帯が見え始めているのがわかる。より温度の低いT型褐色矮星で、 CO_2 を初検出。また、非常に深いCOの吸収を観測。これらは、褐色矮星大気構造の解明に重要。

(Yamamura et al. 2010)