

# 相对論分科会

相対  
01a

## 合体している連星系の standard candle としての可能性

金山 雅人 (新潟大学 M1)  
8月4日 10:00 A 会場

重力波はアインシュタイン方程式の真の物理的自由度であり、2つの偏光が存在する。重力波の検出は、一般相対論の検証や天体などの情報を得る上で重要であり、1960年代の J.Weber による研究から現在に至るまで、重力波の直接検出の研究が盛んに行われている。そこで重力波天文学の構築が必要であり、今回は光度距離を測定できる standard candle として、重力波源は妥当かどうかを検証した。重力波源として干渉型重力波検出器 LIGO と VIRGO の観測限界領域 ( $z < 0.1$ ) での、連星系について議論する。また赤方偏移が既にわかっている重力波源を考え、ハッブルパラメータについても議論する。この方法は B.F.Schutz(1986) により初めて提案された。この距離の決定法は、重力波源の光度と赤方偏移とは独立に求められる事が重要であり、何らかの経験則を用いた天文学的な距離の決定法とは全く異なる物理的な方法である。本発表は S.Capozziello et al.(2010) のレビューである。

- [1] Capozziello, S., et al., 2010, arXiv:0908.0961v2
- [2] Schutz, B. F., 1986, Nature, 323, 310

相対  
02a

## 2体の球対称 time-like Shell の衝突

加納 有規 (大阪市立大学 M1)  
8月4日 10:15 A 会場

宇宙の銀河や銀河団などの構造形成を研究する際に物質としてダスト流体が用いられている。ダスト流体は密度が薄く非相対論的な物質を表すのに用いられるが、圧力がゼロであるため発展の結果物質が重なり合い密度が発散するようなことが起こる。この発展の結果ポイド構造が形成されポイド周りに高密度領域ができる。また超新星爆発においてもシェル状の物質分布が現れることが知られておりシェル状に分布した物質の力学を考えることは重要である。実際の現象で現れるシェルは厚みをもって分布しているがそれを無限に薄い近似として考えた場合の一般相対論的な取り扱い Israel によって定式化された接続条件 (デルタ関数的に発散している計量の一階微分が有限である) を用いることで可能になる。本発表ではシェル同士の衝突前後の取り扱い方を明らかにした論文 (参考文献 [1]) を紹介する。

- [1] Nakao, K., Ida, D., & Sugiura, N., 1999, Prog.Theor.Phys, 101, 1
- [2] Ida, D. & Nakao, K., 1999, Prog.Theor.Phys, 101, 5

相対  
03a

## ガンマ線バーストを用いた相対性理論の検証

中川 兼治 (立命館大学 M1)  
8月4日 10:30 A 会場

1905年に A. Einstein が発表した理論、"相対性理論"。その相対性理論の仮定の一つである"真空中の光速不変原理"は、量子力学に基づく重力理論が対象とする大きさ (Planck scale  $l_{\text{Planck}} = 1.62 \times 10^{33}$  cm) で破られることがありうる事が予言されている。量子重力理論によると、超高エネルギー現象では光の速さ

は光子自身のエネルギー、もしくは自身のエネルギーの2乗に依存して変化するというのだ。これは光速不変の原理が、超高エネルギー現象において破れることを意味している。光速不変の原理の検証を行うべく、2009年に Nature に掲載された論文 "A limit on the variation of the speed of light arising from quantum gravity effects" をもとに、Fermi 衛星が観測したガンマ線バーストの観測データを用いて量子重力理論の予言の検証を行った。

- [1] Abdo, A. A., et al., 2009, Nature, 402, 331

相対  
04b

## 5次元時空におけるブラックリング形状の時間発展数値解析

山田 祐太 (大阪工業大学 D1)  
8月4日 10:45 A 会場

4次元時空では、定常軸対称、漸近平坦を仮定した際に導出される Einstein 方程式の解は Kerr 解に限られることが知られている (唯一性定理)。また、トポロジー定理より、ホライズンの形状は  $S^2$  に限られることも知られている。一方、5次元時空では Kerr と同様な解の他にトポロジーの異なるブラックリング解 [1] が発見されており、時空が軸対称という仮定のもとでは解を一意に決められない。また、5次元時空では他にも様々なトポロジーを持つブラックホール解 (ブラックオブジェクト) が発見されている。

これらのブラックオブジェクト解の形成条件や安定性の解析は、高次元一般相対論の重要な問題の一つである。我々は、ブラックリング解の安定性を数値相対論によって解明することを目的に、5次元時空でのブラックリング形状の物質分布の初期値解の数値解析 [2]、及び、時間発展解析を行っている。ADM形式 (4+1 分解) を用いて 5次元時空とブラックリング形状 (回転なし) の時間発展をシミュレーションし、重力崩壊によって形成されるホライズンのトポロジーや形成条件について得られた結果を発表する。

- [1] Emparan, R. & Reall, H. S., 2002, PRL, 88, 101101
- [2] Yamada, Y. & Shinkai, H., 2010, CQG, 27, 045012

相対  
05b

## 5次元高速ブラックホールの合体

大川 博督 (京都大学 D2)  
8月4日 10:48 A 会場

加速器実験においてミニブラックホール生成の可能性が指摘されて以来、高次元時空における重力の性質を明らかにすることが重要な課題の一つとなってきた。我々の時空が4次元であるならばプランクスケールは  $10^{19}$  GeV という非常に大きな値となり、加速器実験では到底到達し得ない。しかし、Randall-Sundrum 理論のような高次元重力理論 [1][2] では、高次元のプランクスケールを仮に 10TeV としても、これまでの実験・観測に一切抵触せず、現在稼働中の加速器 LHC で達成し得る 10TeV 程度のエネルギースケールの高エネルギー衝突で、ミニブラックホールが生成される可能性がある。これは高次元重力理論の有用な検証の場と成り得る。

粒子衝突によるミニブラックホール生成においては、一般相対論的效果が本質的な役割を果たす。そこで、高

エネルギー粒子の衝突・合体問題を高速ブラックホールの衝突・合体問題として近似的に扱い、一般相対論的に解析する。つまり、ブラックホールの高速2体衝突を数値相対論的手法(アインシュタイン方程式を数値的に解く手法)で解析する。今回は5次元時空中において高速ブラックホールの衝突・合体に関する問題を解き、5次元における重力波の特徴などについて発表する。

[1] Shibata, M., Okawa, H., & Yamamoto, T., 2008, PRD, 78, 101501

## モファット重力による楕円銀河のN体シミュレーション

相対 06b ~ダークサイドフリーな宇宙論の検証に向けて

鈴木 隆之(山口大学 D2)  
8月4日 10:51 A会場

スカラー・テンソル・ベクトル重力理論はJ.W.Moffatが考案した、ダークマターを仮定せずに銀河回転を説明する重力理論である。逆二乗則に、湯川項が付加され、近距離では通常のニュートン重力として振る舞うが、ある中心天体の質量で決定される典型スケールから実効的質量定数が上昇し、その後一定になる。1980年代に提唱されたMONDとは違い場当たりの現象論ではなく、作用原理から書き下される相対論的質量理論である。相対論的な現象も議論でき、宇宙論や重力レンズ等の相対論的天体現象にも適応可能である。現段階でMoffat自身により、CMB・SDSSなど主要な宇宙論的観測データとの比較が行われ、矛盾がない事が確かめられ、ダークエネルギーなしに加速膨張宇宙を実現し、Ia型超新星の光度距離のデータとも概ね一致を見ている。また、ダークマター実在の絶対的証拠とされる弾丸銀河団のX線プロファイルと重力レンズでの質量プロファイルのデータについては、実効質量定数が周辺部で上昇し、レンズ効果が変化することで、合理的に説明できるとされている。これら全てが事実であれば、アインシュタインの次を目指せる重力理論として着目される場所であるが、これらの研究は考案者のMoffatやその共同研究者らによってのみ為されているのが実情であり、それらは近似や準解析的手法によって計算されたものも多く、精密なシミュレーションによる検証はあまり行われていない。そこで、モファットの重力理論を客観的な視点で検証を試みた。

本研究では、球対称な楕円銀河の力学進化についてのN体シミュレーションを行った。ダークマター入りのNewtonモデルとバリオン物質のみのMoffatモデルの長期進化を比較し、de Vaucouleursの法則やフェイパー・ジャクソン関係の安定性について検討する。先行研究で、モファット重力による渦巻銀河のシミュレーションが行われており、それによると平坦な回転曲線が維持できても、Exponential Diskが維持されない事が示されているが、それについても議論したい。

[1] Moffat, J. W. & Toth, V. T., 2009, Classical and Quantum Gravity, 26, 085002

[2] Moffat, J. W. & Toth, V. T., 2007, arXiv:0710.0364

[3] Brandao, C. S. S. & de Araujo, J. C. N., 2010, arXiv:1006.1000

相対 07c

## 不定運動項とブラックホールの蒸発

中山 真也(名古屋大学 M1)  
ポスター発表(口頭なし)

BHまわりでの場の量子効果により、BHはPlanck分布に従う放射Hawking radiationを出すと考えられている。このときBHからエネルギーが出ていくことになるので、BHの質量は減少していくことになる。これをBHの蒸発という。BHは最終的にPlanck scaleに達するが、それを記述するには重力の量子効果を取り入れなければならない。しかし、重力を量子化しようとする試みは未だ達成されていないので、BH蒸発の最終段階についてよくわかっていない。本発表では、BH蒸発の最終的局所がどのような量子状態になるのか、またその状態の意味について、Kieferらの論文(C. Kiefer et al, 2009)に基づいて議論していく。アプローチの方法としては正準量子化を用いる。正準量子重力における基礎方程式であるWheeler-DeWitt方程式を二つの調和振動子を用いた簡単なmodelに単純化し、これを用いてBH蒸発の最終段階をみていく。ここで、振動子の一つはBH自身に対応し、もう一つはHawking radiationに対応している。その結果BH蒸発の最終段階では、BHはhigh squeezed stateであり、radiationと強くエンタングルすることがわかる。

[1] Kiefer, C., et al., 2009, arXiv:0812.2848v3

[2] Kiefer, C., "Quantum Gravity"

相対 08c

## ブラックリング周りの安定束縛軌道

伊形 尚久(大阪市立大学 D2)  
ポスター発表(口頭なし)

近年盛んに研究されているブレーンワールドモデルは、我々の住む4次元時空がより高次元時空に埋め込まれた膜(ブレーン)であると解釈し、余剰次元サイズの大きい時空が矛盾なく許容される点で特徴的である。このモデルが注目を集めている理由として、近年運用を開始したCERNのLarge Hadron Collider加速器実験において、陽子衝突により加速器内に高次元ブラックホールの生成の可能性が指摘されていることが挙げられる。加速器実験で形成の可能性が示唆されている高次元ブラックホールは、ブレーンの影響が無視できるほど小さいとすれば、十分遠方において漸近的平坦解(ブラックホールから十分離れると重力場の影響は無視できる)がモデルとして良い近似になる。

高次元一般相対論の漸近的平坦なブラックホール解には、球状の回転ブラックホール解とリング形状のブラックリング解が存在する。4次元真空時空の定常ブラックホールは質量・角運動量のみで特徴付けられる球状回転ブラックホール唯一つに限られるが、ブラックリング解の存在は、高次元時空においてブラックホールの一意性が成り立たないことを示している。したがってブラックホールを同定するには質量・角運動量の情報のみならず、主に粒子軌道などに反映される周辺の重力場に関する情報が必要である。

本研究ではブラックリング時空中における粒子の安定束縛軌道に着目した。高次元時空中における球状ブラックホール周りを運動する粒子には安定円軌道が存在しないことが知られている一方で、ブラックリング時空には安定束縛軌道が存在し、特にリング形状に依存して任意に大きいサイズの束縛軌道が存在するということが明らかになった。本発表ではブラックリング時空中における粒子

の安定束縛軌道の存在領域とリング形状パラメーターの関係性や回転ブラックホール時空の粒子軌道との違いについて議論する。

- [1] Emparan, R. & Reall, H. S., 2002, PRL, 88, 101101, arXiv:hep-th/0110260
- [2] Hoskisson, J., 2008, PRD, 78, 064039, arXiv:0705.0117
- [3] Igata, T., Ishihara, H., & Takamori, Y., in preparation.

相対  
09c

### (N+1)次元光的シエルの崩壊による ブラックストリング形成とその安定性

寺川 達哉 (大阪市立大学 D1)  
ポスター発表 (口頭なし)

近年の高エネルギー加速器実験により、高次元ブラックオブジェクトの形成を通じた時空次元の検証が期待されている。高次元では、球状のブラックホールだけでなく、様々な形状のブラックオブジェクトの解が存在する事が知られている。その一つがブラックストリングである。このブラックストリング解は、Gregory-Laframmeらの研究によって摂動に対して不安定である事が知られている。その最終状態において裸の特異点が出る可能性が示唆されたが、現在でも確かな事はわかっておらず研究がつつけられている。この研究ではブラックストリングが存在する事が前提となっているが、実際に物質の崩壊によりブラックストリングが形成されるかどうかは未だ研究されていない。本研究では、ブラックストリングの形成とその安定性について、高次元に分布する物質が崩壊するモデルを想定し解析を行った。その結果、ブラックストリングが形成され得る事が強く示唆された。

- [1] Barrabes, C., & Israel, W., 1991, PRD, 43, 1129

相対  
10c

### 高次元 Taub-NUT 空間上の Einstein-Maxwell系の厳密解

龍岡 聖満 (大阪市立大学 D1)  
ポスター発表 (口頭なし)

近年、高次元一般相対性理論が注目を浴びている。その理由として、重力を含む統一理論の候補である超弦理論が高次元で定式化されていることが挙げられる。さらに、近い将来の加速器実験によって高次元ブラックホールが生成される可能性がある。上記のことから高次元時空、特に高次元ブラックホールを研究することは、我々の世界のあり様を知る上で非常に重要である。

2006年に石原と松野によって発見された charged squashed Kaluza-Klein 時空は Einstein-Maxwell 方程式の厳密解であり、余剰次元がコンパクト化された 5次元ブラックホール解の一つである。この時空は余剰次元より十分小さいスケールでは 5次元的に振る舞い、十分大きいスケールでは 4次元的に振る舞う。このことから、この解は現在我々が余剰次元を観測できていないことを説明できるモデルになっている。そして、超弦理論が予言する余剰次元の数は 1つだけではないため、このような解がより高次元で存在するかを調べることは重要である。

今回はまず 5次元 extreme charged squashed Kaluza-Klein 時空のレビューを行う。その後それを

さらに高次元に拡張した時空の性質を調べ、5次元との類似点および相違点について考察する。

- [1] Ishihara, H. & Matsuno, K., 2006, Prog. Theor. Phys., 116, 417
- [2] Dehghani, M. H. & Mann, R. B., 2005, PRD, 72, 124006

相対  
11c

### 高次元動的時空における漸近構造と 角運動量

田辺 健太朗 (京都大学 D2)  
ポスター発表 (口頭なし)

高次元ブラックホールや adS/CFT 対応研究に関連し、高次元時空の基礎研究が重要となっている。そこで、本発表では高い次元の動的な時空において、その時空がもつ角運動量の定義、ならびに動的時空においての角運動量を含んだ漸近構造について議論する。重力崩壊の最終状態に漸近する様子についても議論したい。

相対  
12c

### ブラックホール宇宙の初期条件

阿部 博之 (大阪市立大学 D2)  
ポスター発表 (口頭なし)

銀河における水素の 21cm 輝線の観測やピックバン宇宙モデルにおける構造形成のシミュレーションから光学的には観測できない物質 (以下ダークマター) が大量に存在することが示唆されている。特にコールドダークマターの候補のひとつとして小質量ブラックホールがある。しかしブラックホールが平均的に一様等方に分布している時空 (以下ブラックホール宇宙) の振る舞いがフリードマン宇宙と同じになることは確認されていないのでこれを解析する必要がある。本研究では問題の強非線形性のため数値相対論を用いる必要があるのでそのファーストステップとしてブラックホール宇宙の初期条件の構築について発表する予定である。

相対  
13c

### インフレーション期の相互作用初期 真空状態について

高麗 雄介 (京都大学 M2)  
ポスター発表 (口頭なし)

宇宙の初期にはインフレーションと呼ばれる宇宙の指数関数的膨張があったと考えられている。そのことは、宇宙マイクロ波背景放射の統計量と理論的予言を照らし合わせることで立証されてきた。特に最近では非ガウス性の観測によりインフレーションに関するより多くの情報を引き出そうという動きが活発である。

ところが、その非ガウス性の計算手法はよくよく考えると自明ではない操作を用いている。非ガウス性を定量的に正しく予言する第一歩としてド・ジッター時空上の相互作用場の量子論を考えねばならないが、その扱いはよくわかっていないのが現状である。特に非ガウス性はド・ジッター不変な形式として構成されるべきものである。

そこで、ここではインフレーション期の相互作用場の量子論を、ド・ジッター時空の閉チャートにおける時間軸を解析接続することで得られる 4次元球上の相互作用場の量子論を考えることで探る方法を見る。そこで

はループ積分のくり込みモード・ジッター不変な処方で見られる。また、その in-in formalism への応用も考えたい。

[1] Marolf, D. & Morrison, A., 2010, arXiv:1006.0035

[2] Tagirov, A., 1973, Ann. Phys. (N.Y.) 76, 561

相対  
14c

### Probing the size of extra dimension with DECIGO/BBO

八木 絢外 (京都大学 D2)  
ポスター発表 (口頭なし)

超弦理論によると我々の世界は高次元であることが示唆されており、高次元宇宙モデルのひとつにブレーンワールドと呼ばれるモデルがある。このモデルでは、我々は AdS 時空上に浮かぶ膜 (ブレーン) 上に存在する。このモデルのもとで、ブレーンに局在するブラックホールに AdS/CFT 仮説を適用すると、Hawking 輻射の効果が通常よりも大きくなるのがわかる。ここでブラックホール連星に注目すると、Hawking 輻射の効果により連星の軌道進化が一般相対論で記述されるものからずれる。近年、S. T. Williams はブラックホール連星からの重力波を宇宙重力波干渉計 LISA で検出することで、余剰次元の大きさに対してどの程度強い制限を与えることができるかを見積もった。我々はより詳細な解析を行うことで、日本の宇宙重力波干渉計 DECIGO を用いた場合どの程度精度良く一般相対論からのずれを検出できるかを、相関解析により見積もった。解析の結果、現在得られている制限と同程度あるいはそれ以上の制限を与えられることがわかった。

[1] McWilliams, S. T., 2010, PRL, 104, 121601

相対  
15a

### ブラックリングの Hawking 輻射に対する安定性について

松本 光洋 (総合研究大学院大学 M2)  
8月4日 16:30 A 会場

ブラックホールは、古典的には一方的に物質を吸収しながら成長していく。しかし量子論的には、ブラックホールは熱力学的な性質を持つことが明らかにされている。特に、黒体として輻射を起こすことが Hawking によって示された。これを Hawking 輻射という [1]。

また、弦理論などの要請から我々の世界が高次元であることが示唆されているため、高次元時空におけるブラックホールが盛んに研究されている。4次元時空においては、球形のブラックホールしか存在しないことが示されている。しかし高次元では、これが示されていない。特に5次元においては、多様な形をしたブラックホール解が見つかった。例えば、ドーナツ型をしたブラックリングが Emparan と Reall により発見された [2]。

ブラックリングが安定に存在するために、質量と角運動量の間に満たすべき関係がある。Hawking 輻射によりブラックリングから放出される質量や角運動量を求めることにより、ブラックリングが Hawking 輻射に対して安定かどうかを議論することができる。本発表では、Hawking 輻射と高次元ブラックホールについて簡単に解説し、更にブラックリングの Hawking 輻射に対する安定性に関する我々の研究を紹介する。

[1] Hawking, S. W., 1975, Commun.Math.Phys. 43, 199

[2] Emparan, R., & Reall, H. S., 2002, PRL, 88, 101101

### Schwarzschild ブラックホールの準

相対  
16a

固有振動  
荒木 彩人 (大阪市立大学 M1)

8月4日 16:45 A 会場

準固有振動とは、摂動を受けた物体や場のエネルギー散逸のモードのことである。安定な物体に対して摂動が加えられた際に生じる物体固有の振動数を持つ振動を固有振動と呼ぶが、準固有振動は固有振動が時間と共に減衰し元の安定な状態に戻るものを言う。この一例として、ハンマーで叩かれた弦が音を出し、時間とともに音量が減衰する現象が挙げられる。ところで、準固有振動はブラックホールの摂動に関しても調べることが出来る。ここでブラックホールの摂動とは、例えばブラックホールが近くの星を飲み込むような現象を表している。ブラックホール摂動を解析することは計量テンソルへ微小なズレを加えることに対応する、なぜなら Einstein 方程式の解であるブラックホール時空は計量テンソルで表されるからである。すると Einstein 方程式が線形化された摂動方程式が得られる。この方程式には振動解が存在し、解の中でも特に準固有振動となるものを調べる。これにより準固有振動数がブラックホールに特徴的な物理量に依存することがわかる。以上より摂動を受けたブラックホールは特有の準固有振動数を持つ重力波を放出し、時間が経つと元のブラックホールに戻ることが理論的に見出せる。重力波自体は近い未来に検出可能と思われることから、ブラックホール特有の準固有振動数を知ることでブラックホールの存在が間接証明されることが期待出来る。本発表は Schwarzschild ブラックホールの準固有振動に関する論文のレビューを行う。

[1] Chandrasekhar, S., & Detweiler, S., 1975, Proc.R.Soc.Lond.A, 344, 441

[2] Regge, T., & Wheeler, J., 1957, Phys. Rev., 108, 1063

相対  
17a

### Kerr ブラックホールは本当に over spinning 出来るのか?

磯山 総一郎 (京都大学 M2)

8月4日 17:00 A 会場

相対論の予言するブラックホールはその周りに形成する降着円盤の観測を通じて、我々の銀河系中心を始め広く宇宙に存在する天体であることが認識されつつある。このように観測的な理解が大きく進んでいるブラックホールではあるが、理論的にはまだ未解決の原理的問題がある。その一つがブラックホールの over spinning である。宇宙に存在する非常に重い星の重力崩壊の終状態はブラックホールであり、それは特に Kerr ブラックホールであると考えられている。Kerr ブラックホールは特異点を中心にもつが、一般相対論では「外部の観測者から観測可能な特異点は生じない」という宇宙検閲官仮説がある。そのため特異点が見えないという要請から、ある質量の Kerr ブラックホールの持てる角運動量には上限、臨界条件がある。もし Kerr ブラックホールが物体を吸収することで、角運動量と質量を増大させ最

最終的に臨界条件を破ったとすると、特異点がむき出しになってしまう可能性がある。これを over spinning という。そして近年 Kerr ブラックホールに点粒子を落下させると、ある条件下では点粒子は Kerr ブラックホールに落下吸収されてしまい、結果宇宙に存在する Kerr ブラックホールも over spinning して特異点をむき出しにする可能性があることが指摘された。ところが以上の研究はほぼ全て点粒子の落下運動に伴う重力波輻射が、背景重力場や反作用力として点粒子の軌道にあたえる影響を無視しており、over spinning の解析としては不満足である。これを踏まえて我々は輻射の影響を取り入れた点粒子の運動の解析を行っており、その場合輻射の効果で本当に over spinning が解決されるか研究中である。本発表では Kerr ブラックホールの over spinning に関する先行研究をレビューし、輻射の効果を取り入れた解析を行う我々の研究計画について発表する。

- [1] Jacobson, T., & Sotiriou, T., 2009, PRL, 103, 141101
- [2] Kesden, M., 2008, PRD, 78, 084030
- [3] Kesden, M., et al., 2010, arXiv:1005.0627

.....

### (2+1) 次元時空における回転する球殻の重力崩壊と naked singularity の形成

相対  
18a

野村 紘一 (京都大学 M1)  
8月4日 17:15 A 会場

一般相対論においては適当な仮定のもと、singularity が出現し、種々の物理量が発散することが数学的に示されている。この singularity のまわりでは理論が破綻してしまうため、singularity は必ず event horizon に隠され、観測できないと主張するのが宇宙検閲官仮説である。この仮説は一見正しそうに見えるが、様々な次元での重力崩壊現象が調べられるにつれて、特定の状況下では naked singularity が形成され、宇宙検閲官仮説が破られることが分かってきた。しかし、これらの研究では解析の難しさ、特に (3+1) 次元以上での困難さから回転の効果は考慮されてこなかった。回転に伴う遠心力は、重力による収縮効果を弱める働きがあると期待されるので、回転する時空でも naked singularity が形成されるか調べることに意味がある。

そこで本発表では、回転効果を加えても簡単に解析することのできる (2+1) 次元時空での様々な重力崩壊過程を調べ、回転の影響があっても naked singularity が出来うることを示す。なお、この発表は以下の参考文献のレビューである。

- [1] Mann, R. B. & Oh, J. J., 2006, PRD, 74, 124016
- [2] Mann, R. B., Oh, J. J., & Park, M.-I., 2009, PRD, 79, 064005

.....

### ホジャバ・リフシツツ重力理論におけるブラックホールと星

相対  
19a

塚本 直樹 (立教大学 M2)  
8月4日 17:30 A 会場

最近、ホジャバによってローレンツ不変でない新しい量子重力理論が提案されました [1]。ホジャバ・リフシツツ重力理論と呼ばれるこの新しい重力理論は、時間と空間が同等でないことを指導原理にしており、一般座

標変換の不変性は破られ、ADM 形式の膜上での変換のみが不変であるとする理論です。この理論はパワーカウンティング繰りこみ可能であり、繰りこみを目指したほかの量子重力理論で生じるゴーストや様々な不安定性を避けようとする量子重力理論です。この理論は確率の正定値性を持ち、繰りこみ可能かもしれないと期待されています。

射影可能条件と詳細釣り合い条件を考慮した非特殊相対論的量子重力理論の赤外極限の球対称静的真空解について研究し [2]、時空がすべての場所で真空であり、球対称静的ならば唯一な解としてコッラー解になることを示しました。時空が局所的に真空で、球対称静的ならばコッラー解になる可能性だけでなく、時空が局所的に球面上もくしは双曲面上での超静的解がミンコフスキー時空になる可能性もあることを示しました。

また、泉・向山によって星についての最初の研究がおこなわれました [3]。この研究で、物質を完全流体だと仮定して、射影可能条件と詳細釣り合い条件を課したホジャバ・リフシツツ重力理論において、エネルギー密度が区分的連続であり、圧力が負にならないで、中心において圧力が正である仮定のもとでは球対称で大域的に静的な解が存在しないことが示されました。この観点から、ホジャバ・リフシツツ重力理論における星についても考察します。

- [1] Hořava, P., 2009, PRD, 79, 084008
- [2] T. Harada, U. Miyamoto & N. Tsukamoto,, 2009, arXiv:0911.1187
- [3] K. Izumi & S. Mukohyama, 2010, PRD, 81, 044008

.....

# 宇宙論分科会

## 宇宙のダークエネルギーと BI-GRAVITY 理論

宇論  
01a

鈴木 大地 (早稲田大学 M2)  
8月2日 14:00 B会場

近年の観測技術の飛躍的な発展により、宇宙は現在加速膨張をしていることがわかっている。この加速膨張のエネルギー源であり、宇宙の約75%を占める奇妙な“物質”であるダークエネルギーを理論的に説明しようとする試みがここ数年活発である。ダークエネルギーを説明するための1つの大きなアプローチとして、現在正しいとされている理論である、一般相対性理論を部分的に修正し、ダークエネルギーの正体を修正の“効果”と考える「修正重力理論」という考え方が存在している。ダークエネルギーに関しての代表的な修正重力理論として  $f(R)$  理論や、ブレーンワールドを用いた DGP モデルなどそれぞれに詳細に議論されているが、それぞれに固有の問題を抱えている。

本講演では、修正重力理論の1つとして「BI-GRAVITY」と呼ばれている理論について考える。BI-GRAVITY 理論においては我々の時空計量のほかに、もう1つの計量 (bi-metric) を導入し、2つの時空の相互作用がダークエネルギーの正体とする立場をとっている。BI-GRAVITY 理論でダークエネルギーを説明しようと試みた代表例は EBI 重力理論であるが、今回は EBI 重力理論より一般化な例を扱い、その時空の構造を解析し、また摂動計算を用いることで、このモデルがダークエネルギー問題解決への候補になりうるか、あるいは標準宇宙シナリオと比べてどのような予言性をもつか等、修正重力理論としての可能性を検証する。

## 崩壊するダークマターがダークエネルギーを生む

宇論  
02a

中島 友樹 (立教大学 M1)  
8月2日 14:15 B会場

以下の論文のレビューを行う。観測から、宇宙のエネルギーの約30%が質量、残りの約70%がダークエネルギーとなっている。ここで状態方程式から密度  $\rho$  と圧力  $p$  の関係は  $w = p/\rho$  である。CDM モデルでは、宇宙定数として  $w = -1$  となる。またクインテセンスのように時間変動する  $w$  を持つモデルも可能である。ここでは、ダークマターが崩壊しダークエネルギーになるモデルを用い、時間変動する  $w$  を持つモデルを導く。

[1] Dutta, S. & Scherrer, R. J., 2010, arXiv:1004.3295v1

## 非パラメトリック法による宇宙密度揺らぎの解析と重力理論の検証

宇論  
03a

宮本 玲奈 (早稲田大学 M1)  
8月2日 14:30 B会場

ダークエネルギーの正体を明らかにすることは、現在の宇宙論の重要な課題のひとつであり、その上で重要となるのは、Ia 型超新星、宇宙の大規模構造、宇宙背景輻射などの観測データを用いて、現在の宇宙と整合的なモデルを観測的に明らかにすることである。その検証方法として、多くの研究においては、まずあるダークエネルギーモデルを特定し、そのモデルに含まれる理論パラメーターに対して観測的制限を与えるという方法が

とられている。しかし、そういった方法ではモデルそのものの整合性を直接議論することが出来ない。よって、モデルの仮定自体を議論する方法として、本研究では U.Alam らによって提案された非パラメトリック法という手法を用いる。

非パラメトリック法では、多くの揺らぎや構造で仮定される sub-horizon のスケールで考えると、揺らぎの発展方程式はポアソン方程式と物質の保存則が成り立っていると仮定すると、その2つのみから導くことができ、揺らぎは背景時空である宇宙の情報のみから再構築できることに着目する。ポアソン方程式が一般相対論の場合から変更を受けたり、もしくは物質の保存則が成立しないようなダークエネルギーモデルにおいて、これらの方程式を仮定して揺らぎを再構築した密度揺らぎと、Sloan Digital Sky Survey などの観測から直接得られた密度揺らぎを比較し、その差異を解析することによって、定めたモデルが我々の宇宙にどの程度整合的であるかを議論することが出来る。

本研究では我々の宇宙が  $f(R)$  重力理論で記述されていた場合に、この非パラメトリック法がどの程度有効であるかを検証した。 $f(R)$  の関数形としては様々なものが提案されているが、今回は地上実験などと整合的な Starobinsky モデルについて解析した。

[1] Alam, U., Sahni, V. & Starobinsky, A. A., 2009, ApJ, 704, 1086

[2] Starobinsky, A. A., 2007, arXiv:0706.2041

[3] Tsujikawa, S., 2007, PRD, 76, 023514

## ガリレオン理論に基づくダークエネルギーの起源の探究

宇論  
04a

加瀬 竜太郎 (東京理科大学 M1)  
8月2日 14:45 B会場

超新星や宇宙背景輻射などの様々な観測から、現在の宇宙が加速膨張をしていることが示唆されている。その加速膨張の起源となるダークエネルギーの起源を明らかにすることは、今世紀の物理学の最大の課題と言ってもよい重要な問題である。ダークエネルギー問題は、一般相対論の枠組みでは取り扱いが困難な問題を提供している可能性があり、その意味で修正重力理論に基づくモデルがいくつか提案されている。宇宙論的な大スケールにおいては、一般相対論からのずれが許されるが、太陽系などの密度の高い局所領域では、重力実験の制限から、理論が一般相対論的な振る舞いを示す必要がある。

2008年に提唱されたガリレオン理論では、ミンコフスキ時空においてガリレイ変換の対称性を満たすようにラグランジアンが制限されており、その場合、時間微分に関して3次以上の項が基礎方程式に現れず、ゴーストなどの問題を避ける可能性を持っている [文献1]。しかも、スカラー場の非線形項の効果で、高密度の領域で一般相対論的な振る舞いを見せることが知られている [文献2,3]。私は、このようなガリレオン理論において現在の加速膨張を起こす機構に関して詳しく調べ、さらにゴーストやラプシアン的な不安定性を避けることができる条件について明らかにする。また、そのような理論における物質の密度揺らぎの進化を調べ、観測的な兆候に関する議論を行う。

[1] Nicolis, A., Rattazzi, R. & Trincherini, E., 2009, PRD, 79, 064036

[2] Silva, F. P. & Koyama, K., 2009, PRD, 80,

## Galileon 修正重力理論における球対称崩壊

宇論  
05a

木村 蘭平 (広島大学 M2)  
8月2日 15:00 B会場

近年の観測から宇宙が加速膨張をしているのが示されているが、現在のところ加速膨張の起源は分かっていない。この加速膨張を説明するために、重力を修正するという試みが盛んに行われている。その中の一つである Galileon 重力理論はスカラーテンソル理論に非線形項を加えた模型である。この模型は加速膨張をする解をもち、ゴーストがなく安定である。この模型における線形領域の大規模構造の進化は宇宙項模型と比べて成長率が大きくなるが示されている。一方で、非線形領域では Vainshtein 機構が働くことで、一般相対性理論に帰着する。我々は非線形領域における構造の進化を考えるために球対称崩壊を考え、Galileon 模型における非線形領域での密度揺らぎの成長を調べた。また、球対称崩壊するときの線形の密度揺らぎの値を評価した。

[1] Koyama, K. & Silva, F. P., 2009, PRD, 80, 121301

[2] Kobayashi, T., Tashiro, H., & Suzuki, D., 2010, PRD, 81, 063513

## レプトジェネシスにおけるフレーバー問題

宇論  
06a

高橋 智嗣 (京都大学 M1)  
8月2日 15:15 B会場

宇宙のバリオン数非対称性 (BAU) がどのようにして作られたかは最大の謎の一つである。BAU を説明するモデルは、数多く存在するが、決定的な理論は確立されていない。

有力なモデルの一つとして、レプトジェネシスがある。レプトジェネシスとは、スタンダードモデル (SM) では扱われない右巻きニュートリノを新たに導入することによって BAU を説明するモデルである。右巻きニュートリノと通常の SM で扱われるレプトン間の相互作用が存在するために、宇宙初期に右巻きニュートリノが崩壊することによってレプトン数が生成される。さらに、バリオン数とレプトン数の差を保存する反応 (スファレロン過程) によって、宇宙初期で作られたレプトン数をバリオン数に変換することができる。このようにして最終的なバリオン数が生成されるのである。このように、レプトジェネシスは SM に最低限の修正を加えただけのモデルであり、少ない仮定から BAU を説明できる。また同時に、ニュートリノの質量が極めて小さいことを自然に説明できる。以上の2点がレプトジェネシスが自然なモデルであると考えられる理由である。

これまでレプトジェネシスの解析は数多くなされてきたが、通常はレプトンのフレーバーの違いは考慮していない。しかし、この取り扱いが高温 ( $10^{12}$  GeV 以上) でレプトン数生成が生じる場合にのみ正しい。実際、低温でレプトン数生成が生じる場合は、 $\mu$  粒子湯川相互作用の効果を取り入れなければならない、この影響でフレーバー毎のレプトン数に違いが生じるのである。本講演で

は、レプトジェネシスの概要を説明した後、フレーバーの差まで考慮に入れた解析結果を述べる。

[1] Abada, A., Davidson, S., Josse-Michaux, F. X., Losada, M. & Riotto, A., 2006, JCAP, 04, 004

[2] Abada, A., Davidson, S., Ibarra, A., Josse-Michaux, F. X., Losada, M. & Riotto, A., 2006, JHEP, 09, 010

## Gravitational Baryogenesis

宇論  
07a

高橋 実道 (京都大学 M1)  
8月2日 15:30 B会場

宇宙の初期ではバリオンと反バリオンの数の差はゼロであったと考えられている。一方で、現在の宇宙は反粒子の数に比べて粒子の数が圧倒的に多いことが観測から分かっている。従って、初期宇宙のいずれかの段階で正味のバリオン数を生成する必要がある。しかし、現在の素粒子理論の標準模型ではバリオン数を生成することはできないとされているので、標準模型を越えてバリオンを生成するモデルが必要である。ところが、現在のバリオン数を説明するモデルが全て許されるわけではなく、宇宙の reheating 温度の上限から厳しい制限がかけられている。インフレーション後の宇宙の温度である reheating 温度は、グラビティーノ問題によって  $\sim 10^9$  GeV という上限が決められており、この上限を満たさないバリオン生成のモデルは実際には機能しないのである。バリオン生成のモデルの一つである gravitational baryogenesis は、このグラビティーノ問題を回避した上で観測とあったバリオン数を生成することが可能なモデルである。一般に、熱平衡の時には正味のバリオン数は生成できないと考えられているが、gravitational baryogenesis では CPT を破ることで、熱平衡においてバリオン数を生成している。

本発表は、gravitational baryogenesis についての論文 Davoudiasl et al.(2004) のレビューである。この論文では、 $w = 0, 1/3, 1/3 < w < 1, (p = w\rho)$  の宇宙で生成されるバリオン数密度を評価している。

## 構造形成の理論

宇論  
08b

望月 悠紀 (東北大学 M1)  
8月2日 15:45 B会場

観測的宇宙論において、構造形成の理論は非常に重要な役割を果たしている。我々の銀河や銀河団がどのようにしてできたかを明らかにするだけでなく、ニュートリノの質量に強力な制限を課したり、宇宙論パラメータに制限をかける等、多くのことが明らかになる。その一方で、観測をうまく説明するための理論はまだ打ち出されていない。摂動理論は small scale で破綻するため、より高次の摂動を考えるか、「新たな理論」が必要になっている。本講演では、構造形成の理論を考える上で必要な摂動理論と新たな理論について述べる。

## ハローバイアスへの初期ゆらぎの非ガウス性の影響

宇論  
09b

中村 元 (広島大学 D1)  
8月2日 15:48 B会場

現在の構造形成の理論ではインフレーション時にでき

た初期のゆらぎが重力を介して成長し、銀河団などの大規模構造を形成したとされている。この時、ガウス性の初期ゆらぎが仮定されることが多い。しかし、CMB や大規模構造の観測からは無視できない大きさの非ガウス性ゆらぎが存在しているという示唆がある。このような非ガウス性の検出は構造形成の種となるインフレーションモデルを強く制限することを可能にする。

本発表では、初期ゆらぎの非ガウス性がもたらす影響の内、物質ゆらぎとハローの個数ゆらぎの間にあるハローバイアスと呼ばれるバイアスへの影響を参考文献を元にレビューする。更に、現在ある制限や将来的な制限についても述べる。また、可能であれば今後の応用や発展的な話題にも触れる。

[1] Slosar, A., Hirata, C., Seljak, U., Ho, S. & Padmanabhan, N., 2008, JCAP, 0808, 031

.....

### ハロー・密度揺らぎの相関量から探る 初期非ガウス性：系統誤差の影響について

宇論  
10b

並河 俊弥 (東京大学 D1)  
8月2日 15:51 B会場

近年、解析的・数値的アプローチから、ダークマターハロー・物質密度揺らぎ間のバイアスに、初期の非ガウス性の影響が入ってくるのが分かってきた。つまり、このバイアスを測定することで、初期の非ガウス性を見積もることができる。

このバイアスは、ハロー個数密度と物質密度揺らぎの相関量から測定できるが、これを可能にするものとして galaxy-galaxy lensing や galaxy-CMB lensing と呼ばれる方法がある。Galaxy-galaxy lensing では、レンズ銀河を一つ選択したとき、その周囲にできる背景銀河のレンズされたイメージの歪みを測定する。そのうち、レンズ銀河を中心とした天球面上の円周に沿う方向の歪み (tangential shear) を、レンズ銀河中心からの関数として求める。これを複数のレンズ銀河に対して行い、平均をとることでダークマターハロー分布と物質密度揺らぎの相関が得られ、バイアスが測定される。背景銀河の代わりに CMB の重力レンズ効果を用いて物質密度揺らぎの情報を得るものは galaxy-CMB lensing と呼ばれる。

しかし、銀河の測光サーベイのデータからこれら方法を用いると増光バイアスの影響を受ける。また、測光サーベイでなくてもピーク統計に由来するバイアスが存在し、宇宙論パラメータの推定に大きな影響を与える可能性がある。本講演では、これらの系統誤差が、宇宙論パラメータ、特に初期非ガウス性の推定に与えるインパクトについて議論する。

[1] Jeong, D., Komatsu, E. & Jain, B., 2009, PRD, 80, 123527

[2] Desjacques, V., 2008, PRD, 78, 103503

[3] LoVerde, M., Hui, L. & Gaztanaga, E., PRD, 77, 023512

.....

### CMB lensing-Galaxy 相互相関を用いた Primordial Non-Gaussianity への制限

宇論  
11b

竹内 良貴 (名古屋大学 M2)  
8月2日 15:54 B会場

銀河や星といった宇宙の構造の“種”とも呼ばれる宇宙初期の密度ゆらぎ、その統計的性質はほぼガウス分布に従うとされている。しかし、今後の精密観測に伴いこのガウス分布からのわずかなずれ (NG: Non-Gaussianity) が注目されている。NG は初期宇宙のシナリオに大きく影響することからこのずれの検証は初期宇宙の解明へつながる。

近年この NG がバイアスを通してクラスタリングに与える影響が注目されている。しかし、この効果はバイアスを正確に見積もらなくてはならずこのバイアスの不定性をいかに克服するかが鍵となる。そこで注目するのが CMB の重力レンズ効果である。CMB は最遠方の光源ともいえ、伝搬して来るまで宇宙の構造を反映しておりバイアスの不定性なしに物質分布の情報を得ることができる。さらには銀河分布とも強く関連していると考えられ、これらを組み合わせることで精度良く NG の効果を引き出すことが可能になると考える。

本講演では Fisher 解析による NG へ対する制限を、今後の CMB 観測衛星 Planck と すばる HSC による銀河サーベイ計画に焦点をあて、その結果と問題点などについて紹介する。

[1] Dalal, N., Doré, O., Huterer, D. & Shirokov, A., 2008, PRD, 77, 123514

[2] Slosar, A., Hirata, C., Seljak, U., Ho, S. & Padmanabhan, N., 2008, JCAP, 8, 31

[3] Hu, W. & Okamoto, T., 2002, ApJ, 574, 566

.....

### k-inflation 模型における密度揺らぎの成長と観測からの制限

宇論  
12a

大橋 純子 (東京理科大学 M2)  
8月3日 10:00 B会場

平坦性問題や地平性問題のようなビッグバン宇宙論の問題を解決するため、宇宙初期にインフレーションと呼ばれる加速膨張期があったと考えられている。宇宙は広い視野で見れば一様で等方であるが、実際は宇宙背景放射 (CMB) の温度揺らぎや、銀河や星などの局所的な密度揺らぎが存在し、これらは、インフレーション期に存在した量子ゆらぎが急激な膨張により古典的な揺らぎになった結果と考えられ、摂動アインシュタイン方程式を解くことによりその進化が記述される。

理論的に予言されるスカラー揺らぎのスペクトラムは、WMAP グループをはじめとする宇宙背景放射 (CMB) の温度揺らぎの観測とよい一致を見せているが、インフレーションを引き起こす起源が何であるかは未だ明らかになっておらず、更なる研究が必要である。インフレーション期に生成される初期揺らぎのうち、スカラーモードの揺らぎが CMB の温度揺らぎや宇宙の大規模構造の起源となり、テンソルモードの揺らぎは原始重力波に対応する。重力波は未だ直接的に観測されていないが、もし将来的に観測されれば、インフレーションの模型に制限を与える上で極めて重要な役割を果たす。また近年、非線形性を取り入れた新たな観測量として、ゆらぎの三点相関から現れる“非ガウス性”が注目されており、今後の Planck 衛星などによる観測精度の向上から、(i) CMB の温度揺らぎのスペクトラル指数、(ii) スカラーモードに対するテンソルモードの比、(iii) 非ガウス性を表すパラメータ という 3 つの観測量について精度のよい制限がつくことが期待され、これをふまえた模型の構築が必要である。

今回我々は、この非ガウス性が大きくなりうる模型と

して、ラグランジアンがスカラー場の運動エネルギーの非線形項を含むような k-inflation タイプの模型を用いて、インフレーション中に生成される密度揺らぎの3つの観測量について議論する。

[1] Armendariz-Picon, C., Damour, T., & Mukhanov, V. F., 1999, PLB, 458, 209

[2] Garriga, J. & Mukhanov, V. F., 1999, PLB, 458, 219

[3] Chen, X., Huang, M., Kachru, S. & Shiu, G., 2007, JCAP, 0701, 002

## サイクリック宇宙モデルによる宇宙の進化

宇論  
13a

大山 祥彦 (総合研究大学院大学 M1)  
8月3日 10:15 B会場

現在の標準的な宇宙論では、宇宙初期にインフレーションと呼ばれる宇宙の指数関数的膨張期を仮定し、それによりビッグバンモデルにおいて発生する、地平線問題や平坦性問題などを解決している。しかしこのインフレーションモデルは多くの問題を解決する一方で、現実の宇宙を再現するためには、初期条件とインフラトンのポテンシャルを微調整する必要があり、また初期特異点の問題も解決していないというようにいくつかの問題点も含んでいる。

今回紹介するサイクリック宇宙モデルは、そのような問題点を解決するインフレーションモデルの代替理論として、Paul J. Steinhardt 及び Neil Turok によって提案された。このサイクリックモデルでは、宇宙が“ビッグバン”から始まる膨張期と、その後続く収縮期を経て最終的に“ビッグクラッシュ”へと至る一連の宇宙進化の過程を無限に繰り返していく。各ビッグバンとビッグクラッシュは、M理論やストリング理論のアイデアであるブレーンを用いて、高次元空間上でのブレーン同士の衝突であると解釈される。そのためインフレーション宇宙モデルで生じる初期条件の問題は生じず、また宇宙誕生時の特異点も存在していない。一つのサイクルでは、放射や物質が支配的な時期に続いて宇宙項優勢な加速膨張期が始まるが、この加速膨張は宇宙を非常に平坦にし、またエントロピーやブラックホール、その他のダストを無視できるくらいに薄めるといふ働きをする。この働きにより宇宙は平坦でほぼ真空の初期状態に戻るため、ビッグバンからビッグクラッシュへ至る過程を無限に繰り返すというサイクリックな解が安定して存在することができる。

この講演ではこのサイクリック宇宙モデルの概要、及びインフレーション宇宙モデルと比較した際の利点、また問題点などについても触れたいと思う。

[1] Steinhardt, P. J. & Turok, N., 2002, PRD, 65, 126003

[2] Steinhardt, P. J. & Turok, N., 2002, Science, 296, 1436

## Oscillating Universe in Hořava-Lifshitz Gravity

宇論  
14a

御園生 洋祐 (早稲田大学 M1)  
8月3日 10:30 B会場

Hořava-Lifshitz gravity は量子重力理論の候補とし

て近年、注目されている。エネルギースケールによって時間と空間を区別することにより、重力が繰り込み可能となることが期待される。この時間と空間の区別は  $x \rightarrow \ell x, t \rightarrow \ell^z t$  という非等方スケールリングによって行う。 $z$  は理論を特徴づけるパラメータであり、UV で  $z = 3$ 、IR で  $z = 1$  となるように要請する。この要請により、IR では Lorentz 対称性を保ち、UV では power counting renormalizable とすることができる。 $z$  が変化することにより、時間の質量次元も-1 から-3まで変化するので、作用には高次の空間曲率項が含まれる。この理論に基づく宇宙論では、様々な興味深い研究がなされているが、その中の一つとして一様等方宇宙モデル (FLRW 宇宙モデル) における宇宙初期特異点回避は重要である。高次の空間曲率による寄与によって、スケールファクター  $a^{-4}$  に比例する見かけの radiation (dark radiation) や  $a^{-6}$  に比例する見かけの stiff matter (dark stiff matter) が現れる可能性がある。これにより bounce universe や oscillating universe のような、初期特異点を回避する宇宙モデルの存在が示唆される。本研究では、真空の FLRW 宇宙の解を分類し、特に oscillating universe については詳細な解析を行った。

## de Sitter 時空での超対称性モデルにおける真空の揺らぎ

宇論  
15b

引地 貴之 (名古屋大学 M1)  
8月3日 10:45 B会場

現代物理が抱える困難の一つに、いわゆる宇宙定数問題と呼ばれるものがある。今回の発表ではこの問題の解決に向けた一つのアプローチを提案する論文 (N. Bilic, 2010) をレビューする。現在観測されている宇宙の加速膨張は数学的には宇宙定数で説明される。宇宙定数を物質場の寄与と考えたときに、これを真空のエネルギーで説明しようとする試みがある。しかし、量子論の真空のエネルギーから宇宙定数の値を見積もると、それは観測値を  $120$  桁以上も上回ることになる。この理論と観測の不一致が宇宙定数問題と呼ばれるものである。一方で、exact な超対称性をもつ場の理論では、ボソンとフェルミオンによる寄与が打ち消し合い真空のエネルギーはゼロに等しくなる。これでは宇宙定数の値がゼロになり加速膨張を説明できない。そこで de Sitter 時空でこの超対称性を考える。de Sitter 時空では超対称性の破れが生じ、真空のエネルギーはノンゼロとなる。理論と観測の不一致をこの超対称性の破れによる真空のエネルギーで説明するには、この真空のエネルギー密度が de Sitter 時空における宇宙定数と同程度とならなければならない。実際に、プランク長程度のカットオフを入れこの超対称性の破れの真空のエネルギー密度を評価すると、この真空のエネルギー密度は de Sitter 時空の宇宙定数と一致する。つまり宇宙の加速膨張は超対称性の破れによる量子論の真空のエネルギー密度で説明できる可能性があることをこの論文は示唆している。

[1] Bilic, N., 2010, arXiv:1004.4984

## インフレーション中の初期ゆらぎのエンタングルメント

宇論  
16b

大隅 雄司 (名古屋大学 D3)  
8月3日 10:48 B会場

我々の宇宙はその初期において、加速的な膨張、いわゆるインフレーションを起こしたと考えられている。加速膨張する宇宙の中では、場の量子効果により、ガウス統計に従うスケール不変なエネルギー密度ゆらぎが発生することが知られている。現在の宇宙の大規模構造は、ガウス統計に従うスケール不変な密度ゆらぎが重力の効果で増幅されることによって形成されると考えられており、その初期条件を第1原理から予言できることが、インフレーション理論の一つの根拠となっている。インフレーションシナリオが予言する初期ゆらぎは量子的な性質を持っていると考えられる。一方構造形成論においては、初期ゆらぎは古典的な確率変数として扱われるので、量子的な性質は持っていない。ここで古典的な確率変数とは、平均値は分散などの統計量が、規格化された正定値の確率分布関数によって計算されるような量のことを指す。もし系が量子力学的な相関、いわゆるエンタングルメントを持っていると、その系の振る舞いを記述できるような古典確率分布は存在しないことが知られている (E. G. Cavalcanti et al, 2007)。したがってインフレーションの最中、もしくはインフレーションがすんだ後に、ゆらぎの持つエンタングルメントはなくなるとはならない。我々は、空間2点の上の場の自由度の間のエンタングルメントがなくなる条件について調べている (Y. Nambu, YO, 2008)。本発表では、de Sitter 時空上のスカラー場、およびそれと結合する2つのモノポール測定器を考え、2つのモノポール測定器の間のエンタングルメントから場のエンタングルメントを読み取る試みについて紹介する。

[1] Cavalcanti, E. G., Foster, C. J., Reid, M. D. & Drummond, P. D., 2007, PRL, 99, 210405

[2] Nambu, Y. & Ohsumi, Y., 2008, PRD, 80, 124031

[3] Reznik, B., Retzker, A. & Silman, J., 2005, PRA, 71, 042104

## POLARBEAR 実験シミュレーションによるニュートリノ質量と誤差の評価

宇論  
17b

清水 景絵 (総合研究大学院大学 M2)

8月3日 10:51 B会場

高い角度分解能を誇る POLARBeaR 実験は CMB 偏光観測に特化することにより、そのパワースペクトルを高精度で検出することを目的としている。また、その高分解能を生かした宇宙の大規模構造によるレンジング B モード検出もその目的の一つである。これを解析することによって、ニュートリノ質量を良い精度で決定することができる。ここでは、POLARBEAR 実験に即したシミュレーションを行い、ニュートリノ質量和の誤差について評価した結果を報告する。

宇論  
18b

## 銀河分布で探る宇宙のトポロジー

藤井 宏和 (東京大学 M1)

8月3日 10:54 B会場

現代の宇宙論は一般相対論を基礎にしているが、一般相対論は時空の局所的な幾何学であり、宇宙の大局的な幾何学、すなわちトポロジーには何も制限を与えない。たとえば、曲率ゼロの宇宙として、無限な3次元ユークリッド空間ではなく、有限な3次元トーラスを考える

こともできる。したがって、現在標準とされている宇宙論には、いまだトポロジーという自由度が残されており、これに制限を加えることは極めて重要であり、興味深い。トポロジーを観測的に決定するには、大きく分けて CMB を用いるものと銀河分布を用いるものがある。WMAP 以降、銀河分布を用いる方法は廃れてしまい、CMB データを用いた研究が盛んに行われたが、統一的な見解に至るにはほど遠く、方法論の段階まで戻らざるを得ないと思われる。そこで本発表では、Lehoucq et al. (1996) により提案された、銀河分布を用いる cosmic crystallography method を紹介し、これまであまり行われていなかった現実的なシミュレーションにより、方法論の確立を目指す。

## すばる FMOS バリオン振動探査 (FastSound)

宇論  
19a

石川 敬視 (京都大学 M1)

8月5日 10:30 C会場

現在、宇宙の大規模構造の分光探査によって、ダークエネルギー、重力理論、その他の様々な宇宙論パラメータに、制限を与える試みが行われている。具体的な方法としては、バリオン振動 (BAO) 探査や、赤方偏移空間歪み (RSD) 探査などがある。将来、宇宙論パラメータに対してさらに強い制限を与えるためには、高赤方偏移での大規模構造探査が必要になってくる。そこで、我々は、すばる FMOS を用いた赤方偏移1付近の BAO/RSD 探査 (FastSound) を計画している。本公演では、まず初めに、これまでに行われてきた BAO 探査や、RSD 探査とその結果について述べる。更に、FastSound 計画の概要を説明し、ダークエネルギー・重力理論などに新たに課せられる制限について、議論する。

FMOS (Fiber-Multi-Object Spectrograph): すばる望遠鏡の主焦点に取り付けられる近赤外多天体分光器。満月1個分の広視野を持ち、ファイバーで400天体を同時分光できる。銀河の H $\alpha$  輝線を用いれば、赤方偏移1付近の銀河の赤方偏移を測定でき、最終的に何十万個もの銀河を分光することで赤方偏移1付近の宇宙大規模構造をとらえることができる。BAO: 宇宙大規模構造の相関関数に見られる、特徴的なスケールをもつ振動パターン。このスケールを距離指標に用いることで宇宙膨張や角径距離を精密に測定できる。RSD: 銀河の持つ特異速度によるドップラーシフトによって、赤方偏移空間での2点相関関数は実距離空間でのものから歪む。この度合いから計算される銀河構造の成長率により、重力理論への制限ができる。

[1] Eisenstein, D. J., et al., 2005, ApJ, 633, 560

[2] Guzzo, L., et al., 2008, Nature, 451, 54

## 非一様宇宙モデルの RBAO を用いた検証

宇論  
20a

宇野 竜矢 (大阪市立大学 M1)

8月5日 10:45 C会場

我々の宇宙は現在加速膨張していることが知られています。正確には一様等方宇宙モデルを採用すると赤方偏移の観測結果が宇宙の加速膨張を意味している。この加速膨張の原因の候補として有力なものがダークエネルギーです。このダークエネルギーを用いて宇宙膨張を説

明した理論は数々の観測事実と合致しているため多くの人はダークエネルギーが存在するものとして宇宙論の研究を行っています。しかし、ダークエネルギーは負の圧力という常識からは想像もできない圧力をもっているのです。それゆえ、ダークエネルギーを用いずに宇宙膨張を説明しようとする理論を作る試みが行われてきました。今回紹介するのは、そういう理論のひとつである非一様宇宙モデルです。非一様宇宙モデルとは標準宇宙論の基礎原理のコペルニクス原理(宇宙に特別な場所はない)を仮定せずに、「地球はとても大きな等方的なボイドの中心付近にいる。」とするモデルです。発表ではBAO(バリオン音響振動)の観測データを用いて非一様等方的なダークエネルギーなしの非一様宇宙モデルが観測を再現できるかということについての論文のレビューを行います。

[1] Zibin, J. P., Moss, A., & Scott, D., 2008, PRL, 101, 251303

宇宙論  
21a

## GRB を用いた宇宙論パラメータの推定：将来観測に向けた解析方法の比較

柏木 俊哉 (東京大学 M1)  
8月5日 11:00 C会場

1998年のIa型超新星(SNeIa)の観測によって宇宙の加速膨張が発見され、ダークエネルギーの存在が示唆されている。その性質の制限に用いる標準光源として、近年注目されているのがガンマ線バースト(GRB)である。非常に明るい天体であるGRBは、SNeIaが観測されていないような高赤方偏移でも見つかっている。特に最近の研究によって、GRBの距離指標を小さい誤差で与えることのできる関係(fundamental plane)が見出された。そのためGRBを標準光源として用いることで、SNeIaとは相補的な宇宙論パラメータへの制限を得ることができる。また、今後の衛星観測によってGRBの観測数は大幅に増えると考えられるため、将来的にその精度はますます良くなることが期待されている。

本研究ではこのような将来観測に備えて、より高精度な制限を与えるデータ解析手法を探ることを目的とする。そのために我々は、まず将来観測で得られるGRBのprofileのシミュレーションを行った上で、そのデータを、1)SNeIaを用いてcalibrationしたfundamental planeを用いる方法と、2)SNeIaによるcalibrationをせず、ベイズ推定の手法を用いてGRBのデータのみから制限を行う方法の2通りの解析方法によってそれぞれ宇宙論パラメータの制限を行い、どちらがより高精度の制限を与えるかを検証した。

- [1] Tsutsui, R., et al., 2009, JCAP, 08, 015  
[2] Liang, E. & Zhang, B., 2005, ApJ, 633, 611

宇宙論  
22a

## 暗黒物質の対消滅がCMBの分布関数に与えるゆがみについて

青山 尚平 (名古屋大学 M1)  
8月5日 11:15 C会場

WMAP衛星による宇宙マイクロ波背景放射[CMB]の詳細観測から現在の宇宙には私たちが構成する物質よりもエネルギーにして5倍近くの暗黒物質が存在することが明らかになっている。また、PAMELA衛星の観測

により地球に単位時間・単位面積あたりに飛来する宇宙線の中の陽電子が現在の素粒子標準模型の予言値よりも多いことが示唆されている。

暗黒物質の代表的な候補は最も軽い超対称粒子である。超対称粒子 $\chi$ とその反粒子 $\bar{\chi}$ が衝突して対消滅するときに発生する陽電子によって、PAMELAの結果を説明しようとする説がある。しかし、暗黒物質の対消滅の断面積は小さく通常の散乱過程ではPAMELA衛星の観測結果を説明できないので、何らかの増幅過程が必要と考えられている。その増幅過程の1つとしてSommerfeld enhancementがある。これは衝突時の $\chi, \bar{\chi}$ の重心系の運動エネルギーが十分に小さければ $\chi$ と $\bar{\chi}$ との間に共鳴状態が起こり、対消滅の中間状態として仮想的な束縛状態がつくられ、対消滅反応の起こりやすさを示す消滅断面積が極端に大きくなる効果である。

本発表ではJesús Zavala *et al.* (2010)の論文をレビューする。Sommerfeld enhancementにより増幅された暗黒物質の対消滅がCMBの分布関数に与えるゆがみを考察することで、現在宇宙に存在する暗黒物質に関するパラメータに制限を与えることを目的としている。特にCMBの分布関数であるPlanck分布に対する暗黒物質の崩壊によるゆがみはCMB光子の“有効化学ポテンシャル” $\mu$ を用いて定量化できる。

この論文では暗黒物質の崩壊時にSommerfeld enhancementを考えればCOBE衛星に搭載されていたFIRASの観測による $\mu$ の制限を考慮してもPAMELA衛星の陽電子過剰[positron excess]の観測結果を説明できることを示した。

- [1] Zavala, J., Vogelsberger, M. & White, S. D. M., 2010, PRD, 81, 083502  
[2] Hisano, J., Matsumoto, S. & Nojiri, M. M., 2004, PRL, 92, 031303

宇宙論  
23a

## インフレーション中のスローロールパラメータの変化によるCMB温度ゆらぎスペクトルへの影響

熊崎 亘平 (名古屋大学 M1)  
8月5日 11:30 C会場

ビッグバン理論の問題点を解決できる理論として、現在インフレーション理論が大きな支持を得ている。そしてこのインフレーションによる加速膨張によって、宇宙初期にできた微視的な密度ゆらぎは引きのばされ、それは現在CMBの温度ゆらぎとして観測されている。実際にCMB温度ゆらぎの観測からインフレーションモデルに迫る研究が盛んに行われている。近年、観測の精度が高くなり、観測されたCMB温度ゆらぎのパワースペクトルが、単純なスローロールインフレーションモデルで予想されるものからわずかにずれているのではないかと議論されている。今回、そのずれがスローロールの破れに起因しているものとして、インフレーションモデルにわずかにスローロールを破るように変更を加えたものを考えた。本講演では、そのモデルから得られる初期密度ゆらぎのパワースペクトルの数値解と解析解の比較、さらにWMAPのデータをもとにそのモデルに制限をつけた論文Michael J. Mortonson, Cora Dvorkin, Hiranya V. Peiris, and Wayne Hu, Phys.Rev.D79, 103519 (2009)をレビューする。

スローロールインフレーションとは、インフレーションの標準的なモデルであり、時間変化が十分小さい

スカラー場が宇宙を支配していれば、指数関数的な膨張が実現できる。

.....

### アクシオン宇宙の具体的なモデルにおける宇宙マイクロ波背景放射の偏光の回転

宇論  
24a

後藤 孟 (総合研究大学院大学 D2)  
8月5日 11:45 C会場

素粒子物理学の問題点の1つに、強いCP問題というものがある。自然に考えると強い相互作用のラグランジアンにはCP対称性を破る項が存在するはずなのだが、実験からその項の係数は非常に小さくなければならないことが分かっている、あたかもその項が禁止されているかのようで不自然だという問題である。そこで、新たなU(1)対称性を導入して、その対称性が自発的に破れることで生まれる平坦な方向の力学的自由度がこの係数であるとし、これをアクシオンと言う。インスタントン効果でその平坦な方向にくぼみができることで、アクシオンがそのくぼみに落ちこんで係数がゼロとなり強いCP問題は解決される。

ところで、力の統一理論の候補である超弦理論・M理論は10次元ないしは11次元の理論であり、これをコンパクト化することで我々の4次元の宇宙が得られると期待されている。この高次元理論に登場するゲージ場は、我々の4次元の宇宙ではアクシオンに似た場として現れる。この理論には対称性が多数存在し、それらが破れることで多数のこのようなアクシオン類似場が発生すると期待される。このような多数のアクシオン類似場が存在する宇宙は、アクシオン宇宙(axiverse)と呼ばれている。

アクシオン宇宙は、宇宙マイクロ波背景放射(CMB)の偏光の回転、銀河分布のパワースペクトルの階段的振る舞い、ブラックホールの回転エネルギーの抜き取りといった面白い現象をもたらす。どのような現象が起こるかはアクシオン類似場の質量によって異なり、すなわち4次元以外の余次元の幾何学的構造に依存するが、アクシオン類似場は多数存在するのでこれらの現象が同時に観測されることも期待される。最近、M理論でアクシオン宇宙の具体的なモデルが作られた。この発表では、現在精密な測定が進められているCMBの偏光に注目し、このような具体的なモデルで偏光の回転がどのようになるかを述べる。

[1] Arvanitaki, A., Dimopoulos, S., Dubovsky, S., Kaloper, N. & March-Russell, J., 2009, arXiv:0905.4720

[2] Lue, A., Wang, L. & Kamionkowski, M., 1999, PRL, 83, 1506

[3] Acharya, B. S., Bobkov, K. & Kumar, P., 2010, arXiv:1004.5138

.....

### CMB 温度非等方性による LTB 宇宙論モデルへの制限

宇論  
25a

齋藤 恵樹 (総合研究大学院大学 D1)  
8月5日 12:00 C会場

Ia型超新星の距離 赤方偏移関係の観測から、現在の宇宙は加速膨張していると考えられている。ダークエネルギーという負の圧力を持つエネルギーを考えればこれを説明することができるが、ダークエネルギー

の正体は全く未知である。そこで、ダークエネルギーを導入することなく現在の宇宙の加速膨張を説明するモデルとして、等方だが非一様な宇宙を考えるLTB宇宙論モデル(ポイド宇宙モデル)が最近注目を浴びている。このモデルは、我々が局所ポイドの中心付近にいるという偶然性の高い仮定を必要とするが、Ia型超新星以外の観測からも棄却されてはいない。ただし、これまで行われてきた検証方法では十分な検証ができていないというのが現状であるため、我々は一般の球対称時空におけるCMB温度非等方性の解析公式を導出した(Kodama, H., Saito, K., & Ishibashi, A. 2010, Prog. Theor. Phys., in press)。本講演では、この解析公式を用いて得られる理論値と観測値とを比較することで、観測者の位置と局所ポイドのプロファイルに制限をつける。

[1] Kodama, H., Saito, K. & Ishibashi, A., 2010, Prog. Theor. Phys., in press

.....

### 宇宙弦/宇宙超弦による CMB 温度パワースペクトルの解析モデル

宇論  
26c

山内 大介 (京都大学 D3)  
ポスター発表(口頭なし)

宇宙弦/宇宙超弦は弦理論的宇宙論の新たなプローブとして現在注目を集めている。宇宙弦/宇宙超弦を区別する最も重要な指標のひとつとして、繋ぎ換え確率がある。宇宙超弦ではこれが1より十分小さくなりえることが指摘されており、これを宇宙論的な観測により制限を加えることは非常に興味深い。我々は宇宙弦/宇宙超弦から導かれる宇宙マイクロ波背景放射温度パワースペクトルを解析的な方法により計算する方法を見出した。これまでの宇宙弦の数値シミュレーションの結果とよく一致するとともに、宇宙超弦、つまり、繋ぎ換え確率が1より小さい場合についての振る舞いを初めてあらわに示すことに成功した。また、張力-繋ぎ換え確率の2次元面において観測的な制限をつける。

[1] Yamauchi, D., et al., 2010, arXiv:1006.0687

[2] Yamauchi, D., et al., 2010, JCAP, 05, 033

[3] Takahashi, K., et al., 2009, JCAP, 10, 003

.....

### CMB Polarization in Einstein-Aether Theory

宇論  
27c

中島 正裕 (東京大学 D2)  
ポスター発表(口頭なし)

宇宙の加速膨張を説明するために、近年様々な修正重力理論が提案されているが、そのほとんどが一般相対論に新たなスカラー的自由度を加えたものである。そうした、いわゆる「標準的な」修正重力理論と異なり、Einstein-Aether理論は、一般相対論にベクトル的自由度(Aether)を加えたもので、ローレンツ対称性を自発的に破りつつ理論に不安定性が現れない優れたモデルとして注目を集めている。

この理論の極めて重要な特徴として、摂動を考えた際に通常は存在しない新たなベクトルモードが登場する点が挙げられる。数年後に観測が期待されるCMBのBモード偏光はベクトルモードからも生成されるので、このような理論を考えた際にBモード偏光のスペクトルがどのような形、もしくはどのような振幅になるかを

知っておくことは重要である。我々は、Aether が CMB 偏光にもたらす寄与を明らかにし、偏光スペクトルを数値的に計算した。その結果、Aether を規定するパラメータの値に大きく依存するものの、原理的には原始重力波起源の B モード偏光と区別することが出来ることが分かった。

[1] Armendariz-Picon, C., Sierra, N. F. & Garriga, J., 2010, arXiv:1003.1283

## Weak Lensing Map のピークカウントによるダークエネルギーモデルの制限

宇論  
28c

白崎 正人 (東京大学 M1)  
ポスター発表 (口頭なし)

現在、我々の宇宙を構成する成分の約 70% がダークエネルギーと呼ばれる未知のエネルギーである。このダークエネルギーの状態方程式を決めるパラメーターである  $w$  を Weak Lensing Map のピーク値をカウントすることで制限をつける手法を紹介する。この手法は、2次元の Weak Lensing Map から直接的に制限を付けられるため、LSST のような広範囲サーベイへの適用が期待されている。本講演は、下記の参考文献のレビューである。

[1] Kratochvil, J. M., Haiman, Z. & May, M., 2010, PRD, 81, 043519

## Introduction of Gravitational lensing

宇論  
29c

黒島 利沙 (東北大学 M1)  
ポスター発表 (口頭なし)

重力レンズとは、観測者と光源となる天体の間に質量天体がある場合、重力場の影響で光の軌道が曲げられ観測者に届く現象である。この重力レンズ効果によって本来見えないはずの像や複数の像が見えたり、歪んだり、更には増光された像として観測が可能となる。実際、1919年に Eddington らによって太陽周縁をかすめる光は 1.7" 屈折する事が観測的に検証され、1979年には初めて、重力レンズ効果を受けた QSO0957+561A,B が発見されて、観測的宇宙論分野で重力レンズ効果の研究が発展してきた。本ポスターでは、重力レンズの基礎的な仕組み、レンズモデルやレンズ効果の種類、主な観測例や宇宙論パラメータへの関わり、そして現在の観測に於ける重要性や今後の展望等を簡潔にまとめた。尚、本ポスターは NARAYAN, "Lectures on Gravitational Lensing" を参考にまとめた。

[1] Narayan, R., 2008, Lectures on Gravitational Lensing

## SDSS 銀河分光サーベイを用いた密度揺らぎの確率分布関数

宇論  
30c

福永 健介 (東京大学 M2)  
ポスター発表 (口頭なし)

宇宙の大規模構造を記述する最も基本的な統計量の一つが密度揺らぎの確率分布関数 (PDF) である。現在の宇宙の構造の起源である原始揺らぎはインフレーション

時に形成されたものと考えられており、多くのモデルはほぼガウス統計に従う密度揺らぎを予言する。その後、重力の非線形進化により PDF は大きく変形を受ける。結果、現在の PDF は対数正規分布でよく記述できることが数値計算によって示されている。一方、観測的に PDF を測定しようとする試みがなされてきたがそれらは必ずしも精度が十分とは言えないままであった。本研究の目的は、銀河の PDF を精度良く求め、数値計算で予想される近似的な対数正規分布からの違いをみることで、銀河バイアスの観測的な手掛かりを得ることである。

全天の四分の一という広い領域をカバーする大規模な赤方偏移サーベイである Sloan Digital Sky Survey (SDSS) は、今回の目的に最適であるといえる。我々は SDSS の最新の DR7 (data release 7) 3次元分光データを用いて、銀河分布の PDF を様々なスケールにわたり定量的に測定した。その結果、大スケールでは正規分布に近いといえる PDF が、非線形性の強い小スケールでは分布が歪み、対数正規分布に近づいていくことがわかった。同じ測定を異なる赤方偏移で繰り返すことで、PDF の成長の時間依存性も調べた。

これらの観測結果と我々の数値シミュレーション結果と比較することで銀河のバイアスを読み取った。さらに、PDF が銀河の性質 (光度、色、形態) にどのように依存するのかを調べた。これらはより広く行われている 2点統計に基づく方法とは相補的に銀河バイアスに関する情報を提供する。本講演ではこれらをまとめた最新の解析結果を報告する予定である。

## BBN、大規模構造からニュートリノを探る

宇論  
31c

千秋 元 (東京大学 M1)  
ポスター発表 (口頭なし)

ビッグバン元素合成からニュートリノの世代数、化学ポテンシャルの制限を付ける。また、大規模構造のゆらぎからニュートリノの質量の制限を付ける。この理論を俯瞰し、また、最新の観測結果から各値の制限を付ける。

[1] Dodelson, S., 2003, "Modern Cosmology" (Academic Press) ch. 7.6.2

## アンチコペルニクス宇宙モデルの摂動論

宇論  
32c

西川 隆介 (大阪市立大学 M2)  
ポスター発表 (口頭なし)

超新星の赤方偏移観測から現在我々の宇宙は加速膨張していることがわかった。正確には、一般相対論と我々は特別な場所にいないとするコペルニクス原理を仮定すれば宇宙は加速膨張している、ということになる。加速膨張はダークエネルギーの存在を示唆するがその正体は不明である。一方、コペルニクス原理を仮定しなければダークエネルギーを導入せずに観測を説明できる可能性はある。アンチコペルニクス宇宙モデルは、我々は球対称なボイド領域の中心付近にいと仮定し、場所による膨張速度の違いでみかけの加速膨張を引き起こすモデルである。銀河サーベイなど構造形成に関する観測からモデルの検証を行うために、アンチコペルニクス宇宙モデ

ルの摂動論を構築する。

[1] Clarkson, C., Clifton, T. & February, S., 2009, arXiv:0903.5040v2

### Supersymmetric hybrid inflation

宇論  
33c

北嶋 直弥 (東京大学 M2)  
ポスター発表 (口頭なし)

ハイブリッドインフレーションは超対称性 (SUSY) を有する理論の枠組みで記述されうる代表的なインフレーションモデルである。このモデルを用いて COBE, WMAP の観測結果を説明しようとする試みが幾度となくされ、発展を続けてきた。本発表では SUSY ハイブリッドインフレーションの基本を解説し、minimal supersymmetric hybrid inflation の問題点と non-minimal Kahler potential の導入によって WMAP で得られた密度揺らぎやスペクトル指数の値を説明する試みを述べる。

[1] Bastero-Gil, M., King, S. F. & Shafi, Q., 2007, PLB, 651, 345

### Modulated Trapping of the Inflaton Field

宇論  
34c

Doeleman Yuri (京都大学 M2)  
ポスター発表 (口頭なし)

We will discuss some aspects of modulated trapping: a recently proposed new mechanism for producing primordial perturbations and non-Gaussianities from inflation. The inflaton field is trapped for a fraction of an e-fold due to resonant particle production. If one of the fields associated with the produced particles is light, its fluctuations during the early stages of inflation will induce a spatial modulation of the trapping, corresponding to a curvature perturbation at the end of inflation.

[1] Langlois, D. & Sorbo, S., 2009, JCAP, 0908, 014

### multi-field open inflation における tunneling

宇論  
35c

杉村 和幸 (京都大学 M2)  
ポスター発表 (口頭なし)

インフレーション理論は、ビッグバンの前に急激な加速膨張期があったとする、初期宇宙の理論における最も有力な候補である。一方、弦理論的宇宙論によると、初期宇宙における複数のスカラー場の存在や、スカラー場の非自明なポテンシャルの存在が予言されている (弦理論的ランドスケープ)。そのような場合、複数のスカラー場がポテンシャルの極小点 (偽真空) からポテンシャルバリアを越えてポテンシャルの最小点 (真空) に向かうトンネリングが起こり、そのトンネリングのあとに slow roll インフレーションが始まるというモデルが考えられる。ここで、トンネリング後の宇宙は負の曲率をもつため、このモデルは open inflation と呼ばれている。単一スカラー場の際のトンネリング解は先行研究において構成されているが、複数スカラー場が存在する場

合については調べられていなかった。そこで、本研究では、複数のスカラー場が存在することによるトンネリングへの影響について調べる。

[1] Coleman, S. & De Luccia, F., 1980, PRD, 21, 3305

[2] Linde, A. D., 1998, PRD, 59, 023503

[3] Freivogel, B., et al., 2006, JHEP, 03, 039

# 宇宙線分科会

宇宙線  
01a

新型太陽中性子望遠鏡の開発の現状  
報告-miniSciCRを使った測定試験  
永井 雄也 (名古屋大学 M2)  
8月2日 16:30 C会場

宇宙線の加速起源を知るために、もっともみじかな粒子加速源である太陽を観測する意義は非常に大きい。特にイオンの加速については現在、名大STE研を中心として太陽中性子観測が行われている。太陽表面でのフレアによる粒子加速機構を詳細に知るためにはより分解能の高い中性子望遠鏡の開発が必要である。次の太陽極大期に向けて、新型太陽中性子望遠鏡 (SciCR) の開発が進められている。本機はメキシコのシエラネグラ山に来年、設置する予定である。それに先駆けて、今年の秋に小型試作機 (miniSciCR) を現地に設置し測定試験を行う。本講演ではこの miniSciCR の名古屋での測定試験の結果とそれを用いた SciCR のシミュレーションの話をする。

宇宙線  
02a

太陽フレアニュートリノの探索  
三宅 正人 (名古屋大学 M1)  
8月2日 16:45 C会場

太陽表面には黒点と呼ばれる低温で強磁場を持った領域が存在する。これは、太陽内部の対流層で、磁力線が強められ表面に押し出されることで生成されると考えられている。黒点は約 11 年で規則的に増減を繰り返しており、黒点数が多いときは太陽内部の活動が活発であると考えられる。このような太陽活動が活発な時期には黒点周りの活動領域でエネルギーの爆発的な解放現象が起きる。これは、極限まで強められた黒点近傍の磁場のエネルギーを解放することで起こると考えられており、このような現象を太陽フレア現象という。この現象を起こすためには、およそ  $10^{29}$ - $10^{33}$  erg もの莫大なエネルギーが必要と言われており、これに伴い、幅広い波長の電磁波の放射や宇宙線の放射が観測される。このフレアで生成された高エネルギー宇宙線は太陽コロナでパイオン生成相互作用を起こし、結果としてニュートリノを発生させる。この時、地球で観測されるニュートリノフラックスは、大気ニュートリノフラックスの数倍のオーダーで観測されると考えらる。

本講演では、太陽フレアニュートリノの生成についてとこれまでの探索の結果、また、ニュートリノの観測に用いるスーパーカミオカンデ検出器について述べる。

宇宙線  
03a

ガンマ線バーストによる超高エネルギー宇宙線の加速  
柴田 三四郎 (甲南大学 M1)  
8月2日 17:00 C会場

宇宙線の中でもそのエネルギーが  $10^{19}$  eV に達するようなものは、超高エネルギー宇宙線 (Ultra High Energy Cosmic Ray; UHECR) と呼ばれており、地上からの観測によりその存在が知られている。しかし宇宙線がどのようにしてその様なエネルギーにまで加速されるかについては未だ解明されていない。加速源としての候補はいくつか考えられているが、その中の一つにガンマ線バースト (Gamma Ray Burst; GRB) と呼ばれる天体がある。GRB では内部衝撃波や外部衝撃波と呼ばれる衝撃波が存在すると考えられており、衝撃波での

フェルミ加速により、荷電粒子が  $10^{20}$  eV といった超高エネルギーにまで加速される可能性が指摘されている (Waxman 1995, Vietri 1995 等)。本講演では、提案されている GRB による UHECR の加速というシナリオについての論文を紹介する。

- [1] Waxman, E., 1995, PRL, 75, 386
- [2] Vietri, M., 1995, ApJ, 453, 883
- [3] Meszaros, P., 2006, Rep. Prog. Phys, 69, 2259

宇宙線  
04a

宇宙線の衝撃波加速における非線形効果の考察  
斎藤 達彦 (東京大学 M1)  
8月2日 17:15 C会場

銀河系内の宇宙線の有力な生成機構として、銀河系内で起こった超新星爆発が考えられている。爆発によって生じた衝撃波が周囲の星間空間へと広がっていく過程で、衝撃波近傍の乱流場において統計的なフェルミ加速機構が働き、非熱的高エネルギー粒子が生成される。こうして生成された非熱的高エネルギー粒子のエネルギースペクトルはべき乗分布を示し、実際に観測されるスペクトルによく似ている。こうした衝撃波のフェルミ加速機構に対して、近年衝撃波の非線形加速機構がよく取り上げられる。この問題では、粒子加速の過程で生み出される宇宙線が衝撃波上流に染みだすことで、衝撃波の構造が変化し、全体としての加速効率に影響を与えるようになる。今回はこの非線形問題について、Drury and Volk (1981) の論文を紹介しながら、議論する。

- [1] Drury, L. O'C. & Volk, H. J., 1981, ApJ, 248, 344
- [2] Drury, L. O'C., 1983, RPPH, 46, 973

宇宙線  
05a

ガンマ線バーストからの最高エネルギーガンマ線、ニュートリノの探索  
飯島 隆志 (甲南大学 M1)  
8月4日 11:15 C会場

宇宙で最もエネルギーの高い粒子を最高エネルギー宇宙線と呼ぶ。この小さな粒子には宇宙の莫大な高エネルギー現象とその伝搬過程の情報が詰め込まれていると考えられている。この粒子の発生機構と化学組成はいまだに解明されていない。最高エネルギー宇宙線の謎を解き明かすためには、広い検出面積を持つ観測装置により、宇宙線の異方向性、エネルギースペクトル、化学組成を調べる必要がある。そこで、最高エネルギー宇宙線の起源と化学組成を解明するため、アルゼンチンの草原にある南 Auger 観測所で  $10^{17}$  eV- $10^{20}$  eV 以上の高エネルギー領域の粒子の観測が行われている。

現在、その最高エネルギー宇宙線の起源としてガンマ線バーストと呼ばれる現象が候補にあげられている。ガンマ線バーストとは、知られている限り宇宙で最もエネルギーの高い現象であり、現在 Swift 衛星や Fermi 衛星などで観測されている。本研究ではガンマ線観測衛星により検出されたガンマ線バーストのデータと、南 Auger 観測所で検出された最高エネルギー宇宙線のデータを比較することで、ガンマ線バーストから放射される最高エネルギー領域のガンマ線や光、ニュートリノなど中性粒子の検出を試みている。

宇線  
06a

## Telescope Array 実験の紹介

堤 一樹 (東京工業大学 M1)

8月4日 11:30 C会場

現在までに観測されている宇宙線の最高エネルギーは  $10^{20}$  eV を超えている。そのような宇宙線の起源は、ガンマ線バーストや活動銀河核などの天体現象や、ビッグバン初期に生成されたとされる宇宙ひもや超重粒子の崩壊などの未知の物理現象が考えられるが未だによく分かっていない。また、この領域の宇宙線のスペクトルには GZK 限界という折れ曲がりの存在が予言されているが、その有無に関して、過去のいくつかの実験では異なる結果が得られているため結論が出ていない。Telescope Array (TA) 実験では米国ユタ州ミラード郡の西部砂漠地帯、700 平方 km の領域に、3 箇所の大気蛍光望遠鏡ステーションと、507 台からなる地表粒子検出器アレイの 2 種類の検出器を配置し、最高エネルギー宇宙線のエネルギースペクトル、到来方向、化学組成を調べることで、その起源を解明することを目的としている。本公演では TA 実験全体の概要と最新の観測結果について発表する。

宇線  
07a

## 宇宙線と雲核生成及び地球環境との 関連性についての研究

伊澤 雄貴 (名古屋大学 M1)

8月4日 11:45 C会場

太陽活動の変化が地球環境に影響を与えているという研究は以前から数多く行われてきたが、最近の研究によって地球の下層大気 (< 3.2km) の雲量と宇宙線強度の増減に強い相関があることが判明した。この相関を説明する有力な仮説として、宇宙線の電離作用によってできたイオンを介してエアロゾルが生成され、そのエアロゾルが雲凝結核に成長して雲の種になるというものがある。しかし、定量的にはいまだわかっていないことが多く、この物理過程の一部を再現するための実験として SKY 実験が行われ、またさらに大きな規模の CLOUD 実験も最近運用を開始した。

SKY 実験とは、下層大気を再現するようなガスをチェンバー内に送り、宇宙線に見立てた線源と、253.7nm の波長の紫外線を照射して、下層大気において発生していると考えられる反応を再現する実験である。結果としては、イオン存在下で SO<sub>2</sub>、O<sub>3</sub>、H<sub>2</sub>O から 3nm 以上のエアロゾルが作られること、イオン密度が高いと生成されるエアロゾル数密度が高いことがわかった。しかし、SKY 実験ではガス濃度を变化させたときのデータがない、イオン密度とエアロゾル数密度は正の相関ではあるが比例関係であるとは断言できない、イオン源として線以外のものを使用したときどうなるのか、などのいくつかの不明瞭な点がある。

このような疑問点を解決するために、下層大気組成を再現するためのガス供給システム、ガスを反応させるためのチェンバー、チェンバー内のイオン濃度の検出装置を実際に製作し、そのチェンバーに線源や 253.7nm の波長の紫外線を照射して、宇宙線強度変化と雲量変化との相関関係を結びつける決定的な物理過程の解明を目指した研究を行っている。

[1] Svensmark, H., et al., 2007, PROCEEDINGS OF THE ROYAL SOCIETY A, 463, 385

宇線  
08a

## NEWAGE 実験：高感度化に向けて の地上実験進捗

中村 輝石 (京都大学 M2)

8月4日 12:00 C会場

我々は  $\mu$ -TPC というガス検出器を用いて、方向に感度を持った暗黒物質探索実験を行っている。現行よりも低エネルギー側に感度を持たせるために、検出器内のガス圧を下げる実験を行ってきた。これまでの低压ガス実験から、ガスゲインが足りないことが分かっている。今回は、エネルギー閾値を下げるのに十分なガスゲインを得る為におこなった動作パラメータの最適化について発表する。

[1] Miuchi, K., 2010, PLB, 686, 11

[2] 西村広展, 2008, 博士論文 (京都大学)

宇線  
09a

## XMASS 実験におけるダークマター 探索の概要

西谷 雄輝 (名古屋大学 M1)

8月4日 12:15 C会場

XMASS 実験とは神岡鉱山地下 1000m で行われるダークマターの探索実験である。ダークマターは今までに観測されている宇宙の物質の 5~6 倍を占めているとされ、自身は光らず、また光を反射しないために光学的に観測することはできない未知の物質である。その存在は渦巻き銀河の回転曲線や重力レンズ効果といった観測結果から示唆されているが、実際にダークマターが検出された実験結果はまだない。現在、ダークマターの候補は複数存在するが、この実験ではその中の一つ「WIMP」を直接観測することを目的としている。WIMP とは電磁的な相互作用をほとんど起こさず、電磁波では検出できない物質のことである。XMASS 実験では WIMP とシンチレータの反応を用いてこの WIMP の観測を行う。WIMP がシンチレータの原子核と弾性衝突を起こすと原子核や電子が励起され、これらが基底状態に戻る時にシンチレーション光が発生する。このシンチレーション光を観測することで WIMP の検出を行う。シンチレータには WIMP の信号の検出に最も適していると考えられる液体キセノン (Xe) を用いる。この講演では XMASS 実験の概要、及び現在の状態について報告する。

宇線  
10a

## TeV ガンマ線未同定天体 HESS J1741-302 のすざく衛星による X 線 観測

矢島 由貴江 (名古屋大学 M1)

8月4日 14:30 C会場

宇宙空間には「宇宙線」と呼ばれる超高エネルギーに加速された粒子が飛び交っており、エネルギー分布は、 $10^8$  eV から  $10^{20}$  eV まで 12 桁と広範囲に広がっている。それにもかかわらず、宇宙線の起源は謎に包まれている。粒子は、どのようなプロセスにより、どこで超高エネルギーまで加速されるのだろうか。

2005 年 H.E.S.S 望遠鏡により、我々の天の川銀河内に多くの新天体が発見された。新天体からは超高エネルギーの光、TeV ガンマ線が放射されていることが分かり、この新天体が宇宙線加速器であることが考えられた。しかし、中には今までによく観測されてきたはずの

可視光や電波、赤外線、X線などでは TeV ガンマ線までをも放射する対応天体が見つからないものがある。

HESS J1741-302 は、銀河面上に見つかった TeV ガンマ線を放射する未同定天体のうち、最も暗い天体である。ガンマ線は空間的にも広がっているため、銀河面上の TeV ガンマ線を放射している明るい領域を見ている可能性がある。従って、未だ起源の分からない銀河面上の TeV 放射の起源を探る上で興味深い天体である。また、この HESS J1741-302 領域をすざく衛星で観測すると、TeV ガンマ線放射のピークと一致する X 線対応天体が発見された。その X 線放射と TeV ガンマ線放射のエネルギーフラックス比から、TeV ガンマ線の起源が陽子である可能性が示唆されている。さらに HESS J1741 のそばに新たな X 線星が発見され、X 線スペクトルと周期的時間変動からこの X 線星が激変星であることが示唆されている。本講演では、この HESS J1741-302 の解析結果について紹介する。

宇線  
11a

### スターバースト銀河からのガンマ線の観測と解析

梅田 佳宏 (立命館大学 M1)  
8月4日 14:45 C会場

天の川銀河は、MeV から GeV 領域でのガンマ線の主な源となっている。この放射は、銀河円盤で特に強くなっている。天の川銀河に似た通常の銀河は他にもあるが、それらの銀河はとて離れており、ガンマ線での観測を困難にしている。これまでの観測によると、近傍銀河では大マゼラン雲しかガンマ線は観測されていない。しかし、スターバースト銀河のような活動度の高い銀河からは、観測感度の向上に伴いガンマ線を観測できる可能性があると思われる。

宇宙線は超新星爆発の残骸において加速されると考えられている。このようなスターバースト領域では、宇宙線の観測にはよい条件が揃っている。しかし、宇宙線の加速源が、超新星残骸によるものである直接的証拠はいまだに少ない。また、以前の EGRET での観測では、NGC253 からのガンマ線は観測されていない。したがって、2008 年に打ち上げられた Fermi 衛星に搭載された LAT の観測データを用いて、スターバースト銀河からの 100MeV から 300GeV のガンマ線の探索をおこなった。今回の調査では、スターバースト銀河についてガンマ線による調査をおこなった。M82、NGC253 からのガンマ線は観測することができたが、その他の天体からは天体を証明するだけのガンマ線を観測することができなかった。これらの結果から、スターバースト銀河のうちのあるものはガンマ線の発生源の 1 つであることが確認できた。

[1] Abdo, A. A., et al., 2010, ApJ Letters, submitted

[2] Blom, J. J., Paglione, T. A. D. & Carrdminana, A., 1999, ApJ, 516, 744

[3] Rephaeli, Y., Arieli, Y., & Persic, M., et al., 2010, MNRAS, 401, 473

宇線  
12a

### 次世代 IACT カメラに向けたアレイタイプ MPPC (PPD) の基礎特性

若塚 昌彦 (東海大学 M1)  
8月4日 15:00 C会場

現在、地上で大気チェレンコフ望遠鏡を用いて TeV

ガンマ線の観測を行っているが、今後さらに望遠鏡の感度を向上させより暗い天体の観測や、今見えている明るい天体をさらに詳細に調べることが望まれています。そのためには、そこで望遠鏡の口径を大きくしたり、カメラの感度を高める方法などの改善が必要となっている。現在一般的に使用されている大気チェレンコフ望遠鏡の焦点面カメラには量子効率が 25% の PMT (光電子増倍管) が使用されている。しかし、ここではさらに検出効率の高い MPPC (PPD) を焦点面カメラに応用することによって、望遠鏡の感度を向上させることが期待できる。しかしながら、MPPC には、gain の電圧・温度依存性、ノイズレイトが高いことやサイズが小さすぎるなどのいくつかの課題がある。そこで私は、この MPPC の基礎特性を調べこの問題点を改善していくことを目的として、将来的には読み出し回路を設計して MPPC を大気チェレンコフ望遠鏡の焦点面カメラに応用することを目的としている。

宇線  
13a

### 解像型大気チェレンコフ望遠鏡のための高速波形記録 ASIC の開発

遠山 健 (東京大学 M2)  
8月4日 15:15 C会場

解像型大気チェレンコフ望遠鏡は大気中に入射した TeV 領域のガンマ線が引き起こす空気シャワーからのチェレンコフ光を光電子増倍管アレイで観測する。空気シャワーからの光は 10 ナノ秒以下の短い時定数をもつ。そのためバックグラウンドである夜光の量を最小限にするためには信号の記録時間をナノ秒程度までさげる必要がある。そこで我々は 1 ギガヘルツのサンプリング周波数で光電子増倍管からの信号波形を記録できるアナログメモリーセルと呼ぶ集積回路 (ASIC) を開発している。アナログメモリーセルは入力信号を多数配列したキャパシターに逐次電荷としてためることで高速で信号を記録する回路である。本講演ではアナログメモリーセルの開発状況と解像型大気チェレンコフ望遠鏡、開発研究の様子について報告する。

[1] Behzad Razavi, 2003, 「アナログ CMOS 集積回路の設計 基礎編・応用編」

宇線  
14a

### LHCf 実験の近況と概要

鈴木 健太 (名古屋大学 M1)  
8月4日 15:30 C会場

宇宙線研究における課題として  $10^{19}$ eV を超える超高エネルギー宇宙線のエネルギースペクトルの解明、超高エネルギー宇宙線の化学組成の決定があげられる。これらの問題は宇宙線の加速源、加速機構伝播過程を知る上で重要であり、これらの解決を目的として現在も宇宙線の観測が行われている。宇宙線の観測は一次宇宙線と大気との反応によって発生した空気シャワーを観測し、シミュレーションによって一次宇宙線の情報を求める。シミュレーションに用いられるハドロン相互作用モデルは非常に大きな寄与をもつが、ハドロン相互作用は複数存在し、またそれらのモデルは現時点では  $10^{14}$ eV 程度までしか検証されておらず、観測結果の理解に不定性が生じている。

LHCf 実験はこのハドロン相互作用モデルの検証を目的とし、世界最大の加速器 LHC において宇宙線空気シャワーの発展に重要な最前方放出粒子の測定を行う

実験である。LHCf 実験は 7TeV-7TeV の陽子の衝突によって発生した粒子を衝突点の両側 Arm1 と Arm2 に設置した荷台のサンプリングカロリメーターを用いて観測を行う。本講演ではこの LHCf 実験に用いられている装置、また LHCf 実験の近況について述べる。

宇線  
15c

### ガンマ線連星 LS5039 における多波長放射メカニズム

山口 正輝 (大阪大学 D1)  
ポスター発表 (口頭なし)

ガンマ線連星とは X 線連星のうち、ガンマ線を放射する珍しい連星である。ガンマ線を放射していることは、単純にはそれだけのエネルギーまで粒子が加速されていることを意味する。そのため粒子加速機構の点で注目されている天体である。この種の天体はコンパクト星 (中性子星またはブラックホール) と大質量星 (太陽の 20 倍程度の質量を持つ) からなる。

ガンマ線連星はこれまで 3 つ発見されているがそのうちの 2 つはコンパクト星が同定されていない。その 2 つのうちの 1 つ、LS5039 からは電波から TeV ガンマ線まで 20 桁にわたって観測がなされている。その中で特に興味深いのが、2006 年の H.E.S.S. の観測結果と昨年公表された Suzaku 衛星と Fermi 衛星の観測結果である。それらは連星の軌道周期に同期した変動を示しており、連星のごく近くで TeV、GeV、X 線が放射されていることを示唆している。さらにそれらの放射は互に関係しており、TeV と GeV は反相関し TeV と X 線は相関している。この系に対し、コンパクト星の位置で電子が加速されると仮定しモンテカルロ法を用いて放射を計算した。その結果、X 線、GeV、TeV のスペクトルをおおまかに再現し、さらに上記の TeV-GeV 反相関、TeV-X 相関を再現することができた。TeV-GeV の反相関は、非等方な逆コンプトン散乱過程と同じく非等方な光子対消滅によることがわかった。また、X 線の変動は逆コンプトン散乱の冷却時間の軌道位相依存性からくる電子の粒子数変動のよることがわかった。

[1] Yamaguchi, M. S. & Takahara, F., 2010, ApJ, 717, 85

宇線  
16c

### TA 実験におけるハイブリッドトリガーシステムの開発

石森 理愛 (東京工業大学 M2)  
ポスター発表 (口頭なし)

Telescope Array 実験では大気蛍光望遠鏡 (FD : 3 ステーション) と地表検出器 (SD : 507 台) を用いて高エネルギー宇宙線の観測を行っている。各観測装置はそれぞれのトリガー判定をもっており、FD は約  $10^{18}$  eV 以上、SD は約  $10^{18.7}$  eV 以上のエネルギー領域で、空気シャワーのデータを記録する (これをトリガーと呼ぶ)。FD では SD よりも低エネルギーの宇宙線をトリガーすることができるが、そのようなエネルギー領域の宇宙線はシグナルが小さくシャワー軸の再構成が難しい。このような場合に、現在のトリガー条件では捨ててしまわれているような SD 1 台のデータを、FD のデータに合わせて用いれば再構成の精度が上がるが示されている。そこで本研究では FD でトリガー命令がでたときに SD 側に強制トリガーをかけるハイブリッドトリガーシステム

の開発を行っている。

宇線  
17c

### 冷たいダークマター

山本 隆三 (立教大学 M1)  
ポスター発表 (口頭なし)

ダークマターの構成物質はバリオン物質ではないと言われている。ダークマターは見る事ができない、電氣的に中性である、バリオン物質と相互作用しないという理由で、何で構成されているのかが全く不明である。だが二重銀河 1E0657-558 の研究により、バリオン物質と相互作用しないダークマターが確実に存在し、しかもその構成物質は冷たいものである可能性が高いという結論に達した。粒子と反粒子は衝突すると対消滅をするが、低温では対生成はほとんどせず、対消滅のみをするようになる。衝突をしすぎ、もうこれ以上粒子密度が減らないといったような状況にある粒子を L 粒子と呼ぶようにしよう。この L 粒子の理論的な研究により、L 粒子の正体は何であるかという疑問を探究してみようと思う。

L 粒子はニュートリノであるか、グラビティーノであるか、それともアクシオンであるか、...。ダークマターを構成する物質の正体を理論的に考え、何が一番可能性として高いのかを見ていきたい。

[1] Weinberg, S., "Cosmology"

[2] 佐々木節, 「一般相対論」

宇線  
18c

### 若い TeV パルサー星雲のスペクトル進化

田中 周太 (大阪大学 D2)  
ポスター発表 (口頭なし)

パルサー星雲は銀河系内に数十個存在する数光年程度に広がった天体である。‘かに星雲’に代表されるパルサー星雲のスペクトルは、非熱的分布をした相対論的電子陽電子からのシンクロトロン放射 (電波-X 線) + 逆コンプトン散乱 (ガンマ線) によって説明される。パルサー星雲は、個々のパルサー星雲に付随するパルサーから、相対論的電子陽電子 + 磁場という形でエネルギーを供給されて光っている。本研究では、近年急速に発展してきている高エネルギーガンマ線観測の結果を用いて、パルサー星雲の物理的機構について調べる。これまでの我々の研究で、最も典型的なパルサー星雲とされる ‘かに星雲’ の観測スペクトルを再現する ‘パルサー星雲のスペクトル進化モデル’ を構築した (Tanaka & Takahara 2010)。

個々のパルサー星雲の観測スペクトルは、非熱的放射で説明できるという共通点を持つ一方で、いくつかの相違点が見られる。このようなスペクトルの違いは、パルサー星雲の大きさ、年齢、中心パルサーの性質 (回転や磁場のエネルギー) を反映していると考えられる。我々は構築した ‘パルサー星雲のスペクトル進化モデル’ を用いて若い TeV パルサー星雲に注目して、個々のパルサー星雲の持つ個性について調べた。

[1] Tanaka, S. J. & Takahara, F., 2010, ApJ, 715, 1248

## Observation of Solar Neutrons by The Very Sensitive Cosmic Ray Detector

Lopez Diego (名古屋大学 M1)

ポスター発表(口頭なし)

To complete the data acquisition system of a new project: Super Solar Neutron Telescope. STELab is preparing a new type of solar neutron telescope with 10 times more sensitivity than the current one. Some large solar flares are expected to occur during solar cycle 24 while we are preparing for the new detector. This new detector will be set up at Mount Sierra Negra in Mexico at 4600 m a.s.l. The combination of its geomagnetic cut-off rigidity and high altitude permit us to detect and investigate solar flare particles, in particular neutrons. The number of solar neutrons detected so far is about 10, so we expect to learn more about the mechanism of particle acceleration.

[1] Sako, T., et. al., 2003, 28th Inter. Cosmic Ray Conference. (Tsukuba, Japan), 6, 3437

[2] Watanabe, K., et. al., 2007, Advances in Space Research, 39, 1462

[3] Matsubara, Y., et. al., 2007, 30th International Cosmic Ray Conference. (Merida, Mexico). Vol.1, 33-36

.....

コンパクトオブジェクト分科会

## GPGPUによる流体シミュレーションの高速化

コン  
01a

山本 瑠祐 (千葉大学 M2)  
8月2日 14:00 A会場

宇宙流体のシミュレーションは、大きなものはスーパーコンピュータで行われているが、比較的小さなものに関しては、主にPCのCPUで行われている。スーパーコンピュータは非常に高速に計算ができる一方で、コストの問題から気軽に試せないという欠点がある。一方、PCのCPUは気軽に試せるが、根本的に性能が低く、大規模な計算は時間が掛かる。そこで、第3の手法として、最近注目を集めているGPGPUを使う手法がある。GPGPUとは、本来グラフィック処理に使うGPUを、一般的な用途で使うことの総称である。プロセッサには、ポラックの法則と呼ばれる、プロセッサの性能がコアの平方根に比例する、という経験則がある。並列化が可能であれば、コアの数を増やせば増やすほど有利となる。CPUが並列化が不可能なプログラムを考慮して、比較的大きなコアを少数搭載するのに対し、GPUは並列処理を前提とした小型のコアを大量に搭載しているのが特徴である。流体シミュレーションは並列化が極めて容易なので、GPUの方が理論上速度を出しやすい。また、GPUはCPUと同じく汎用品なので、かなり安価である。

本研究では、GPGPUを用いた流体シミュレーションの性能テストを実施した。GPGPUを行うために、そのGPGPUのための言語であるCUDAを用いて、簡単な流体シミュレーションのコードを書き、実行した。結果、格子点が $1024 \times 1024$ の2次元流体の1024ステップの計算が約2秒、 $128 \times 128 \times 128$ の3次元流体の1024ステップが15秒程度で計算できた。実効性能ではスーパーコンピュータSX9の1CPUを越える。GPGPUを用いることで、比較的小規模な流体のシミュレーションを、CPUに比べてかなり高速に行うことが可能であることが分かった。現在磁気流体に拡張中である。

[1] 青木尊之, 額田彰, 2009, 「はじめてのCUDAプログラミング」(工学社) 12章

[2] 花輪知幸, 他, 2007, 「現代の天文学シリーズ14 シミュレーション天文学」(日本評論社), 3章

## MHD Riemann problemにおけるcompound waveの研究

コン  
02a

高橋 和也 (早稲田大学 M1)  
8月2日 14:15 A会場

宇宙には超新星残骸やブラックホール降着円盤など、物質が高温プラズマ状態になっているところが多く存在する。プラズマは宇宙に普遍的に存在する電磁場の影響を受けて、複雑な現象を引き起こす。電磁場中でのプラズマの運動を論じるのがMHD(Magnetohydrodynamics)である。MHD方程式は様々な研究で利用されているが、数学的な未解決問題を含んでいる。その1つにMHD Riemann problemにおけるcompound waveの存在がある。Riemann problemとは、圧縮性流体に不連続面を与えて、その時間発展を論ずる問題である。不連続面からは、各々の状態をつなぐ衝撃波、接触不連続面、希薄波などが現れる。compound waveとは、M.Brio & C.C.Wu(1988)による1次元理想MHDの数値計算により存在が確認された、希薄波と接した不連

続面のことをいう。しかし、P.D.Lax(1957)によると、Riemann problemはcompound wave無しで解を構成できる。これは一見矛盾である。だが、これを説明する可能性として、Laxの理論は正しく、Brio & Wuが数値計算で与えた初期条件がLaxの理論の適用範囲外だということがある。

本研究ではLaxによる双曲型保存系の一般論を概観し、compound waveの現れる初期条件がLaxの理論の適用範囲かどうかを検証した。Laxの理論が成立するには、初期に与える左右の状態の不連続量が小さい、保存系方程式の係数行列の固有ベクターが線形独立である、という2つの条件がある。本研究では後者の条件、理想MHD方程式系における固有ベクターの線形独立性を検証した。結果、必要条件のうちの1つは満たしているという結論を得た。

[1] Jeffrey, A. & Taniuti, T., 1964, "NON-LINEAR WAVE PROPAGATION" (NEWYORK: ACADEMIC PRESS INC.), ch.1-6

[2] Lax, P. D., 1957, COMMUNICATION ON PURE AND APPLIED MATHEMATICS, VOL.X, 537-566

[3] Brio, M. & Wu, C. C., 1988, JOURNAL OF COMPUTATIONAL PHYSICS, 75, 400

## 無衝突衝撃波のシミュレーションから示唆される乱流磁場によるJitter放射

コン  
03a

山越 陽介 (東京工業大学 M1)  
8月2日 14:30 A会場

相対論的な電子は一樣磁場中で螺旋運動をして、その際にシンクロトロン放射を放出することが知られている。この放射の放射スペクトルは電子のエネルギーと磁場の大きさに依存する。シンクロトロン放射によってその放射スペクトルの一部が説明される天体現象としてパルサー、活動銀河核、ガンマ線バースト、超新星爆発などがある。しかし、ガンマ線バーストなどの天体現象ではWeibel不安定性により小さいスケールで変化する非一樣な乱れた磁場が生じる。この不安定性は、プラズマ中の荷電粒子の速度分布に非等方向性がある場合、磁場の揺らぎにより荷電粒子の軌道が曲げられ、それにより生じた電流が磁場の揺らぎを増幅することによって成長する。

このような乱流磁場の中では、磁場のスケールに比べLarmor半径が大きくなり、電子は螺旋運動をせず、jitter放射と呼ばれる放射をする。このjitter放射の放射スペクトルは磁場の統計的性質によって決まる。最近では、先のシンクロトロン放射よりこのjitter放射の方がいくつかの天体の放射スペクトルをうまく説明出来るのではないかと期待されている。このプラズマの温度非等方向性を生み出す環境として、無衝突衝撃波が考えられている。希薄で高温なプラズマ中では電子や陽子などの間のクーロン衝突は非常にまれで、代わりにプラズマ振動などに代表されるような集団的な現象が重要となる。このような無衝突プラズマが音速を超える速度で障害物とぶつくとそこに衝撃波が形成され、これを無衝突衝撃波と呼ぶ。これは粒子を相対論的速度まで加速する現場でもあるので、さかんにシミュレーションが行われている。本発表では、まずjitter放射の放射機構についてまとめ、次にその機構を無衝突衝撃波のシミュレーション結果の解釈に適用した例について紹介する。

- [1] Medvedev, M. V., 2000, ApJ, 540, 704  
 [2] Sironi, L. & Spitkovsky, A., 2009, ApJ, 707, L92

コン  
04b

### 相対論的磁気リコネクション

加藤 祐悟 (広島大学 M2)  
 8月2日 14:45 A会場

磁気リコネクションは磁場が不安定な配置に磁場のエネルギー散逸されプラズマの加熱や粒子加速を引き起こす機構である。非相対論的な場合には Petschek らにより Fast reconnection モデルが提案された。これは太陽のフレア現象やコロナの加熱の機構を説明することができる。SGR や AXP のような強磁場中性子星であるマグネター候補天体の巨大なフレアが観測されている。特にマグネター磁気圏では磁場エネルギーがプラズマ粒子の静止質量エネルギーよりも大きくなる。そのため散逸されたエネルギーで加速される粒子速度、電磁場を伝えるアルベン波速度は光速に近づく。また非相対論的な磁気リコネクションの場合には無視できた変位電流が影響を及ぼすようになる。非線形の段階まで考慮するとプラズマの圧縮が問題になる。今回の発表では相対論的な磁気リコネクションを紹介する。

コン  
05b

### 磁場や定常的な流れを伴った系の数値的解析

藤澤 幸太郎 (東京大学 M2)  
 8月2日 14:48 A会場

コンパクトオブジェクトを考える時に、重力と磁場は欠かすことができない大切な要素である。もっと複雑に考えれば他にも様々な要素が考えられるが、まずは磁場と重力のみのシンプルな状況を丁寧に解析することは大切である。そこで、磁場と重力に焦点を当てて、磁場や定常的な流れを伴った系の定常状態を計算する計算方法を開発した。この計算方法を用いることで、ポロイダル磁場とトロイダル磁場、両方の磁場を伴い、子午面内に流れを伴ったような中性子星や白色矮星の定常的な構造を求めることができる。また、ニュートン重力の範囲内ではあるが、大質量星の重力崩壊後や、連星中性子星の合体後に形成されると考えられている、ブラックホールとトーラスの系なども計算可能である。さらに、星とそこから定常的な流れの解、定常的な太陽風などといった現象を解析することもできる。本講演では、まず定式化や計算方法に関して簡単に説明を行う。次に、具体的ないくつかの系の解析結果を示し、議論を進めていく。

- [1] Tomimuea, Y. & Eriguchi, Y., 2005, MNRAS, 359, 1117  
 [2] Otani, J., Takahashi, R. & Eriguchi, Y., 2009, MNRAS, 396, 2152  
 [3] Sakurai, T., 1985, A&A, 152, 121

コン  
06b

### The Interaction of Supernovae with Circumstellar Matters: UV-Bright Type IIP Supernovae

守屋 堯 (東京大学 M2)  
 8月2日 14:51 A会場

Some red supergiants (RSGs) are suggested to have

very high mass-loss rates due to the dynamical instabilities caused by the partial ionizations of hydrogen (Yoon & Cantiello 2010). The mass-loss rates caused by this instability can potentially make the mass-loss rates of RSGs as high as  $10^{-2} M_{\odot} \text{yr}^{-1}$ . Due to this mass-loss, a SN can occur in a very dense circumstellar matter (CSM) and the ejecta of the SN would collide to the dense CSM. Because of this collision, the kinetic energy of the ejecta is converted to the thermal energy and, eventually, radiation energy. Thus, such SNe would be very bright during the epochs when the ejecta is interacting with the dense CSM.

By performing one dimensional multi-color radiation hydrodynamical calculations, we investigate the effects of the collision to the dense CSM on LCs of SNe and how dense the CSM should be in order to affect the LC. We also compare our models with the UV-bright Type IIP SN 2009kf discovered by PAN-STARRS 1 and observed by GALEX (Botticella et al. 2010).

コン  
07b

### 重力崩壊コアにおける原子核存在比を含む状態方程式

古澤 峻 (早稲田大学 M2)  
 8月2日 14:54 A会場

重力崩壊中のコアなどで使えるような、高密度に対応したNSE-EOSを作成した。太陽質量の約8倍を超える恒星は、核燃焼を終えると自己の重力を支えきれなくなり重力崩壊を起こす。その後は、超新星爆発を起こし中性子星になるか、そのまま潰れてブラックホールになる。その重力崩壊中のコアには、様々な原子核が存在し、最終的には一様核物質になる。ニュートリノと原子核の干渉散乱や原子核による電子捕獲は、原子核の種類によって異なるため、どの原子核がどれだけ存在するかを、正確に出す必要がある。しかし、先行研究の状態方程式 (Shen, Lattimer など) において仮定された原子核は、平均的な質量数を持つ原子核1つのみである。

そこで今回は、原子核存在比を含むような高密度高温EOSを作成した。NSE (核統計平衡) を仮定し、自由核子や、質量公式の一部に、RMF (相対論的平均場) 計算を上手く組み込み、低密度では理想気体、高密度 (核密度) では、RMF-EOS (Shen EOS) に近づくような、モデル化した。

コン  
08c

### 超新星爆発で生じる核ガンマ線スペクトルに関する理論的研究

齋藤 香莉 (埼玉大学 M1)  
 ポスター発表 (口頭なし)

超新星爆発において、放射性元素である  $^{56}\text{Ni}$ 、 $^{56}\text{Ni}$ 、 $^{44}\text{Ti}$  が大量に生成される。これらは崩壊に対し不安定な為、ガンマ線を出しながら安定な核種まで崩壊する。このガンマ線のスペクトルから、超新星爆発の幾何学的な構造 (球対称性など) や、超新星爆発で作られた元素の分布等のモデルを議論することが出来る。現在までに行われているこのような先行研究をまとめ、さらに今後行う原子核崩壊の物理をよりよく組み込んだ計算コードについて講演する。

光度曲線計算から迫る極めて明るい  
Ia型超新星

コン  
09c

神谷 保臣 (東京大学 D1)  
ポスター発表 (口頭なし)

近接連星系中の炭素・酸素白色矮星は、伴星からの質量降着によって質量を増し、チャンドラセカール限界質量 ( $\sim 1.4M_{\odot}$ ) に非常に近付くと核爆発を起こす。これが Ia 型超新星の起源であり、従って Ia 型超新星はどれも同じような性質を示すと考えられている。今までに数多くの Ia 型超新星が観測されているが、その中で極めて明るいものが 4 例 (SN 2003fg, SN 2006gz, SN 2007if, SN 2009dc) 報告されている。これらについては、明るさから推定される光源 ( $^{56}\text{Ni}$ ) の量が理論予測よりも多く、上述のシナリオでは説明がつかないため、親星がチャンドラセカール限界質量よりも重いとする説が唱えられている。しかし、そのような白色矮星の性質や核爆発の様子等はまだまだよく分かっていないのが現状である。そこで本研究では、親星の性質に迫るべく、チャンドラセカール限界質量よりも重い親星を仮定し、その質量や元素組成の異なるモデルを作り、一次元多波長の輻射輸送計算によって得られた光度曲線と観測とを比較した。本ポスターではその結果を報告する。

超新星出現前後の撮像画像の重ね合わせによる親星探索

コン  
10c

佐藤 匡史 (九州大学 M1)  
ポスター発表 (口頭なし)

超新星爆発のメカニズムは完全には解明されていないため、爆発前の親星の検出は超新星になる前の星の情報を直接得るための重要な手段である。その検出法として、超新星の爆発前後の画像を重ね合わせ、爆発前の画像から親星を発見する、という手法が挙げられる。近年は望遠鏡の大型化、高性能化に伴い、精度の高い撮像画像が得られるようになってきている。また世界各地の天文台が保存、公開しているアーカイブデータへのアクセスも Web を通じて短時間で行うことができる。さらに、膨大な量のアーカイブデータへのアクセスを容易にするバーチャル天文台 (VO) の開発が進められており、超新星の親星探索のための環境が整いつつある (例えば日本では Japanese Virtual Observatory (JVO) が稼働している)。

本研究の具体的な研究手法は、まず日々新たに発見される超新星のうち、我々までの距離が近いものにターゲットを絞る。この際、星の位置を正確に測定するために大型望遠鏡による爆発前の精密なアーカイブ画像が得られるものを選ぶ必要がある。次に画像解析ソフト IRAF (Image Reduction and Analysis Facility) を用いて超新星爆発前後の画像に共通して写る星の座標を特定し、重ね合わせを実行する。ここで爆発後の画像、つまり超新星の写る画像に変換の処理を施すことで親星についての観測情報を保つ必要がある。そして爆発前のアーカイブ画像上での超新星の位置に親星が写っていないか探索する。親星が特定されれば、見かけの明るさや色が分かり、距離などと組み合わせることで親星の質量等を推定することができる。また、親星が検出限界以下であっても、質量等の上限が得られる。これらにより超新星についての理解を深めることができる。今回は 2009

年 11 月 6 日 (UT) に板垣公一氏によって発見された超新星 2009kr についての解析結果を報告する。

全天 X 線観測装置 MAXI による超  
新星爆発の検出率の見積もり

コン  
11c

島ノ江 純 (九州大学 M1)  
ポスター発表 (口頭なし)

2008 年 1 月 9 日、NASA のガンマ線観測衛星 Swift が、偶然に超新星爆発の瞬間をとらえた。このとき同時に X 線アウトバースト (XRO 080109) も確認された。このように爆発の瞬間を観測したという例はこれまでに無く、未だに謎の多い超新星爆発のメカニズムの理解につながるのではないかと考えられている。しかし X 線アウトバーストの e-folding time は数百秒程度であり、上述の例のように検出することはかなり難しい。

そこで本研究では、このような突発現象を検出する手段のひとつとして、国際宇宙ステーション (ISS) に搭載されている、全天 X 線観測装置「MAXI」に着目した。MAXI は 2009 年 8 月に運用が開始され、ISS と共に約 90 分ごとに地球を一周しながら、視野の広い X 線カメラで常に宇宙を見張っている。XRO 080109 に関する論文のデータを参考にいくつかの仮定をし、MAXI のカメラの性能や視野なども考慮することによって、具体的に年間にどれくらいの数の超新星を発見できるのだろうかということについて考察した。その結果、年間に十数個の超新星爆発を発見できると見積もった。これまでは難しいとされてきた早期発見が、このように MAXI によって大幅に改善され、超新星爆発のメカニズムの理解につながると期待できる。また本研究をさらに詳しく深めていくことで、より信頼性を深めたい。

ブラックホール・中性子星連星合体か  
らの重力波と状態方程式による影響

コン  
12b

久徳 浩太郎 (京都大学 D2)  
8 月 2 日 16:30 A 会場

中性子星やブラックホールからなるコンパクトオブジェクト連星は重力波を放出して合体すると予想されている。重力波の振幅やイベントレートの観点から、このような天体は AdLIGO に代表される地上重力波検出器にとって最も有望な重力波源である。特にブラックホール・中性子星連星の合体を考えると、中性子星の潮汐破壊が起こる場合は重力波にその様子が記されていることが期待できるため、潮汐破壊の起こり方を決定する重要な要素である中性子星の半径を知り、さらに核密度以上の物質の状態方程式を知ることができると期待される。これらはどちらも現在の観測や実験からは強い制限がされておらず、重力波天文学に期待される独自の役割といえる。さらにこの連星が合体する際、ブラックホールから離れたところで潮汐破壊が起こると 0.01 太陽質量、10MeV を超えるような重くて熱い降着円盤ができ、ショートガンマ線バーストの母天体になっている可能性がある。我々を含め過去にいくつかのグループが数値相対論によってブラックホール・中性子星連星の合体を調べたが、状態方程式について詳細に調べたものはなかった。本研究では piecewise polytrope 状態方程式という系統的な状態方程式のモデル化により、この連星からの重力波や合体後の降着円盤の様子が高密度物質の状態方程式に依存してどう変わるかを調べた。その結果、合体

の最終段階で急激に振幅が小さくなる重力波のカットオフ振動数が中性子星のコンパクトネスと呼ばれる量、質量/半径に極めて強く相関していることがわかり、重力波天文学によって中性子星の半径や高密度物質の状態方程式を調べることができることが定量的に明らかになった。さらに降着円盤の質量もコンパクトネスに強く相関することがわかった。

[1] Kyutoku, K., Shibata, M. & Taniguchi, K., 2010, PRD, submitted

コン  
13b

### 爆発、元素合成のシミュレーションにむけて

釋 宏介 (東京大学 M1)  
8月2日 16:33 A会場

超新星爆発や GRB の生成メカニズムについては、未だ確定的にわかってはいない。特に GRB の jet のメカニズムを、相対論的磁気流体シミュレーションを使い明らかにしていきたい。またシミュレーションした状況下でどのような核種が合成されるかと観測を照らし合わせることで、爆発メカニズムに制限を付けることが可能と思われる。これらについて、今後の研究の展望を話したい。

コン  
14b

### 連星中性子星合体によるガンマ線バースト

仏坂 健太 (京都大学 M2)  
8月2日 16:36 A会場

連星中性子星合体は、ショートガンマ線バーストの中心エンジンの有力な候補の1つである。このシナリオは、連星中性子星が合体した結果、ブラックホールと降着円盤が形成され、そこから発生する強い放射がガンマ線バーストを起こすというものである。これは非常に強い重力場での現象であるので、このシナリオを検証するためには一般相対論を解くことが要求される。近年、一般相対論を数値的に解く方法が開発された。これによって連星中性子星合体の際に、合体の際に放出される重力波波形から、形成されるブラックホールと降着円盤の質量を読み取れるかどうかなどが精力的に研究されている。[1]

しかし、現在までの研究では中性子星の状態方程式を理想化したシミュレーションしか行われていない。そこで我々は、原子核物理から予言される状態方程式を用いて連星中性子星の合体のシミュレーションを行った。今回の講演ではその結果を紹介する。

[1] Kiuchi, K., Sekiguchi, Y., Shibata, M. & Taniguchi, K., 2009, PRL, 104, 141101

コン  
15b

### 「すざく」衛星搭載 WAM 検出器による GRB090709A の周期解析

岩切 渉 (埼玉大学 D1)  
8月2日 16:39 A会場

GRB090709A は 2009 年 7 月 9 日 (UT) に発生した「ガンマ線バースト (GRB)」である。この「GRB」は「すざく」衛星搭載の広帯域全天モニター WAM (Wideband All-sky Monitor) による 50 keV - 5 MeV の広帯域

での観測をはじめ、複数の衛星で観測されている。この「GRB」の継続時間は約 81 秒 (T90) で、WAM/Suzaku、BAT/Swift、Konus/Wind、SPI-ACS/INTEGRAL によって、軟ガンマ線リピーターと同様のタイムスケールである約 8 秒の周期的な変動の兆候が報告された。しかし、この周期性は Swift/BAT による解析結果では有意な検出には至っておらず、さらに典型的な「GRB」の残光が観測されている。そこで我々は、より詳細にこの周期性を評価すべく、WAM/Suzaku、BAT/Swift、Konus/Wind3 つの独立な検出器のデータを用いて周期解析を行い、周波数空間でバックグラウンドとなるカラーノイズをシミュレーションによって発生させ実データとの比較を行い周期の有意性の検証を行った。本ポスターではこれらの結果について報告する。

[1] de Luca, A., et al., 2010, MNRAS, 402, 1870  
[2] Cenko, S. B., et al., 2009, arXiv:0911.3150

コン  
16c

### ガンマ線バーストの金属量依存性と母銀河の光度分布

新納 悠 (京都大学 D3)  
ポスター発表 (口頭なし)

継続時間の長いガンマ線バースト (long GRB) の少なくとも一部は大質量星の重力崩壊によって引き起こされると考えられている。しかし、long GRB の発生頻度は一般的な重力崩壊型超新星 (CC SN) の発生頻度にくらべて遥かに少なく、どのような条件の下で大質量星の重力崩壊が long GRB を引き起こすのかはよく分かっていない。

恒星進化の理論モデルは long GRB の発生には起源となる星の金属量が少ないことが必要であると示唆している。また long GRB 母銀河の観測においても、long GRB 母銀河は同程度の赤方偏移の CC SN 母銀河より UV 光度が統計的に暗いことや、long GRB 母銀河には Ly 輝線の強い銀河が多いことが知られており、long GRB が低金属量の領域で発生しやすいとする理論予想と定性的に合致する。しかし、分光観測によって母銀河の金属量が知ることができるのは近傍 ( $z < 0.5$ ) で起きた少数の GRB にかぎられており、銀河の UV 光度や Ly 輝線強度を定量的に金属量と結びつけるのは難しい。

この研究では、宇宙論的流体シミュレーションを用いて赤方偏移  $z \sim 1$  銀河の性質を再現し、金属量ごとの星生成領域がどのような UV 光度の銀河に属しているかを調べる。得られた結果を観測された GRB 母銀河、CC SN 母銀河の光度分布と比較することで、long GRB が発生する金属量の条件について母銀河観測に基づいた定量的な議論を行う。

コン  
17a

### ガンマ線バーストの近接連星系モデル

寺口 智文 (首都大学東京 M1)  
8月2日 16:45 A会場

ガンマ線バーストには継続時間が 2 秒以下の短いバーストと、2 秒以上の長いバーストに分類されておりその中で継続時間が 100 秒以上のものも存在する。ここでバーストの原因がもしニュートリノの消滅によるものとするとなればそれが質量降着率につよく依存しており、この 100 秒を越える継続時間の説明を困難にしている。さら

に近年打ち上げられた SWIFT 衛星の観測結果によると、ガンマ線バースト残光の光度曲線で新しく見つかった特徴としてプラトー部分と X 線フレア部分が見つかり、もしこれが中心エンジンの活動によるものとするとその活動時間は 10000 秒以上であることを示している。一方、もしバーストが磁場駆動によるものであれば質量降着率にあまり依存しないことが示されており、これらのデータからバーストは磁場による機構であることが考えられる。

ここではガンマ線バーストの連星系モデルとして WR 星とコンパクト星を考察し降着円盤の形成や質量降着率、ブラックホールの質量、回転などを調べどのような機構によってバーストが起きるのが望ましいのかを検証する。本発表は V.Barkov S.Komissarov 2010MNRAS.401.1644B のレビューである。

コン  
18a

### MAXI の速報システム 諏訪 文俊 (日本大学 M1) 8 月 2 日 17:00 A 会場

全天 X 線監視装置 MAXI は、昨年の 7 月に国際宇宙ステーションに取り付けられ、観測を開始した。MAXI の重要な目的の一つは、突然 X 線強度が増す突発天体の発見である。突発天体は、秒のタイムスケールで天体が急激に明るくなる X 線バーストや 線バースト、日のタイムスケールで増光する (アウトバーストを起こす) X 線新星、年のタイムスケールで変動する活動銀河核などがある。MAXI は広い視野で全天を常に監視しているため、全天の短・長期の X 線強度の時間変動を捉えることができる。このように MAXI は、いつ、どこで発生するか分からない突発天体を発見するのに最も優れた X 線観測装置である。観測により得られたデータは、ほぼリアルタイムで筑波宇宙センターにある突発天体発見システム NovaSearch へと送られて解析される。NovaSearch では突発天体の発見に加えて、全天の X 線強度分布のマップや光度曲線の描画も行っているため、その場ですぐに現象の確認をすることもできる。そして天球を約 5 万個に分割した各領域において、閾値以上の大きな強度変動が受けられれば、そのデータは即座に速報システム AlertSystem へと送られる。送られてきたデータは AlertSystem において、隣接した領域のデータを一つの現象としてまとめ、位置の決定やカタログ天体との同定などが行なわれる。その結果、突発天体だと認められたならば、突発天体発見の速報を出すという流れとなっている。本システムを用いて、見つけられた X 線新星や 線バーストなどについて、2010 年 5 月までに ATel に 26 件、GCN に 9 件投稿している。今回の発表では、MAXI 速報システムについての概要と、速報システムに新たに付加する、現在、開発中の太陽パドルの遮蔽判定などについて発表する。

コン  
19a

### 全天 X 線監視装置 MAXI による X 線連星パルサー 1A 0535+262 の 観測 五月女 哲哉 (芝浦工業大学 M1) 8 月 2 日 17:15 A 会場

全天 X 線監視装置 MAXI は、国際宇宙ステーション (ISS) 日本実験棟 船外プラットフォームに搭載された全天モニタで、2009 年 8 月に観測を開始した。理研が開

発したガススリットカメラ (GSC) は MAXI の主検出器であり、2-30keV のエネルギー帯域に感度を持つ比例計数管である。GSC はスリットと比例計数管の一次元位置検出能力により、視野内の天体の位置を決めることができる。視野は板状コリメータにより  $1.5^\circ \times 160^\circ$  に限られていて、その細長い視野を ISS の軌道運動により約 92 分で 1 周走査することで、X 線の強度変動を連続的に監視する。

MAXI により観測されたトランジェント天体の一つに Be 型 X 線連星パルサーがある。これは Be 型巨星と中性子星パルサーの連星系であり、パルサーは周期 30 日から 300 日程度の長楕円軌道を描いており、Be 型主星を取り巻く星周ガス円盤を横切の際に非常に明るいアウトバーストを示すという特徴がある。MAXI はこれまでに幾つかの Be 型 X 線連星パルサーのアウトバーストのその立ち上がりから、アウトバーストが収束するまでの全てのフェイズをほぼ連続的に捉えることに成功している。

1A 0535+262 はそんな Be 型 X 線連星パルサーの一つであり、パルス周期は 103.4 秒、軌道周期は 111 日である。1A 0535+262 からは過去 1987 年 10 月、2005 年 5 月に 1Crab を超える大フレアが観測されている。MAXI/GSC では 2009 年 12 月に最大で 1.6Crab ものアウトバーストを観測した。興味深い事に、MAXI/GSC ではこのアウトバーストの直前にプリフレアを 2 回観測した。このプリフレアは今回初めて精度よく観測されたものであり、どういう現象であるかは解明されていない。本講演ではこの 1A 0535+262 の解析結果について報告する。

コン  
20a

### MAXI を中心とした Be/X-ray Binary, LS V +44 17 の観測 薄井 竜一 (東京工業大学 M2) 8 月 2 日 17:30 A 会場

Be/X-ray Binary はその増光の機構が謎に包まれた X 線連星系である。これは Be 星 (輝線を示す B 型星) と長楕円軌道を持つ中性子星の連星系であり、周期的な比較的弱い増光と突発的な明るい増光を起こす。前者は Be 星の星周円盤を中性子星が横切るときに起こると考えられているが未だ結論は出していない。また、突発的増光に関しては発生の時期を含め機構自体が理解されていない。Be/X-ray Binary の物理を探る上で全天に及ぶ X 線での長期間監視は周期的増光の観測と突発的増光の早期検出の面で重要である。

昨年より観測を開始した全天 X 線監視装置 MAXI (Monitor of All-sky X-ray Image) は従来の全天観測装置に比べよりよい感度を持ち (2 mCrab/week), すでに Be/X-ray Binary を含む多くの X 線天体の長期間観測と突発現象の検出を報告している。本講演ではそのひとつとして LS V +44 17 の突発的増光の検出とその後の X 線観測衛星 Swift や RXTE (Rossi X-ray Timing Explorer) による追観測の結果を紹介する。

LS V +44 17 の増光は 1998 年の発見以来初であり、当時周期的増光や突発的増光を示さない静かな (persistent) Be/X-ray Binary であると思われていたものが今回の観測により覆される形となった。まず、MAXI の観測、大増光とそれ以前の小規模な増光や周期変動、を紹介し、LS V +44 17 の軌道要素の推定を行う。さらに、エネルギースペクトルの解析を増光の強度 (時期) 別に行うことで増光と星周円盤との関連につい

ての考察も紹介する。また、他の Be/X-ray Binary の観測例との比較により、今回の観測の特異性や類似性についての議論も行う。

[1] Reig, P. & Roche, P., 1999, MNRAS, 306, 100

## 「すざく」による Supergiant Fast X-ray Transient の観測

コン  
21a

笹野 理 (東京大学 M1)

8月2日 17:45 A 会場

強磁場の中性子星と、O、B 型の大質量星から成る連星系は、HMXB(High Mass X-ray Binary) と呼ばれ、星風捕獲により X 線が放射される。HMXB では一般に、X 線の強度変動が激しいが、21 世紀に入ると INTEGRAL 衛星により、数十分で 5 倍に達するような、非常に速い時間変動を頻発するものが発見され、SFXT(Supergiant Fast X-ray Transient) と呼ばれるようになった。現在 20 個以上の SFXT が知られており、うち数個は、以前からカタログされていた X 線源である。SFXT の軌道周期は数十日で、5 例で X 線の周期的パルスが発見されている。パルス周期が数百～数千秒と長いことから、SFXT の中性子星は、通常の X 線パルサー ( $\sim 10^{12}$  G) より強い磁場をもつと考えられる。X 線のピーク光度は、中性子星の Eddington 限界の数 % 程度まで達する。SFXT の最大の謎は、X 線の速い変動である。通常これは、主星からの星風の大きな密度ムラに中性子星が入るとフレアが起きるとされるが、そのような大きな密度ムラの存在の直接的証拠は必ずしも無い。他に、これらの中性子星は  $10^{13}$  G に達する強い磁場をもち、捕獲ガスがその Alfvén 点にある程度まで溜まり、一挙に中性子星に落ちるという考えも提案されている。

「すざく」衛星は今まで、7 天体の SFXT を観測した。「すざく」は INTEGRAL より高い感度を硬 X 線帯域でもつため速い時間変動を追うことができ、10 keV 以下のデータも同時に得られるので、SFXT の観測に好適である。今回は「すざく」による SFXT の公開データから、最も X 線で明るい IGRJ16195-4945 を選んで解析に着手した。X 線 CCD カメラと硬 X 線検出器から、1～40 keV の範囲で信号が検出でき、顕著なフレア(継続時間～200 分で 5 倍)も検出されている。

[1] Morris, D. C., et al., 2009, ApJ, 699, 892

## 「すざく」による low-mass x-ray binary Aql X-1 のソフト/ハード状態の検証

コン  
22a

桜井 壮希 (東京大学 M1)

8月2日 18:00 A 会場

Low-Mass X-ray Binary(LMXB) とは、磁場の弱い中性子星と、低質量星 ( $< 1M_{\odot}$ ) からなる近接連星系で、後者はロッシュローブを満たし、中性子星に質量が降着することで X 線が放射される。1980 年代から X 線の領域で長らく調べられており、X 線は顕著なパルスを示さないため、中性子星の磁場は、 $< 10^9$  G と考えられている。

LMXB はブラックホール連星 (BHB) と同じように降着円盤をもち、そこを流れるガスの重力エネルギーは、円盤および中性子星の表面付近で、X 線に変換されると考えられる。BHB と同様に LMXB も、質量降着

率が高いときはソフト状態、低くなるとハード状態という、2 つの状態をとる。ソフト状態のスペクトルは、円盤からの多温度黒体放射と、中性子星表面からの黒体放射との和でよく説明できる。一方ハード状態になると、軟 X 線 ( $\leq 10$  keV) バンドではソフト状態の時より暗くなり、硬 X 線 ( $\geq 20$  keV) では逆に明るくなる。ハード状態の放射は、円盤や表面からの放射が、高温の「コロナ」で熱的コンプトン散乱を受けた結果と想像されるが、コロナの形状や位置はよくわかっていない。

過去の研究において、LMXB のソフト/ハード状態については、観測装置の制約により 20 keV 以下の領域のみで検証されてきた。近年「すざく」などの登場により、100 keV に達する硬 X 線領域で、LMXB の研究が可能になった。「すざく」では、これまで約 20 例の LMXB が観測されているが、そのデータ解析はまだ始まったばかりである。今回はその中で、Aql X-1 という天体に焦点を当てた。Aql X-1 は再帰型トランジェント天体で降着率の変化が大きく、「すざく」により 7 回もの観測があるため、本研究に最適である。本研究では公開データを用い、1-100 keV の広帯域でハード状態のスペクトルを定量化したい。

[1] Takahashi, H. & Makishima, K., 2005, Proceedings of the The X-ray Universe 2005 (ESA SP-604). Editor: A. Wilson, 309

## 高銀緯フェルミ未同定ガンマ線源の X 線探査

コン  
23a

前田 洸登 (早稲田大学 M1)

8月2日 18:15 A 会場

2008 年より、フェルミ衛星の 20MeV から 300GeV を越える全天観測で 1451 天体が 4 以上で検出された。先代のコンプトンガンマ線観測衛星 EGRET 検出器では位置不定性が大きく 273 天体中 170 天体に対応が決まらなかったが、フェルミ衛星では 70% の天体にガンマ線対応天体が見つかった。一方、ガンマ線で十分明るい他波長で対応が無い未同定天体の存在が明らかになった。今回 4 つの高銀緯フェルミ未同定ガンマ線天体について、フェルミ衛星一年カタログ (1FGL) の位置誤差領域を X 線衛星「すざく」でフォローアップ観測した。高銀緯の未同定天体はブレイザーという特殊な活動銀河核 (AGN) の可能性が高いが、4 天体は AGN の特徴である激しい光度変動を示さない。また、電波や可視光フラックスの上限値はガンマ線の数桁以下と暗く、ガンマ線で明るい天体である。

我々は 1FGL 1231.1-1410 の領域に X 線点源を発見し、スペクトルが黒体放射とガンマ線と繋がる非熱的成分で説明でき、X 線点源の位置に電波観測で新たに発見されたミリ秒パルサー PSR J1231-14 と同定した。1FGL 1311.7-3429 の領域には二つの X 線源を発見し、一方は約 10ksec の時間スケールの X 線フレアを観測したが、もう一方は定常的だった。片方の X 線変動から AGN が疑われるが、その多波長スペクトルは典型的なブレイザーとは異なっていた。1FGL J1333.2+5056 の領域には、複数の X 線天体が見つかったが、1FGL カタログの位置不定性が大きく同定できなかった。1FGL J2017.3+0603 はガンマ線でミリ秒パルサーが発見されていたが、今回発見した X 線点源は CLASS J2017+0603 (AGN) の位置にあり、パルサーの X 線対応天体は見つからなかった。本講演ではすざく衛星の解析を軸に多波長スペクトルまで含めて議論する。

.....

## パルサー磁気圏の放射領域拡張に対する光度曲線の統計的研究

コン  
24c

木坂 将大 (広島大学 D2)  
ポスター発表 (口頭なし)

パルサーとは、強い磁場を持ち高速で自転する中性子星である。この中で回転駆動型パルサーは周期が時間とともに増加しており、この回転エネルギーを動力源として放射や粒子加速を行うと考えられているが、その詳細な過程についてはよくわかっていない。

近年、フェルミ衛星によりガンマ線で検出されたパルサーの数が飛躍的に増加した。GeV ガンマ線の検出は、曲率放射だとするとパルサー磁気圏で電子、陽電子がローレンツ因子で $\sim 10^7$ まで加速されていることを意味する。よって、ガンマ線の観測から粒子の加速領域を制限することが可能である。こうした背景のもとで、ガンマ線の光度曲線の振る舞いをを用いた放射領域の制限が行われている。しかし、ガンマ線だけでなく X 線、紫外線などの帯域でもパルスが検出されている天体が存在し、これらは一般にはガンマ線の光度曲線と一致しない。よって、多波長の光度曲線の振る舞いを統一的に理解することはパルサー磁気圏の放射領域をより強く制限できる可能性があることを示唆する。

先行研究として、Takata et al.(2008) は Vela パルサーに対して解析を行った結果、X 線のパルスには中性子星へ向かう方向の放射が寄与し、紫外線帯域では粒子の加速領域の外からの放射が支配的であると主張した。フェルミ衛星により多波長でパルスが観測されている天体が増加した結果、上のような描像の普遍性を検証することが可能である。そこで本研究では、放射領域を拡張してそれぞれの領域からの放射が形成する光度曲線の振る舞いについての系統的な調査を行った。講演では、観測結果との比較についても議論を行う予定である。

[1] Takata, J., Chang, H.-K. & Shibata, S., 2008, MNRAS, 386, 748

[2] Watters, K. P., Romani, R. W., Weltevrede, P. & Johnston, S., 2009, ApJ, 695, 1289

[3] Abdo, A. A., et al., 2010, ApJS, 187, 460

.....

## 重力マイクロレンズ法を用いた MACHOs の探索

コン  
25a

大森 健吾 (名古屋大学 M1)  
8月3日 9:00 A 会場

宇宙にはダークマターと呼ばれる電磁波で観測することができない物質が大半を占め、空に瞬く星のように電磁波で観測できるものはごくわずかしかない。ダークマターの存在は 1933 年スイスの物理学者 Fritz Zwicky によって銀河の回転曲線から見積もられる銀河の質量と、光学的に観測されるものから期待される質量との不一致から初めて提唱された。それから多くの天文学者や宇宙論者によって研究がなされてきたが、その正体は未だよく分かっていない。ダークマター問題へのアプローチは素粒子的な観点からと天体物理学によるものに二分される。ダークマターの天体的な候補として MACHOs(MAssive Compact Halo Objects) と呼ばれる、銀河ハローに存在し電磁波を放射しない、あるいはその電磁波が弱すぎて観測することができない質量を持ったコンパクトな物体がある。褐色矮星や、赤色矮

星、白色矮星、中性子星やブラックホールであると考えられている。この MACHOs は重力マイクロレンズ現象を用いて観測が可能である。重力マイクロレンズ現象とは観測者とソース天体との間に質量を持った物体が横切ることによってソース天体の一時的な増光が見られる現象である。

私の所属する MOA(Microlensing Observations in Astrophysics)Group は、New Zealand にある Mt. John 天文台で重力マイクロレンズ現象を用いた観測を行っている。観測は銀河系内ダークマター候補である MACHOs の探索を目的とした LMC、SMC(Large/Small Magellanic Cloud) 観測、及び系外惑星探索を目的とした銀河系中心方向の観測である。この発表ではこれまでの天体物理学によるダークマターへのアプローチと重力マイクロレンズ現象を用いた MACHOs 探索について話す。

.....

## 合成イメージマップからのブラックホールパラメータの推定

コン  
26c

浦田 麻衣 (鹿児島大学 M2)  
ポスター発表 (口頭なし)

銀河の中心には巨大ブラックホールがあると考えられている。銀河中心のブラックホールはまわりのガスを引き寄せ降着円盤と呼ばれるガス円盤を形成する。降着円盤のガスは中心へと落ちて行くときに、重力エネルギーを解放し明るく輝き、活動銀河核として地球上から観測される。こうした銀河中心の活動性を調べるために、第二世代-超長基線干渉計技術による人工衛星天文台計画 (The second generation VLBI Space Observatory Programme : VSOP-2) が計画されている。地上の観測系と宇宙空間に打ち上げた衛星により一つの大きな電波干渉計を作る。超長基線の高い分解能によって銀河中心に位置するブラックホール周りの降着円盤の電波写真を得る事ができるかも知れない。よって、VSOP-2 により降着円盤はどのような電波写真として捉えられるのか、磁気流体シミュレーションによって作られた降着円盤モデルをもとに、観測ビジビリティをシミュレーションする。それにより VSOP-2 による降着円盤の観測イメージを作成し、パラメータによるモデルの違いがどの程度観測イメージに現れるか検討する。

.....

## クエーサー 3C 380 の大規模ノット構造における VLBI コンパクト領域の磁場強度

コン  
27c

小山 翔子 (東京大学 D1)  
ポスター発表 (口頭なし)

活動銀河核ジェットを中心核からキロパーセクスケールにある大規模なノットやホットスポットは、相対論的速度のジェットと星間物質との相互作用により生成されると考えられるため、衝撃波物理の良い実験場である。しかし、大規模ジェットは視野中心からの離角が大きいため、VLBI による高分解能なイメージングが一般的に難しい。そのため分解されていない成分を使って物理量を議論することが多かった。そこで本研究では、大規模ジェットをミリ秒角スケールまで分解したデータを用いることで、物理状態を議論した。

今回われわれは、中心核から 1 秒角以内であるが投影距離にして約 5 キロパーセクもの大規模な位置にある

ノット K1 をもつクエーサー 3C 380 を研究対象天体として選び、VLBA10 局による 1.6 GHz と 5 GHz のアーカイブデータを解析した。位相中心から離れた成分におけるスメアリングに注意し、チャンネルごとに得られたイメージを帯域全体で足すことで、広視野マッピングに成功した。VLBA 5 GHz によるイメージでは、直径約 35 ミリ秒角 (250 パーセク) の成分 K1 を最高分解能 1 ミリ秒角 (7 パーセク) で分解した。今回 VLBA10 局を用いてイメージングできたノット K1 領域について、(1)VLA で観測されていたイメージと比較するとおよそ 1/6 のコンパクトな領域を検出した。(2) 光学的に薄い。(3)VLA で観測されていた領域よりも約 5 倍大きい等分配磁場が存在することがわかった。

[1] Begelman, M. C., Blandford, R. D. & Rees, M. J., 1984, RvMP, 56, 255

[2] O'Dea, C. P., de Vries, W., Biretta, J. A. & Baum, S. A., 1999, AJ, 117, 1143

[3] Thompson, A. R., Moran, J. M. & Swenson, G. W. Jr., 2001, isra.book, 119-208

### ミリ波観測による銀河系中心 Sgr A\* の短時間変動

コン  
28c

遠藤 渉 (東京大学 M1)  
ポスター発表 (口頭なし)

Sgr A\* は我々の銀河系の力学的中心に位置するコンパクトな電波源であり、大質量ブラックホールの候補であると考えられている。Sgr A\* のセンチ波による研究は 20 年ほど前から行われていたが、ミリ波では良い分解能の観測が行われていなかった。そこで指導教官である坪井昌人先生らが野辺山のミリ波干渉計を用いて 1996 年 ~ 2008 年まで Sgr A\* を 100/150GHz 帯でモニター観測を行った結果、週単位 ~ 時間単位でのフレア現象を発見した。時間変動による観測では内部の詳細な構造までは決定できないが、活動性の観測は重要である。このモニター観測のデータは一部しか解析が終わっていない。私の研究は、このモニター観測のデータをより詳細に解析し、短時間変動が本当にあるのかどうかを検証し、そのフレアを起こしている物体がどのような物理量をもつのか制限を加えようとするものである。

[1] Miyazaki, A., Tsutsumi, T. & Tsuboi, M., 2004, ApJ, 611, L97

### 電波銀河 3C 84 の近赤外線での時間変動

コン  
29b

水野 いづみ (鹿児島大学 M1)  
8 月 3 日 9:15 A 会場

電波銀河 3C 84 の赤外線での観測を行ったところ 9 日間での時間変動を検出した。その結果、3C 84 のフレアのモデルを切り分けることができた。

3C 84 は 線、電波で増光しており、そのフレアモデルとして deceleration flow model と Synchrotron self Compton (SSC model) が考えられている。SSC model はシンクロトロン放射と逆コンプトン効果が同じ領域のプラズマでおこるモデルであり、deceleration flow model はそれぞれが違う領域のプラズマでおこるモデルである。SSC model の場合、観測値を説明する 3C 84 のフレアの系の大きさは 0.3pc であるため、1 年より短

い時間変動はできない。よって 1 年よりも短い時間変動が検出された場合 SSC model が棄却される。そこでわれわれは 3C 84 の時間変動を調べた。

観測は、2008 年 12/10 ~ 2009 年 11/26 にかけて鹿児島大学の 1m 光赤外望遠鏡と近赤外線カメラ (波長: 2.16  $\mu$ m, 周波数 1.39E14Hz) を用いて行った。3C 84 は母銀河 NGC 1275 の中心に存在している。またさらに、NGC 1275 の手前に星が存在している。よって 3C 84 を測光する為に 3 つの天体をモデルにより分離し、測光を行った。モデルには 3C 84 と星は Gaussian function, NGC 1275 は De Vaucouleurs' law を用いた。その結果、9 日間での時間変動を検出した。これはフレアの系の大きさが 0.07pc よりも小さいことを意味する。よって我々の結果は SSC model を棄却し、deceleration flow model を支持する。

[1] Adbo, A. A., et al., 2009, ApJ, 609, 31

[2] Nagai, H., et al., 2010, PASJ, 62, L11

[3] Finke, J. D., et al., 2008, ApJ, 686, 181

### VLBI アストロメトリによる AGN ジェットの内部衝撃波領域 (高エネルギー放射領域) のロケーション測定

コン  
30b

秦 和弘 (総合研究大学院大学 D2)  
8 月 3 日 9:18 A 会場

活動銀河中心核 (AGN) に付随する相対論的ジェットは電波 ~ 線にわたる非熱的放射が観測されることから、高エネルギーに加速された電子が存在することを示唆している。しかしながら、粒子加速の起源とされる衝撃波や、その結果として生じる高エネルギー放射が中心エンジンからどの程度の距離で初めて起こるのか、未だ明らかになっていない。これは衝撃波 (あるいは高エネルギー放射) のロケーション問題と呼ばれ、中心エンジンの位置を観測的に決める方法が確立していないことが最大の原因である。理論的には現在ジェット放射機構の標準シナリオとされる内部衝撃波モデルから、そのロケーションは中心エンジンから  $10^{16-17}$ cm (~ 0.1pc) と見積もられている (Spada et al. 2001)。一方で近年 VLBI、可視光偏波、線を用いたバーストの同時観測から、衝撃波領域は中心エンジンから 10pc 以上離れた場所に存在すると主張する報告も出始めており (Marscher et al. 2008) 状況は混沌としている。

そこで今回我々はロケーション問題を解決する新たなアプローチとして、AGN ジェットのコアシフト現象に着目した。コアシフトとは、シンクロトロン放射の光学的厚みが周波数依存性をもつために、観測周波数に応じてジェットの電波放射位置が中心エンジン方向にシフトする現象である。この現象は通常ミリ秒角スケールで起こるため、VLBI アストロメトリによって初めて観測される。本アプローチ最大のポイントは、測定されるシフト量をもとに (リーズナブルな仮定の下で) 1 ミリ秒角以下の精度で中心エンジンの位置が推定できる点であり、近傍の AGN ジェットであれば 0.01pc 以下の精度に対応する。本ポスターではこの手法を近傍の相対論的ジェット M87 に適用した結果について報告する。

### 3次元 AGN wind の line force に よる加速の仕組みについて

コン  
31b

野村 真理子 (お茶の水女子大学 M2)

8月3日 9:21 A 会場

近年 BAL,NAL と呼ばれる幅の広い吸収線を持つ AGN が観測されている。この吸収線を説明する機構として有力であるのが AGN wind と呼ばれるガスのアウトフローである。理論的にはガスは line force と呼ばれる原子が束縛状態から束縛状態へ UV 光子を吸収することで得る運動量で加速していると考えられる。しかし中心 BH 近傍の X 線が強い領域では原子は電離してしまい、UV 光子を吸収できないため line force が働かず wind は放出されない。しかしこの手前のガスによって X 線光子が吸収されるため (Self-shielding 効果)、少し遠方では原子が電離されない状態のまま保たれ UV 光子の吸収が起き、その結果 line force によってガスが吹き上がる。つまり AGN wind は X 線に対して光学的に厚く、UV に対して光学的に薄い限られた場所で吹き上がると考えられる。これまで軸対象を仮定した流体シミュレーションによって AGN wind の理論的研究が行われてきたが、3次元に拡張することでその形状や安定性が大きくかわってくると予想される。

今回の発表では、3次元流体シミュレーションに向けた準備として、中心 BH を X, UV 光源、及び円盤を UV 光源として 3次元でガス中の輻射輸送を考え line force を見積もった。さらにテスト粒子の振る舞いを調べ、Self-shielding 効果を確認めると共に、BH mass などのパラメータ依存性を調査する。

[1] Risaliti, G. & Elvis, M., 2009, arXiv:0911.0958

[2] Proga, D., Stone, J. M. & Kallman, T. R., 2000, ApJ, 543, 686

[3] Castor, J. I., Abbott, D. C. & Klein, R. I., 1975, ApJ, 195, 157

### ブラックホール超臨界降着流の輻射 特性

コン  
32b

川島 朋尚 (千葉大学 D3)

8月3日 9:24 A 会場

近年、超大光度 X 線源が系外銀河で多数発見されている。超大光度 X 線源の典型的な光度は  $10^{39.5-41}$  [erg/s] であり、中性子星や恒星質量ブラックホール (10 太陽質量程度のブラックホール) のエディントン光度を超えている。超大光度 X 線源の大光度を説明するには、恒星質量ブラックホールを取り巻く超臨界降着流 (エディントン光度以上の光度で輝く降着流) か、あるいは中間質量ブラックホール (100-1000 太陽質量程度のブラックホール) を取り巻く亜臨界降着流 (エディントン光度以下の光度で輝く降着流) という 2通りのモデルが考えられる。ブラックホール候補天体の質量の見積もりには不定性があるため、未だに 2つのモデルのどちらが正しいかは決定がしていない。しかし超臨界降着流の理論的な輻射スペクトルを観測と比較することで、この問題を解決出来る可能性がある。

そこで本研究では 2次元輻射流体シミュレーションの密度、温度、流体速度の分布を用いてモンテカルロ法に基づく輻射スペクトル計算を実施した。モンテカルロ法は Pozdnyakov et al. (1977) に基づき、輻射過程は制動輻射、相対論的ドップラー効果およびビーミング効果、自由-自由吸収、光子捕捉効果、熱的およびバルク・コン

プトン散乱を考慮した。輻射スペクトル計算の結果、光度が上昇すると熱的コンプトン散乱によりスペクトルがハードになることが分かった。本研究で計算した X 線スペクトルの概形は超大光度 X 線源のスペクトルの特徴を再現しており、超大光度 X 線源の「恒星質量ブラックホール + 超臨界降着流」モデルを支持する。

[1] Kawashima, T., Ohsuga, K., Mineshige, S., Heinzeller, D., Takabe, H. & Matsumoto, R., 2009, PASJ, 61, 769

[2] Ohsuga, K., Mori, M., Nakamoto, T. & Mineshige, S., 2005, ApJ, 628, 368

[3] Pozdnyakov, L.A., Sobol', I.M. & Syunyaev, R.A., 1977, SvA, 21, 708

### 円盤風を加味した超臨界降着円盤モ デルでの SS433 の光度曲線の計算

コン  
33a

龍野 洋平 (大阪教育大学 M1)

8月3日 9:30 A 会場

特異天体 SS433 はわし座に位置し、宇宙ジェットのプロトタイプとしても有名な天体である。長年にわたる様々な観測から、システムに関する基本的な抽象 (運動学モデル) は確立しているが、その本質的な部分 (中心のコンパクト星はブラックホールか中性子星か、ジェットの形成機構など) はまだ分かっていない。そこで円盤風を加味した超臨界降着モデルを用いて、SS433 の観測データとのフィッティングをおこなった。そのフィッティング結果と考察に関して紹介したい。

### ガス降着円盤内における supermas- sive black hole 連星の軌道進化

コン  
34a

遠藤 圭介 (筑波大学 M1)

8月3日 9:45 A 会場

現在、大半の近傍銀河の中心には SMBH (supermassive black hole) があり、その SMBH 質量は各ホスト銀河の速度分散と良く相関することが解っている (Ferrarese & Merritt 2000; Gebhardt et al. 2000)。このことは、銀河の階層的進化に対応して、小さなブラックホールが合体を繰り返して SMBHs を形成した可能性がある事を示唆する (Haehnelt & Kauffmann 2000)。

しかし、SMBH 連星が宇宙年齢以内に合体できるかどうかについては、まだはっきりしていない。合体直前の SMBH 連星の軌道収縮には、重力波放出に伴う角運動量損失が主に効く。そこで、重力波放出が効く半径まで連星軌道を縮めるために、連星の周囲にいる星からの力学的摩擦による角運動量輸送が議論されたが、loss cone depletion を考えると、それによって重力波放出が支配的となる軌道半径まで連星を進化させることが困難であることがわかった (Begelman et al. 1980)。しかし、ここまでは SMBH 近傍のガスが考慮されていない。このガスの存在を考慮すれば、この困難を解決できる可能性がある。

本発表では、ガス降着円盤内における SMBH 連星の軌道進化を扱った「Armitage & Natarajan (2002)」のレビューをする。この論文では、重力トルクを通した SMBH からガスへの角運動量輸送による SMBH 連星の軌道収縮を調べ、SMBH 質量としてそれぞれ  $5 \times 10^8 M_{\odot}$  と  $10^7 M_{\odot}$  をもち 0.1pc 離れていた 2 連星は、約  $10^7$  yr で重力波放出 phase に移行し合体する事を示した。ま

た, SMBH へのガス降着率が連星の軌道収縮に対してどのように効いてくるかを議論した。

- [1] Armitage, P. J. & Natarajan, P., 2002, ApJ, 567, L9
- [2] Gould, A. & Rix, H.-W., 2000, ApJ, 532, L29

### 中間質量ブラックホール候補天体 ESO 243-49 HLX-1 の X 線スペクトル解析

コン  
35a

菅井 瞬 (東京理科大学 M1)  
8月3日 10:00 A 会場

ULX(Ultra-Luminous X-ray source; 超光度 X 線源)とは系外銀河の核でない位置によく発見される、非常に明るい点源である ( $10^{39-41}$  erg/s @ 0.3-10keV)。ULX はスペクトルの形や変動からブラックホール (BH) 連星であると推測されているが (Makishima et al. 2000)、典型的な恒星質量 BH ( $\sim 10 M_{\odot}$ ) のエディントン光度を超えているため、銀河系内で発見されるような通常の BH 連星系とは異なると考えられている。ULX の解釈のひとつとして、典型的な BH よりも 10-1000 倍重い「中間質量 BH」が提案されている (Miller et al. 2003)。このような質量の BH は未だに発見されておらず、銀河中心に存在する超巨大 BH 生成の謎に迫れる可能性があるとして、非常に注目されている。

渦巻銀河 ESO 243-49 ( $z = 0.0224$ ) の端に、これまで報告された中でも最大級の光度 ( $1.1 \times 10^{42}$  erg/s) を持つ ULX が発見された (HLX-1; Farrell et al. 2009)。この ULX は典型的な恒星質量 BH のエディントン光度を 3 桁も上回ることから、中間質量 BH の最有力候補として近年注目を集めている天体である。

今回は XMM-Newton 衛星の 2 つの X 線検出器を用いてこの天体を解析した。0.2-10 keV に感度がある EPIC 検出器のスペクトルを、降着円盤からの黒体放射を仮定したモデルでフィットした結果、約  $7000 M_{\odot}$  の質量が得られた。これは HLX-1 が中間質量 BH であることを支持するものである。また、低エネルギー側 (0.5-2.3 keV) のエネルギー分解能が良い RGS 検出器のスペクトルからは 0.6 keV 付近に輝線が見られた。本講演ではこの輝線の性質・放射機構についても議論する。

- [1] Makishima, K., et al., 2000, ApJ, 535, 632
- [2] Miller, J. M., Fabbiano, G., Miller, M. C. & Fabian, A. C., 2003, ApJ, 585, 37
- [3] Farrell, S. A., Webb, N. A., Barret, D., Godet, O. & Rodrigues, J. M., 2009, Nature, 460, 73

### 光学的に薄いブラックホール近傍における流れの観測的特徴

コン  
36a

斉藤 秀樹 (大阪教育大学 M2)  
8月3日 10:15 A 会場

観測技術の発達により、今まで誰も見たことがなかった Black Hole 天体をこの目で直接観測することができるかもしれないと期待されている今日 (ALMA 計画)、我々が考える Sgr A\* などの AGN の中心にある BH の簡単な描像は、赤道方向には Disk があり、極方向からは輻射 (Jet/Wind) が存在すると考えられる。そして Ozel et al.(2000) から sub-mm bump spectrum で Sgr A\* の観測 Data と一致出来るようになってきたが、今ま

で考えられてきた Model は、ほとんど relativistic effect を考慮していないという事が分かっていて、relativistic speed で動く時、relativistic effect が重要になってくる。BH 天体からの輻射 (Jet/Wind) などはまさに光速近くに加速される。

そして今まで、相対論的天体の観測的特徴 (見た目) は誰もが考えてこなかった研究テーマであり、我々はその中でも optically thin な BH Flows (Accretion & Wind) についての見た目はどうなっているのか relativistic effect を加えて研究している。そこで今回我々は、spherically symmetric wind, spherically symmetric accretion, accretion from the equator and wind from the pole direction, などの BH 近傍の様々な流れについて報告する。さらに、無限遠方の観測者が pole-on のような方向 ( $i = 0^{\circ}$ ) だけでなく、様々な方向 ( $i = 45^{\circ}, 90^{\circ}$ ) から観測した時にどのように見えるのか、角度の違いについても報告する。

- [1] Ozel, F., Psaltis, D. & Narayan, R., 2000, ApJ, 541, 234
- [2] Sumitomo, N., Saito, H. & Fukue, J., 2009, PAJS, 61, 1281
- [3] Yusef-Zadeh, F., Roberts, D., Wardle, M., Heinke, C. O. & Bower, G. C., 2006, ApJ, 650, 189

### はくちょう座 X-1 の吸収ディップ

コン  
37b

水野 瑛己 (立教大学 M1)  
8月3日 10:30 A 会場

はくちょう座 (Cygnus) X-1 は、超巨星「HDE226868」と X 線源であるブラックホールから構成される、5.6 日の公転周期をもつ連星系である。大部分の期間は硬 X 線を多く出す状態であるが、まれに軟 X 線を強く放射する状態となる。また、短時間に X 線強度が数倍も変動しており、その変動は周期的ではない。X 線の発生機構は降着円盤と考えられているが、詳しくは分かっていない。

X 線源が外合の位相あたりで、特に低エネルギー側の X 線強度が減少する「吸収ディップ (Dip)」と呼ばれる現象を起こす事が知られている。公転位相に対する Dip の発生頻度は、ほぼ外合付近 (詳しくは位相 0.95 あたり) をピークとする分布を示す。通常の Dip は、ほぼ中性のガスによる吸収と考えて説明できる。しかし、吸収体の場所はまだ特定できていない。

今回の解析では、X 線天文衛星「すざく」のデータを用いた (OBS ID: 402072020)。この観測は、2007 年 5 月 17 日 19:00 頃から翌日の 15:00 頃にかけて行われたもので、Normal モード (1/4 window, 0.5 秒パーストオプション) で観測されたものである。連星系の公転位相に直すと 0.85-1.00 であり、まさに Dip を狙った観測であると言える。今回は、XIS, HXD 検出器のデータを用いて解析を行った。具体的には、Dip の深さを基準に分類をし、それぞれのライトカーブ・スペクトル等を作成した。当日の講演では、これらに関することを中心に紹介する予定である。

### すざく衛星によるマイクロクエーサー 1E1740.7-2942 の観測

コン  
38b

東 慶一 (立教大学 M2)  
8月3日 10:33 A 会場

1E1740.7-2942 は 1984 年に *Einstein* 衛星によって初めて観測された。1E1740.7-2942 は銀河中心付近にあり、511keV の電子 - 陽電子対消滅線や数秒角に伸びる電波ジェットなどが観測されており、代表的なマイクロクエーサーである。これまでの X 線の観測結果では、非常に強い吸収 ( $N_H \sim 10^{23} \text{cm}^{-2}$ ) を受けたハードなベキ型 ( $\Gamma \sim 1.6$ ) スペクトルを示すことが報告されている。

すざく衛星は 1E1740.7-2942 を 2006 年 10 月 9 日と 2008 年 9 月 8 日に、それぞれ、40k 秒観測した。今回は、それぞれの XIS と HXD の観測データを用い、0.6keV から 70keV のエネルギー・スペクトルを解析した。ほぼ 2 年を隔てた 2 回の観測で、2008 年の Flux は 2006 年に比べ 10% 程度低くなっていることがわかった。しかしながら、エネルギー・スペクトルはどちらも、非常に強い吸収 ( $N_H \sim (1.4-1.6) \times 10^{23} \text{cm}^{-2}$ ) を受けた、ベキ型の関数 ( $\Gamma \sim 1.6$ ) で表すことができ、あまり変化がない事が分かった。また、どちらの観測でも中性鉄による 7.1keV での吸収端を顕著に検出する事ができ、低エネルギー側の吸収量と、中性鉄の吸収量を比較する事ができた。

- [1] Bouchet, L., et al., 1991, ApJ, 383, L45
- [2] Bouchet, L., et al., 2009, ApJ, 693, 1871

「すざく」によるブラックホール天体 GX339-4 の観測と降着円盤モデルの検証

コン  
39a

田村 愛美 (芝浦工業大学 M1)  
8 月 3 日 11:00 A 会場

GX339-4 は、白鳥座 X-1 に並んで古くから知られるブラックホール連星 (BHB) で、地球からの距離 8kpc (Zdziarski et al. 2004) と見積もられている。「すざく」衛星は、2007 年 2 月 12 日-15 日に渡って 89ks の観測を行った。観測された X 線光度は  $3.8 \times 10^{38} \text{erg/s}$  であり、とても明るい状態であった。

BHB のスペクトル状態は光度が低く、光子指数 1.4-1.6 程度のベキ型関数 (power-law モデル) で表される low 状態、光度が高く光学的に厚い標準降着円盤を近似する多温度黒体放射 (diskbb モデル; Mitsuda et al. 1984) が優勢となる high 状態、および光度がエディントン限界の数 10% からエディントン限界近くに達し、diskbb を光子指数 2.5 以上の power-law が卓越する very high 状態という 3 つの状態では基本的には理解できる。「すざく」による GX339-4 の観測では、X 線光度が明るいだけでなく、観測された X 線スペクトルが光子指数 2.7 の卓越した power-law と  $T_{in}=0.77\text{keV}$  の diskbb で表されることが Yamada et al. 2010 によって報告されており、very high 状態であることが確認された。

しかし、power-law モデルは逆コンプトン散乱を近似しているにすぎず、power-law が卓越するような very high 状態では低エネルギー側の形状を正しく評価しないかぎり、diskbb の半径などを評価することはできない。very high 状態に見られる卓越したコロナは、diskbb から軟 X 線を強く逆コンプトン散乱されたものとして理解され (e.g., Kubota et al. 2001, 2004)、本研究では、まず卓越し power-law 放射を低温円盤を種光子とする逆コンプトン散乱を正しく取り入れた thcomp (Zycki et al. 1999) に置き換え、評価した。その結果、種光子である diskbb 成分の温度は 0.72 keV、円盤内縁半径は

68.21 km と見積もられ、これは high 状態の半径にくらべて大きく、diskbb は最終安定軌道まで到達していないと考えられる。very high 状態の中でも特に power-law が強い strong very high 状態の場合、内縁半径が最終安定軌道より大きくなるのが XTE J1550-564 などでも報告されており (Kubota et al. 2004b)、本結果はこれを追確認したといえる。講演ではさらに、コロナの幾何学的配置およびコロナと円盤のエネルギー・バランスを考慮した (Done, Kubota 2006) 結果についても報告する。

- [1] Makishima, K., et al., 1986, ApJ, 308, 635
- [2] Kubota, A., Makishima, K. & Ebisawa, K., 2001, ApJ, 560, 147
- [3] Kubota, A., et al. 2004, ApJ, 601, 428

X 線衛星「すざく」による銀河系内ブラックホール連星 GX 339-4 の観測とスペクトル解析

コン  
40a

志達 めぐみ (京都大学 M1)  
8 月 3 日 11:15 A 会場

ブラックホール連星は、ブラックホールと恒星の近接連星系であり、X 線領域におけるエネルギー・スペクトルと時間変化の特徴の異なる、いくつかの「状態」をとることが知られている。硬 X 線成分の強い「low/hard 状態」では、100 keV 付近にカットオフのある冪型のスペクトルを示すことから、標準円盤の周囲に高温のコロナが存在し、熱的コンプトン散乱が起こっていると考えられている。さらに、降着円盤起源の鉄の K 蛍光輝線の形状の解析から、low/hard 状態では標準円盤がブラックホール近傍まで伸びておらず、途中で途切れている可能性が示唆されている。しかし、現状の観測結果は不定性が大きく、降着円盤やコンプトン散乱を起こすコロナの物理状態やジオメトリは良く分かっていない。

我々は X 線衛星「すざく」を用い、2009 年 3 月に合計 3 日間にわたり、low/hard 状態にある銀河系内のブラックホール連星 GX 339-4 を観測した。「すざく」は 10 keV 以下で高エネルギー分解能を達成しつつ、0.2-600 keV の広いエネルギー帯域を同時にカバーする。その結果、low/hard 状態にある本天体の観測データとしては、過去最高の質のデータを取得することに成功した。その連続スペクトルを円盤からの光子を種とするコンプトン散乱モデルで解析した結果、温度と光学的厚みが一定のコロナでは説明できず、少なくとも 2 つの異なる光学的厚み ( $\tau = 1.1, 0.3$ ) が必要であることがわかった。この事実は、コロナの構造が非一様であることを示唆する。また、6.4 keV 付近に見られる鉄輝線を、相対論的效果を考慮した降着円盤からの輝線放射モデルで解析したところ、標準円盤がブラックホールの最内縁安定軌道まで伸びていないことを示唆する結果を得た。本講演ではスペクトル解析の詳細を報告し、その結果について議論を行なう。

中性子星連星 GS1826-238 のすざく衛星による X 線観測

コン  
41a

野中 雄気 (青山学院大学 M1)  
8 月 3 日 11:30 A 会場

ブラックホール連星で電波ジェットが続々と発見され、Low/hard 状態では定常コンパクトジェットが、さらに High/soft 状態への状態遷移に伴って大規模ジェッ

トが放出されることが分ってきた。最近では、中性子連星からもジェットが検出されているが、質量に比例して電波では強度が弱い観測はすすんでいない。

今回、ブラックホール候補天体の Low/hard 状態に近いエネルギースペクトルを持つ中性子連星 GS 1826-238 の、すざくを用いて X 線と電波による同時観測を行ったので報告する。すざくは 2009 年 10 月 21 日から 23 日まで約 100 ksec の観測を、オーストラリアにある電波望遠鏡 ATCA で 10 月 22 日に 12 時間の電波観測 (5 GHz と 9 GHz) を行った。残念ながら  $3\sigma$  の上限値で 5 GHz で 0.09 mJy、9 GHz で 0.12 mJy と電波では観測に成功しなかった。一方、すざくは 0.5-100 keV までの統計のよい、広帯域スペクトルを得ることに成功し、平均スペクトルは折れ曲りをもつべき関数 (べき 1.5 と折れ曲りエネルギー 52 keV) で概ね説明できる。本発表では主にすざくによる観測結果についてブラックホール候補星の Low/hard 状態と比較して報告する。

すざく衛星搭載 WAM 検出器による AXP (Anomalous X-ray Pulsar) 1E1547.0-5408 の硬 X 線フレアの観測

コン  
42a

安田 哲也 (埼玉大学 M1)  
8 月 5 日 9:15 A 会場

中性子星の一種である Anomalous X-ray Pulsar (AXP) は、回転周期  $P$  とその時間変動率  $\dot{P}$  から推定される磁場が  $10^{14-15}$  にも達する。繰り返しバーストを起こす軟ガンマ線リピーターとともに超強磁場中性子星 "マグネター" であると考えられている。すなわち、このマグネターは莫大な磁気エネルギーを解放して輝くと考えられているが、その放射機構は未だ解明されていない。

2009 年 1 月 22 日に、すざく衛星搭載広帯域全天モニタ (Wide-band All-sky Monitor : WAM) は活動期に入った AXP 1E1547.0-5408 から約 70 keV - 1 MeV の帯域で、1 日に ~250 個ものバーストを検出した。WAM は、幅広いエネルギー帯域 (50 keV ~ 5 MeV) と巨大な有効面積 (各面 100 keV @ 800 cm<sup>2</sup>), 広い視野 ( $2\pi$  str) をもつ X 線検出器である。WAM は大きな有効面積を生かし、MeV 帯域までのスペクトルを得ることに世界で初めて成功した。本講演では、これらの WAM データの解析結果について報告する。

X 線天文衛星「すざく」によるマグネターと強磁場パルサーの観測

コン  
43a

青木 雄太 (山形大学 M2)  
8 月 5 日 9:30 A 会場

パルサーの中でも特に磁場が強いと考えられる "マグネター" と呼ばれる天体が近年注目を集めている。また、マグネターではないのだけれども通常のパルサーよりは磁場が強い強磁場パルサーと考えられるものもあり、この二種類の天体を比較することにより異なる点や関係性について知りたいと思っている。そこで、"すざく衛星" により観測されたマグネター 1E2259+586 と、強磁場パルサーである PSR B1509-58 のデータを解析し、比較していきたい。

[1] Enoto, T., et al., 2010, PASJ, 475, 485

[2] Enoto, T., et al., 2010, ApJ, 665, 670

[3] Sasaki, M., et al., 2004, ApJ, 322, 338

コンパクト天体と磁場を伴うディスクの一般相対論的平衡状態

コン  
44a

藤井 亮治 (東京大学 M2)  
8 月 5 日 9:45 A 会場

コンパクト天体と磁場を伴うディスクからなる系の一般相対論的平衡状態について議論する。例えばブラックホールと大質量の降着円盤から成る系はガンマ線バーストの発生源であるとも期待され天文学的に重要な系であると考えられている一方で、過去の一般相対論による平衡状態の研究例は、磁場を考慮しない中心天体-ディスクのみからなる系のものばかりが多く、「中心天体」「ディスク」「磁場」の 3 つの存在を同時に考慮したものは皆無に等しかった。また Newton 力学の枠組みでは、それらを考慮した研究は幾つか研究例が存在するものの、十分に研究されたとは決して言えない。

そこで本研究では、中心に中性子星やブラックホール等のコンパクト天体が、その周囲に磁場を伴うディスクが存在し、磁場の向きとしては Poloidal 成分を持つ系の平橋状態を一般相対論の枠組みで考えた。また、本研究は Otani et al.(2009) に動機付けられたものであるが、そこでは ISCO とは異なる最近接安定軌道の存在が示唆された。それは磁場の影響により ISCO よりやや半径が大きくなった軌道であるが、本講演ではその存在についても触れたいと思う。

[1] Otani, J., Takahashi, R. & Eriguchi, E., 2009, MNRAS, 396, 2152

弱く磁化した降着円盤における磁気回転不安定性

コン  
45a

佐野 保道 (大阪大学 M1)  
8 月 5 日 10:00 A 会場

コンパクト天体は明るく輝いていることがある。そのような高エネルギー放射は中心星からの黒体放射では説明がつかない。それを説明するものとして一般的に考えられているのが、コンパクト天体の周りのガスで出来た円盤がエネルギー源になっているというモデルである。それはガスが公転しながら中心のコンパクト天体へと落下し、重力エネルギーを解放することによって高エネルギー放射をしているのだというものである。この円盤を降着円盤という。降着円盤のガスが角運動量を失いながら中心のコンパクト天体へと降着し、またそのときに重力エネルギーが効率よく放射エネルギーに変換されるためには、ガスに何らかの摩擦が生じている必要がある。ところがガスの平均自由行程は降着円盤の厚みに比べて小さ過ぎるため、(分子運動論的) 粘性は観測されるエネルギー放射を説明出来るほど十分に有効ではない。そこで降着円盤が乱流状態にあるものとする乱流粘性によって角運動量がより効率よく輸送されるため、観測を説明出来ることが示された。(Shakura and Sunyaev (1973)) しかしその乱流の具体的な起源は謎のままであった。

そこで本発表では、弱い磁場によって降着円盤上に発生する不安定性が乱流粘性をもたらす起源として有効であるということを示した Balbus and Hawley (1991) のレビューを行う。この論文では差動回転をしている軸

対称な流体の円盤を磁気流体力学で扱い、磁場のエネルギー密度が熱エネルギー密度より低いことと、磁場がポロイダル成分を持つことを仮定して磁気回転不安定性 (MRI) が生じるための条件を示している。その条件のもとで、磁場を帯びた円盤上で流体の角運動量が輸送される機構について議論をする。

[1] Shakura, N. I. & Sunyaev, R. A., 1973, A&A, 24, 337

[2] Hawley, J. F. & Balbus, S. A., 1991, ApJ, 376, 214

コン  
46a

### 磁場を用いた相対論的ジェット形成メカニズム

仲内 大翼 (京都大学 M1)  
8月5日 10:15 A会場

活動銀河核やガンマ線バーストではジェットが観測されている。そのようなジェットの特徴は以下のようである。1. 細長く絞られた構造をもつこと、2. 流れが相対論的な速さを持つこと、3. ジェットの根元では磁気エネルギー優勢だが先端部では運動エネルギー優勢となること。今まで定常、軸対称、散逸なしの条件下で解析的にジェットの性質を説明する試みが行われてきた。しかしこの条件下で得られる解では、磁気エネルギーから運動エネルギーへの転換が十分に起こらないという問題がある。

本講演では、新たな相対論的ジェット形成のメカニズムとして“磁気ロケットモデル”を提案している、J.Granot, et al. 2010, の論文のレビューを行う。このモデルではジェットと垂直方向に強い磁場を帯びたシェルの空間的拡散を考える。シェルが中心天体から放出されるとき、シェル内部に希薄波が生じそれがシェル内部を伝播すると、シェルは磁気音速まで加速される。中心天体との相互作用がなくなった後も続々と希薄波がシェル内部を伝播し、シェルの前方部は相対論的速度にまで加速される。この過程で磁気エネルギーの大半は運動エネルギーに転換される。このように“磁気ロケットモデル”は上に挙げたジェットの特徴のうち2,3.を説明できる可能性があり非常に興味深い。本発表ではモデルの内容を解説したのち、このモデルの活動銀河核やガンマ線バーストへの応用について議論する。

コン  
47a

### 磁気加速機構による宇宙ジェットモデル

梶田 篤樹 (大阪市立大学 M1)  
8月5日 10:30 A会場

天体から銀河にいたる様々なスケールで宇宙ジェットが確認されている。ジェットとは双方向に伸びた高速のプラズマ流である。ジェットの中心にはブラックホールや中性子星のようなコンパクト天体がありその周りには降着円盤が存在する考えられている。ジェットの起源を説明するものとして降着円盤は有力なモデルである。しかし、プラズマをどのように加速させ細く収束させるのかということは完全に理解されていない。降着円盤の周りには磁場はジェットを説明する有力な候補の一つである。R.D.Blandford と D.G.Payne はジェットモデルとして降着円盤からの定常軸対称理想磁気流体風を考え、理想磁気流体の方程式における自己相似解を求めた。本発表ではその論文を紹介し、彼らが求めた自己相

似解の特性をレビューする。

[1] Blandford, R. D. & Payne, D. G., 1982, MNRAS, 199, 883

コン  
48a

### HLLD 法による 3次元磁気流体ジェットの計算

朝比奈 雄太 (千葉大学 M1)  
8月5日 10:45 A会場

1918年に巨大楕円銀河 M87 から噴出する宇宙ジェットが発見された。その後の観測により、活動銀河だけでなく、系内ブラックホールや原始星からも宇宙ジェットが噴出され、宇宙ジェットは様々な天体で発生する普遍的な現象であることが明らかになった。宇宙ジェットは星間ガスを圧縮し、星形成を促す事が近年観測的に示唆されており、宇宙ジェットの伝播メカニズムの解明は、宇宙物理学の最重要課題の一つである。宇宙ジェットは磁場と強く相互作用していることが理論的、観測的に示唆されており、磁気流体シミュレーションを行う必要がある。

今回の発表では Miyoshi & Kusano (2005) によって提案された HLLD 法に基づく磁気流体コードを用いて磁気流体ジェットの伝播を調べた結果を報告する。まず、三次元計算の前段階として二次元軸対称計算を円筒座標系で行った。鉛直方向にジェットを伝播させ、磁場によりどのように構造や伝播速度が変化するかを流体と磁気流体で計算し Roe 法に基づく Todo et al (1992) の結果を再現することができた。三次元効果を調べるため、コードを MPI を用いて並列化しシミュレーションを実行中である。このコードを用いてジェットと高密度な星間ガスの相互作用のシミュレーションを実施している。これらの結果についても報告する。

[1] Kusano, K. & Miyoshi, T., 2005, JCoPh, 208, 315

[2] Todo, Y., Uchida, Y., Sato, T. & Rosner, R., 1992, PASJ, 44, 245

コン  
49a

### Black Holes in Binary Systems: Instability of Disk Accretion

Hilmy Masyhur (京都大学 M1)  
8月5日 11:00 A会場

The accretion disk theory was first developed using stationary disk models. To investigate their stability, they are generalized to allow time dependence in the radial disk structure. We introduce the paper by Lightman and Eardley (1974, ApJ 187, L1) that developed time-dependent accretion disk theory. They found that the "inner region" of a disk around a black hole is secularly unstable against clumping of the gas into rings. This instability will be an important part for testing more current accretion disk models, such as the recent radiation-magnetohydrodynamic simulation of black hole accretion disk.

[1] Lightman, A. P. & Eardley, D. M., 1974, ApJ, 187, L1

[2] Lightman, A. P., 1974, ApJ, 194, 419

[3] Takeuchi, S., Mineshige, S. & Ohsuga, K., 2009, PASJ, 61, 783

銀河・銀河団分科会

## Formation of $z \sim 6$ Quasars from Hierarchical Galaxy Mergers

銀河  
01a

石倉 未奈 (北海道大学 M1)  
8月2日 17:30 B会場

本発表は、Li et al. (2007) のレビューである。SDSS により、 $[1-5] \times 10^9 M_{\odot}$  の非常に重い SMBH を有するクエーサー、SDSS J1148+5251 が  $z \sim 6.54$  の遠方で発見され (Fan et al. 2003)、その他にも 1000 を超えるクエーサーが  $z \geq 4$  で見ついている。しかし、その時期に形成される天体としてはあまりにも大きく、遠方の SMBH 及びそれを有する銀河の進化過程が問題になっている。この論文ではブラックホールの成長に関して自己調節モデルを仮定し、宇宙論的な銀河形成過程のシミュレーションを行った。ここで、初期条件として  $z = 30$  で、 $200 M_{\odot}$  の種ブラックホールを仮定した。その結果、 $z \sim 6.5$  の遠方で  $10^{12} M_{\odot}$  のクエーサーが形成されることが分かり、上記のように重い SMBH も初期宇宙で形成できることを、彼らのモデルによって示した。

[1] Li, Y., et al., 2007, ApJ, 665, 187

## COSMOS 天域における低光度クエーサー探査

銀河  
02a

池田 浩之 (愛媛大学 M2)  
8月2日 17:45 B会場

遠方のクエーサー探査は、巨大ブラックホールの誕生・進化の過程を解明する上で、大変重要な観測的アプローチである。代表的な遠方のクエーサー探査として、スローンデジタルスカイサーベイ (SDSS) がある。この探査では赤方偏移  $z \sim 6$  までのクエーサーが多く見つかってきているが、限界等級が浅く低光度のクエーサーは全く得られていない。しかしながら、巨大ブラックホールの進化の解明には、低光度から高光度にいたる高赤方偏移クエーサーの光度関数を調べるのが重要である。

そこで本研究では、低光度側の光度関数を作成するために、COSMOS のカタログを用いて、 $z = 3.7$  から  $z = 5.5$  まで SDSS よりも約 3 等暗い光度までのクエーサーサンプルを構築した。すばる望遠鏡の Suprime-Cam で取得された  $g', r', i'$  および  $z'$  バンドの等級情報から  $g'-r'$  vs.  $r'-i'$  の 2 色図を用いて、 $z \sim 4$  のクエーサー候補天体を 31 個選出した。また、 $r'-i'$  vs.  $i'-z'$  の 2 色図より  $z \sim 5$  のクエーサー候補天体を 15 個選出した。これらのサンプルに基づいた光度関数を作成するためには、コンプリートネスとコンタミネーションの補正を行う必要がある。そこで、今回はクエーサーのモデルスペクトルを用いたモンテカルロシミュレーションによってコンプリートネスの計算を行った。またコンタミネーションの評価のため、2010年1月7日から1月11日まで、すばる望遠鏡の FOCAS を利用して候補天体に対して、分光観測を行い、 $z \sim 4$  では 31 天体中 9 天体、 $z \sim 5$  では 15 天体中 0 天体がクエーサーであることが確認された。これらの結果から、コンプリートネスとコンタミネーションの補正を行った  $z \sim 4$  の暗い側の光度関数を導出した。

[1] Croom, S. M., et al., 2009, MNRAS, 399, 1755

[2] Glikman, E., et al., 2010, ApJ, 710, 1498

## 超高光度赤外線銀河 ULIRG のエネルギー源診断法

銀河  
03a

市川 幸平 (京都大学 M1)  
8月2日 18:00 B会場

Ultra-Luminous InfraRed Galaxies (ULIRGs) は  $L_{IR} > 10^{12} L_{\odot}$  で定義される赤外で非常に明るい銀河であり、全光度  $L_{bol}$  のほとんど ( $> 90\%$ ) を赤外線領域で放出している。近傍宇宙においては ULIRG は非常にまれな天体であるが、ISO 衛星や Spitzer 衛星によるサーベイの結果、 $z = 1-2$  では個数・エネルギーともに赤外線領域で重要な割合を占めることがわかってきた。ULIRG のエネルギー源としては、同じ  $z = 1-2$  で活動のピークを示す星生成と活動銀河核 (AGNs) によるものが考えられており、これらを分類することが興味深いトピックとなっている。

しかし、ULIRG のエネルギー源を診断する際、ULIRG の多くはダストで覆われているため、可視光による観測ではダストの中心に存在するエネルギー源を判別できない。本講演では、そのような性質を持つ ULIRG に対して、PAH 3.3  $\mu\text{m}$  輝線の有無を利用した中心のエネルギー源の分類方法を紹介する。またそのエネルギー源診断の結果から、AGN の寄与と赤外線光度との関係、星生成活動の AGN の活動性に対するフィードバックの描像を議論する。

[1] Imanishi, M., et al., 2006, ApJ, 637, 114

[2] Lonsdale, C., et al., 2006, arXiv:astro-ph/0603031

[3] Imanishi, M., et al., 2010, ApJ, 709, 801

## すばるのスペクトルデータを用いた AGN の質量とエディントン比に関する研究

銀河  
04b

信田 和哉 (東北大学 M1)  
8月2日 18:15 B会場

AGN (活動銀河中心核) は銀河の中心に存在し、銀河の大きさとは比べると非常に小さな領域から非常に強い放射をしている。そして、理論的、観測的な観点から超巨大質量のブラックホール (SMBH) が AGN の中心に存在していると考えられる。この巨大な放射量を説明できる。降着円盤上の粒子は SMBH の非常に大きな万有引力によってその中心に落ち込んでゆくわけであるが、その落ち込む途中で、周囲の他の粒子との摩擦や内部エネルギーとしてポテンシャルエネルギーが熱に変換され、それによって温められた降着円盤からの黒体放射としてエネルギーが放出される。為明るく輝いて見えるのである。また、その質量降着による SMBH の成長と AGN の母銀河の成長の間には何か関係があるのではないかと考えられており (AGN と銀河の共進化)、SMBH やその母銀河の質量をより正確に決定することは非常に重要な意味を持つ。そこで今回はすばる望遠鏡で得られた AGN のスペクトルデータを用いた AGN の質量決定と、その質量を用いて計算される AGN の活動の強さを表すエディントン比の決定の方法について発表するとともに、現在までの研究成果を述べる。

[1] Kaspi, S., et al., 2005, ApJ, 629, 61

銀河  
05b

## XMM-Newton を用いた X 線強度 変動が激しい活動銀河核の探索 上笹 尚哉 (愛媛大学 M1) 8月2日 18:18 B会場

活動銀河核 (AGN; Active Galactic Nuclei) からは、莫大なエネルギーが放射されている。このエネルギーの発生機構は、中心に存在する超大質量ブラックホール (SMBH; Supermassive Black Hole) への質量降着現象であるとされているが、SMBH の形成、進化についてはまだ解明されていない。

AGN を X 線で観た際の重要な性質の一つは、X 線強度が短時間で変動することである。放射領域の一部で起こった変動は光速より速く全体に伝わることはないので、変動時間から放射領域サイズの上限を決めることができる。この放射領域サイズと SMBH 質量が比例関係にあるとすると、SMBH 質量の大きさを推定できる。つまり、SMBH 質量が小さいほど、激しい X 線強度変動を示すことになる。SMBH は物質を吸い込みながら質量成長していくので、質量が小さく質量降着率の大きい SMBH は若いといえ、そのような質量成長中 SMBH の研究はその形成、進化を理解する上で重要となる。そこで、X 線強度変動が特に激しい AGN の探索を行った。

探索に用いたカタログは、X 線天文衛星 XMM-Newton による観測で得られた約 35 万天体 (重複含む) のデータが集められた Second XMM-Newton Serendipitous Source Catalogue (2XMM-DR3) である。このカタログ内にある、検出された線源の強度が一定であったとする確率を表すパラメータを基準に変動が激しいとされる天体を選出し、これらのうち銀河であるものを NED や SIMBAD を参考に探した。また、そのエディントン比を調べることで、成長中 SMBH といえるかを判断した。今回は、選出した天体の一部をライトカーブ、スペクトルと併せて紹介し、この選出法が未知の質量成長中 SMBH 候補の探索に適していることを示す。

## Search for High-z Quasars beyond $z = 6.5$ with Subaru Telescope

銀河  
06c

石崎 剛史 (総合研究大学院大学 M2)  
ポスター発表 (口頭なし)

赤方偏移  $z > 6.5$  のクェーサー (QSO) の発見は極めて重要であり、初期巨大ブラックホール (SMBH) の形成モデルに強い制限をかけることができる。また、 $z \sim 7$  クェーサーの個数密度は再電離期のクェーサー光度関数にも制限を与える。我々はすばる望遠鏡主焦点カメラ (Suprime-Cam) を用いて、UKIDSS-DXS 領域に対してサーベイを行った。本探査では、広視野かつ波長 1  $\mu\text{m}$  付近で高い感度をもつ CCD をもつ Suprime-Cam を用いたこと、また、特殊なバンドフィルターを用いることでクェーサーと L/T 型晩期型星の効果的に分離することを可能にしたことが大きな特徴である。本ポスターでは、その検出結果について報告する。

## 活動銀河核の活動性と母銀河環境について

銀河  
07c

前林 隆之 (東北大学 M2)  
ポスター発表 (口頭なし)

活動銀河核 (AGN) の統一モデルとそれに関する論文をレビュー的に紹介する。その中で、統一モデルとそこに組み込むことが難しい AGN 種族について説明し、最近の AGN 事情の一面を紹介する。

[一般的な背景知識] 現在の宇宙の進化史は、階層的構造形成という枠組みの中で研究されている。そこでは、ダークマターとバリオンによる重力、ダークエネルギーによる斥力が支配的とされる。しかし、各時代・各階層において重要となる物理過程の詳細までは解明されていない。AGN という天体は、宇宙年齢が現在の約 1/10 だった頃からその存在が確認されており、ブラックホール近傍から、銀河、銀河団に至る様々な階層と関係を持つ天体である。従って、AGN が宇宙の進化史に占める役割は非常に大きい。

[AGN の背景知識] 1990 年代までの観測から、AGN の典型的な内部構造モデルが提唱された。このモデルは、AGN が非等方的な放射を出す天体であるとし、AGN 種族の多様性を、AGN と観測者の位置関係の違いで説明した。(AGN の統一モデル) しかし、このモデルは、電波の活動性が弱い AGN (RQ-AGN) については良く当てはまるが、電波の活動性が強い AGN (RL-AGN) については、必ずしも当てはまる訳ではない。

[レビューの要点] このレビューでは、統一モデルの解説をした後で、RL-AGN に話を限定し、統一モデルに「当てはまるもの」と「そうでないもの」の違いが、「降着物質/過程の違いである」とする説を紹介する。この説では、前者は「母銀河同士の衝突などによる、銀河内の Cold gas の降着」、後者は「放射冷却による、(楕円) 銀河内や銀河団内の Hot gas の降着」が起源だと考えている。

[1] Peterson, B. M., "An introduction to active galactic nuclei", ch. 7

[2] Allen, S. W., Dunn, R. J. H., Fabian, A. c., Taylor, G. B., & Reynolds, C. S., 2006, MNRAS, 372, 21

[3] Hardcastle, M. J., Evans, D. A., & Croston, J. H., 2007, MNRAS, 376, 1849

## すばる望遠鏡の MOIRCS を用いて 得た N-loud QSO の静止系可視スペクトルの解析

銀河  
08b

荒木 宣雄 (愛媛大学 M1)  
8月2日 18:21 B会場

QSO の金属量測定は、高赤方偏移における宇宙の化学進化を知る上で非常に有益である。QSO の広輝線領域 (broad-line regions: BLRs) の金属量 ( $Z_{\text{BLR}}$ ) 診断には多くの場合、窒素の輝線が使われる。それは元素組成比の間に  $N/O \propto O/H \propto (N/H) / (O/H)^2 \propto Z_{\text{BLR}}^2$  という関係があるからである。この関係から見積もると、 $Z_{\text{BLR}}$  は、一般的には  $Z_{\text{BLR}} > Z_{\odot}$  であることが知られている。しかし最近、一般的な QSO と違って、極めて窒素の輝線が強い QSO (N-loud QSO) が発見されてきている。それらの金属量を見積もると  $Z_{\text{BLR}} > 10Z_{\odot}$  にもなる。このような QSO の化学進化は、今まで考えられてきた銀河進化モデルで説明するのは困難である。

この興味深い N-loud QSO の性質をより詳細に理解するため、今回我々は N-loud QSO として知られている SDSS J1707+6443 ( $z = 3.163$ ) の近赤外分光観測をすばる望遠鏡の MOIRCS を用いて行い、静止系

可視スペクトルを得た。得られたスペクトルより、一般的な QSO と比べて狭輝線領域 ( narrow-line regions : NRLs ) における輝線強比  $[\text{NeIII}]\lambda 3869/[\text{OIII}]\lambda 5007$  が大きく、 $[\text{OII}]\lambda 3727/[\text{OIII}]\lambda 5007$  が小さいということが分かった。これらの結果は一般的な NLR の物理状態では説明できない。そこで我々は光電離モデル計算コードとして公開されている Cloudy を用いて、どのような状態 ( 電離パラメータ、密度、金属量など ) であるならこれらの結果が説明できるのかパラメータサーベイした。本講演ではそれより得られた結果について報告する。

- [1] Hamann, F. & Ferland, G. J. 1992, ApJ, 391, L53
- [2] Hamann, F. & Ferland, G. J. 1993, ApJ, 418, 11
- [3] Baldwin, J. A., Hamann, F., Korista, K. T., et al., 2003, ApJ, 583, 649

### 窒素輝線から探る活動銀河核と星形成活動の関係

銀河  
09c

松岡 健太 (愛媛大学 D1)  
ポスター発表 (口頭なし)

近年の研究によって、活動銀河核 (AGN) とその周辺の星形成の関係についての観測的証拠が得られてきている。しかしながら、AGN の活動性に直接関係があるだろう星形成はより中心 (数パーセク) 領域で行われており、このような空間スケールでの星形成と AGN 活動性の関係は近傍セイファート銀河のような空間分解可能な天体に限ってしか調べられていない (Davies et al. 2007)。

今回、我々は Sloan Digital Sky Survey (SDSS) で得られた赤方偏移  $2.3 < z < 3.0$  における QSO (約 2700 天体) に着目して、これらの広輝線領域 (BLR) の重元素量と AGN 活動性 (降着率) の関係を調べた。重元素は主に恒星内部の核融合反応によって合成されるため、重元素量を調べることで過去の星形成の情報を得ることができる。我々はこの SDSS QSO 分光サンプルに対して重元素量の指標となる  $\text{NV}/\text{CIV}$ 、 $\text{NV}/\text{HeII}$ 、 $(\text{SiIV}+\text{OIV})/\text{CIV}$ 、及び  $\text{AlIII}/\text{CIV}$  の輝線強度比とブラックホールへの降着率の関係を調べた。その結果、NV を含む輝線強度比に対してのみ降着率依存性が見られた。窒素輝線を含まない輝線強度比では依存性が見られなかったことから、今回の結果は単純な金属量と降着率、すなわち単純な星形成と AGN 活動性の関係では説明ができないことを示している。本講演では、この窒素輝線を含む輝線強度比の振る舞いの起源について、星形成と AGN 活動性のタイムラグという観点から議論していく (Matsuoka et al. 2010, to be submitted)。

### VLBI で探るクェーサー広吸収線の起源

銀河  
10b

林 隆之 (東京大学 M2)  
8月2日 18:24 B会場

銀河中心にある活動銀河核中心部から放射される連続光は、観測者に届くまでの間に様々な吸収を受ける。この中に線幅が光速の 0.1 倍前後に達し、活動銀河核の降着円盤からの高速なアウトフローが起源とされる吸収線がある (Elvis, 2000; Arav, 2004)。実際、シミュレーションでは降着円盤からのアウトフローが再現されてお

り (Proga et al., 1998; Ohsuga et al., 2009)、観測的な立証が待たれている。加えて、このような広吸収線を持つクェーサーは全クェーサーの約 20 % を占めるが、この割合について「活動銀河核をある角度から眺めると広吸収線が観測される」という角度説と「クェーサー進化のある一時期に広吸収線が観測される」という進化説の 2 説で意見が分かれており、これらは活動銀河核の統一モデルに関連した未解決問題となっている。

観測的には、可視光観測ではクェーサー広吸収線の偏波率や輝線の強度などから、活動銀河核の降着円盤を横から見た場合に広吸収線が存在するという角度説に基づいたモデルが合理的と考えられている (Cohen et al., 1995; Goodrich et al., 1995; Wang, 2010)。一方、電波では、広吸収線クェーサーの多くがスペクトル形状で GPS (Gigahertz Peaked Spectrum) 天体や CSS (Compact Steep Spectrum) 天体に分類されるコンパクトで若い電波源とされており (Montenegro-Montes, 2008) 広吸収線はクェーサーが若い時期に観測されるという進化説も唱えられている。このように、クェーサー吸収線の起源は明らかになっていない。

我々は、高分解能を達成可能な VLBI により広吸収線クェーサーを観測し、「活動銀河核の傾きを推定することで角度説を検証すること」「多周波の偏波観測を行い、ファラデー回転量を見積もることでアウトフローを検出すること」を試みることに取り組んでいる。本講演ではその経過について報告したい。

### 銀河 11a 遠方と近傍の星形成銀河の形態比較

銀河  
11a

篠木 新吾 (東京大学 M1)  
8月3日 16:30 C会場

遠方の銀河を観測すると、過去に激しい星形成を起こした銀河や大規模な重力相互作用を受けた銀河があることが分かる。しかし、具体的にどのような方法で銀河の (通常の物質の) 構造が決定付けられていったのか、また、遠方 (= 過去) の銀河と近傍 (= 現在) での星形成の過程はどう違うのか、あまりよく分かっていない。これらが分かれば遠方宇宙の見方が変わるのか。それを知るための方法のひとつとして、近傍の starburst 銀河や相互作用銀河を人為的に赤方偏移させて遠方銀河と形態を比較してみた。

8 つの近傍銀河を選び、それらの far ultraviolet (FUV) での観測を元に形態を定量化し、それらを人為的に赤方偏移させる。一方、静止系で FUV で観測された遠方銀河の形態も定量的に測定し、それらを比較する。類似しているものがあれば、その近傍銀河をより詳細に研究することで遠方の活発な星形成の要因が分かるかもしれない。この研究では遠方の活発な星形成銀河と類似した近傍銀河を 3 つ見つけることができた。

### The Properties of Lyman emitters (LAEs)

銀河  
12a

橋本 拓也 (東京大学 M1)  
8月3日 16:45 C会場

Lyman emitters (LAEs) は遠方宇宙にあまねく存在する銀河の 1 つであり、近年の観測技術の進展から様々な性質が明らかになってきている。LAEs を研究する意義は、銀河進化の深い理解へつながること、宇宙再電離への知見が得られることである。私は本講演で、こ

れまでの研究結果から LAEs についてど何が分かっている、何が分かっているのかを概説し、現在行っている近赤外分光データ解析の進展状況についてお話しするつもりである。

Ly 輝線銀河観測の意義と高密度領域 53W002 の研究

銀河 13b  
馬渡 健 (東北大学 M1)  
8月3日 17:00 C会場

一般に、銀河の表面輝度は遠方に行くにつれて  $(1+z)^{-4}$  で減少していくため高赤方偏移銀河の観測は困難になる。しかし、輝線強度の強い銀河を狭帯域フィルターで観測すると、広帯域で観測した時より明るく写る。このことを利用すれば、高赤方偏移における輝線銀河を効率良く観測することが出来る。こうした狭帯域フィルター観測で検出された Ly 輝線強度が強い銀河が Ly 輝線銀河 (以下 LAE) であるが、この LAE は高赤方偏移だけでなく若い星生成銀河であることが多いため宇宙の構造形成を解明するための手がかりとなると考えられている。本発表ではまず、LAE の研究からどのようなことが分かるか (または分かったか) を示す。更に現在、自身が行っている Ly 輝線銀河高密度「候補」領域 53W002 の解析研究にも触れたい。

Stellar Populations of Lyman Alpha Emitters at  $z \sim 6-7$

銀河 14c  
小野 宜昭 (東京大学 D2)  
ポスター発表 (口頭なし)

Lyman Alpha Emitters (LAEs) は高赤方偏移に普遍的に存在する銀河種族の一つだ。紫外連続光が弱い一方で、Ly $\alpha$  輝線が強いことから、LAEs は活発に星形成を行っている低質量銀河だと考えられている。後の時代により進化した銀河の部品となった可能性があり、銀河進化を理解する上で重要な銀河種族だ。 $z=3-5$  では最近数多くの研究が報告され、大部分の LAEs がダスト吸収の影響をほとんど受けていない若い低質量銀河だとわかってきた (e.g., Lai+2008, Ono+2010a)。しかし  $z>5$  はまだ観測例が極めて限られている。そこで我々は SXDS 領域で撮られた可視から中間赤外までの画像を組み合わせ  $z=5.7$  と  $6.6$  にある LAEs の spectral energy distributions を求め、モデル SEDs との比較からそれらの stellar populations を調べた (Ono+2010b)。この講演ではその結果を報告し、さらに SED モデルに nebular emission を適切に考慮する必要があることや、宇宙再電離への示唆などについても触れたい。

- [1] Lai, K., et al., 2008, ApJ, 674, 70
- [2] Ono, Y., et al., 2010, MNRAS, 402, 1580
- [3] Ono, Y., et al., 2010, arXiv:1004.0963

$z = 2.48$  の電波銀河 4C 23.56 領域における星形成銀河と原始銀河団の形成

銀河 15c  
鈴木 賢太 (東京大学 D1)  
ポスター発表 (口頭なし)

本発表では、電波銀河 4C 23.56 周囲における

AzTEC/ASTE 1.1mm サーベイの結果を報告する。4C 23.56 は  $z = 2.48$  に存在する FR II 型の電波銀河である。近年、4C 23.56 の周囲 ~ 数 10 平方分の領域における多色撮像及び分光観測により、ライマンアルファ輝線銀河やバルマーアルファ輝線銀河などの星形成銀河の個数超過が確認された (Tanaka, in prep.)。さらに同領域における赤外多色撮像より、進化の進んだ赤色銀河の個数超過も確認されている (Knop et al. 1997, Kajisawa et al. 2006)。これらの先行研究から、4C 23.56 を中心とした原始銀河団の存在が示唆され、その中で各銀河の形成段階と分布が明らかにされつつある。

我々はこの領域において、ダストの吸収によって可視、赤外からは確認できない星形成銀河の、ダスト熱放射による検出を目指し、ミリ波帯連続波観測を行った。AzTEC/ASTE を用いた観測により、4C 23.56 周囲 ~ 166 平方分において、 $1 \sim 0.6 \text{ mJy/beam}$  のイメージを得、その中から 32 のサブミリ波銀河 (SMGs) 候補を得た。今回の観測から得られるような、ダストの放射によって検出される SMGs は、 $z \sim 2-3$  に多く存在する、星形成率 ~ 1000 太陽質量/年という爆発的星形成期にある銀河である (Chapman et al. 2005)。SMGs は星形成を終えて  $z \sim 2$  に存在する赤色巨大銀河へ進化すると予想されている。AzTEC サーベイによって 4C 23.56 に付随する原始銀河団において SMGs の存在を確認することで、この原始銀河団における、形成期銀河の存在を明らかにすることができる。

本講演では、AzTEC/ASTE サーベイの結果を用い、4C 23.56 に付随する原始銀河団における、SMGs の存在及び個数超過について議論する。さらに、得られた SMGs サンプルに対する多波長観測による赤方偏移推定、物理量推定についても述べる。

- [1] Chapman S. C., Blain A. W., Smail I. & Ivison R. J., 2005, ApJ, 622, 772
- [2] Kajisawa, M., Kodama, T., Tanaka, I., Yamada, T. & Bower, R., 2006, MNRAS, 371, 577
- [3] Knopp, G. P. & Chambers, K. C., 1997, ApJS, 109, 367

COSMOS 天域におけるライマンブ레이크銀河 (LBG) のサイズ進化

銀河 16b  
鎌田 美香 (愛媛大学 M1)  
8月3日 17:03 C会場

宇宙が誕生してから今の姿になるまでに銀河がどのように形成してきたかは、未だ完全には解明されていない。現在の理論的な銀河形成のシナリオでは、ダークマター (DM) ハローの中で銀河が形成され進化してきたと考えられている。よって、観測的にそれを証明することは非常に重要である。具体的には DM ハローの中で銀河が形成されるとすると、回転速度が一定の場合は  $R \propto (1+z)^{-2/3}$ 、また質量一定のときは  $R \propto (1+z)^{-1}$  (銀河のサイズ  $R$ 、赤方偏移  $z$ ) という関係があり、銀河形成はこの関係に沿っているとされている。我々はこの関係が観測的にもいえることなのかを調べるため、銀河のサイズと赤方偏移の関係を調べた。データは COSMOS 天域のすばる望遠鏡や HST の約 200 万個の天体から、2 色図を用いて  $u' \cdot B \cdot V$ -dropout (赤方偏移で  $z \sim 3-5$ ) のライマンブ레이크銀河 (LBG) のデータを用いた。また、銀河のサイズは ACS 画像を用いて半光度半径を測定した。そして、本研究では銀河のサイズ進化は  $z \sim 3-5$  ではおおまか

$R(1+z)^{-1}$  に沿っているという結果を得た。講演ではこの結果から何が考察できるのかを議論する。

- [1] Ferguson, H. C., et al., 2004, ApJ, 600, L107
- [2] Bouwens, R. J., 2004, ApJ, 611, L1

銀河  
17b

### ミッシングサテライト問題の再定義と矮小銀河の星形成抑制過程から見た問題解決について

林 航平 (東北大学 M1)  
8月3日 17:06 C会場

Cold Dark Matter(CDM)に基づく銀河形成理論は、1Mpc以下の小スケールにおいて、観測と矛盾が生じている。ミッシングサテライト問題はその一つであり、銀河系サイズの銀河ハローには、数百~数千のサブハローが存在しているという理論結果に対し、銀河系やアンドロメダ銀河にはせいぜい数十個程度しか発見されていない。

この問題の解決には、様々な候補が挙げられている。観測にかからない暗い銀河の存在や、Warm Dark Matter(WDM)によってサブハロー数に制限をかける等、サブハローの数が一致するような研究がなされている。しかし、ある固定した半径(600pc)内でのmass functionで考えると、個数だけでなく関数の傾き自体が全く合っていないことが分かった。これは、そもそもの銀河形成論の解釈が間違っている可能性がある。

そこで、矮小銀河の星形成に着目して銀河形成について考察していく。すると、矮小銀河の星形成を抑制するメカニズムは、今まで考えられてきたUV heatingやSN feedbackとは異なる、質量依存したメカニズムが考えられることを示唆した。本発表は、A.Kravtsov(2010)のレビューである。

- [1] Kravtsov, A., 2010, AdAst, 2010, 1

銀河  
18a

### Diffuse interstellar PAH emission in the LMC observed with the AKARI/IRC

梅畑 豪紀 (東京大学 M1)  
8月3日 18:00 C会場

これまでに、様々な天体、領域において、中間赤外線領域のスペクトルに顕著な emission バンドが見られることが知られている(HII領域、渦巻銀河、楕円銀河、ダストの拡散光など)。これらの emission バンドは赤外線未同定(UIR)バンドと呼ばれ、3.3, 6.2, 7.7, 11.2, 12.7  $\mu\text{m}$ の付近に見られるものが代表的である。これらを担っているのは多環式芳香族炭化水素(PAH)、或いはQCCのようなPAHに類するものではないかと言われている。

我々は赤外線天文衛星「あかり」に搭載された近・中間赤外線カメラ(IRC)を用いて5-14  $\mu\text{m}$ の中間赤外線領域で大マゼラン星雲(LMC)中の拡散光のスリット分光観測を行った。スリット位置はNANTENによる12CO(1-0)の観測やIRASの12,25,60,100  $\mu\text{m}$ の観測の結果を用いて、分子雲が存在しなかつ輻射環境が異なると予想される場所をLMC全体から7つ選んだ。観測の結果、うち6個の領域については顕著なUIR-bandが検出された。得られたスペクトルから6.2  $\mu\text{m}/11.2 \mu\text{m}$ 、7.7  $\mu\text{m}/11.2 \mu\text{m}$ のバンド強度比

を測定し、スリット位置周辺の12  $\mu\text{m}/25 \mu\text{m}$ 、60  $\mu\text{m}/100 \mu\text{m}$ のcolor ratioも勘案することで星形成領域及びその近辺における多環式芳香族炭化水素(PAH)の電離度の変化を推定することができた。今回の解析で、PAHの電離度は光解離領域(PDR)が支配的な領域で最も高く、HII領域の割合が高い場所ではそれよりも小さくなること、PDRより外側の分子雲領域では電離度は非常に低いことが示唆された。

- [1] Sakon, I., et al., 2008, IAU Symposium, 251, 241

銀河  
19a

### 銀河進化から見たダスト減光の諸物理量への依存性の研究

長屋 文子 (名古屋大学 M1)  
8月3日 18:15 C会場

銀河の形成・進化の理解において星形成史は本質的である。星は進化の最終段階で重元素を供給し、その多くは星間空間では固体微粒子(ダスト)の形で存在する。ダストはUVや可視光を減光し赤外線再放射する。星形成銀河は本来OB星起源のUVが強いはずだが、活発な星形成はダスト形成を伴うため、銀河の星形成は自身の生み出したダストに隠され、UV観測だけでは真の星形成率(SFR)を求めることはできない。しかし、現状では遠方銀河の赤外線観測が難しいので、ほとんどの場合FIRとFUVの光度比(IRX)とUV color( $\beta$ )との相関(IRX- $\beta$ 関係)を用いて減光量を推定している。ところが、実はIRX- $\beta$ 関係は大きな分散を持つため、この方法は再検討する必要がある。

本研究では、AKARI(FIR)、GALEX(UV)、2MASS(NIR)、SDSS(optical)、IRAS PCSz(redshift)のデータを用い、近傍銀河についてIRX- $\beta$ 相関の比星形成率(SSFR)、星質量、全赤外線(TIR)光度、FUV光度への依存性を検証した。まずSFRが大きくなるとIRX- $\beta$ 図上で左下(青くて減光は小)から右上(赤くて減光は大)へと移行していくことを発見した。同様の傾向はTIR光度にも見られた。また、SSFRが大きく星質量が小さい銀河は左下に集中し、SSFRが小さく星質量が大きい銀河は右上にも広がる。これは金属量が小さい青い銀河が成長して金属量が増大し、減光の強い大きい赤い銀河へと進化していくという連続的な進化の軌跡を示唆している。一方で、SFR、SSFR、星質量、FUV光度、TIR光度のすべてが大きい銀河がいくつか存在した。これらの銀河は非常にエネルギー豊富であり、連続的な星形成史から予想される進化の軌跡からも大きくずれているため、複数の銀河の衝突合体などの激しい現象が起こっていると予想される。発表では、これらの結果を銀河のスペクトル進化モデルを用いてより定量的に議論する。

- [1] Takeuchi, T. T., et al., 2010, A&A, 514, A4
- [2] Meurer, G. R., Heckman, T. M., & Calzetti, D., 1999, ApJ, 521, 64
- [3] Kong, X., Charlot, S., Brinchmann, J., & Fall, S. M., 2004, MNRAS, 349, 769

銀河  
20a

### miniTAO 望遠鏡近赤外カメラANIRによる近傍LIRGsのPa観測

館内 謙 (東京大学 M1)  
8月3日 18:30 C会場

LIRGs(Luminous InfraRed Galaxies) は、その光度の大部分が温められたダストによる再放射であり、主な動力源は starburst や AGN だと考えられている。これらの銀河では星形成や interaction/merger が盛んであるため、その光度や星形成率:SFR(Star Formation Rate)を理解することは、銀河の進化や星形成を理解する上で非常に重要となってくる。

SFR を算出する方法は現在までに多く考えられており、紫外線、再結合線、禁制線、遠赤外線などその方法は多岐にわたる。その中でも特に、若い大質量星の直接のトレーサーである水素の再結合線 H $\alpha$  は、の良いトレーサーとして知られている。しかし、1. extinction のきつい場所ではその効果を大きく受けてしまう。2. 他の輝線 (NII 輝線) による影響を受けてしまう。という点でその不定性を大きくしてしまう。そこで同じ水素の再結合線である Pa $\beta$  (1.875  $\mu$ m) を用いることで、extinction の効果を軽減し、他の輝線の影響を受けなくすることができる(狭帯域フィルタ撮像時)が、大気中の水蒸気による強い吸収のせいで、地上からの観測が困難であった。

2009年6月より本格観測の開始した、南米チリ・チャナトール山頂(標高5640m)に設置され東京大学アタカマ1m望遠鏡(miniTAO)/近赤外線観測装置ANIRは、その標高と低い水蒸気量のおかげで地上からは難しいPa $\beta$ の観測が可能となっている。本講演では、現在までに行われた、22天体の近傍LIRGsのPa $\beta$ -offバンドフィルタ観測の結果をもとに、そこか分かってきたPa $\beta$ で算出されたSFRの結果や特徴について考察する。

### 野辺山 45m を用いた LIRGs の $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ サーベイ観測

銀河  
21a

山下 拓時 (東京工業大学 M1)  
8月3日 18:45 C会場

LIRGsは太陽光度の $10^{11}$ 倍以上の赤外線光度を持つ銀河であり、近傍のLIRGsにおいては、そのエネルギー源として銀河同士の相互作用による激しい星形成もしくはAGNが考えられている。一方、太陽光度の $10^{12}$ 倍以上の赤外線光度を持つULIRGsは多くは銀河合体の最終段階と関係しており、このことからLIRGsでは銀河合体の様々な過程を我々に見せてくれるであろうと期待される。またLIRGs, ULIRGsは銀河合体が活発な星形成活動を引き起こすきっかけとなっていることを示唆している。

本研究ではLIRGsの銀河合体の各過程が星形成や赤外線光度にどのような影響を及ぼすのかの理解を目的としている。星形成の議論には星形成の母体となる分子ガス量の情報が不可欠であるが、LIRGsに関して無バイアスな分子ガス量の観測はなされていなかった。我々はLIRGsそれぞれの分子ガス量を得るために、57個のLIRGsについて $^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 輝線サーベイ観測を野辺山45m望遠鏡を用いて行った。

$^{12}\text{CO}(J=1-0)$ 輝線により算出される銀河の分子ガス質量と赤外線光度とは、強い正の相関が知られている。赤外線光度には赤外線天文衛星「あかり」の全天サーベイデータを用いて、これらLIRGsからの遠赤外線放射の起源が、激しい星形成活動で説明できるのか、それとも他のエネルギー源(例えばAGN)を必要とするのかの区別と、星形成活動や銀河合体の過程を説明することを試みている。今回の観測結果からLIRGsにつ

いて上記の相関は弱いことがわかった。その原因は、観測したLIRGsはそれぞれ様々な種類のエネルギー源を持つと考えられ、また通常銀河も含んでいるためにばらつきが生じたのであろうと考えられる。発表では45mでの観測結果とともに上記の相関について議論したい。

[1] Armus, L., et al., 2009, PASP, 121, 559

[2] Kennicutt, R. C., 1998, ApJ, 498, 541

[3] Takeuchi, T. T., et al., 2010, A&A, 514, A4

### 矮小不規則銀河 NGC4449 の潮汐尾における星形成

銀河  
22a

三澤 瑠花 (東京学芸大学 M2)  
8月3日 19:00 C会場

一般に星形成現象は低温ガスやダストが濃密に存在する銀河の渦状腕や棒構造などで発現すると考えられている。しかし近年、銀河系外縁部に相次いで早期B型星やyoung stellar objectが発見され、さらには幾つかの渦巻銀河に対しても、可視半径( $R_{25}$ )よりも外側に複数のH $\alpha$ 源が検出された。これらは物質密度が稀薄な領域における大質量星形成という、従来のパラダイムとは異なる星形成プロセスの可能性を示唆しており、銀河外縁部における星形成領域に注目することで、新たな視点から星形成現象にアプローチできると思われる。

NGC4449はgas-richで典型的な矮小不規則銀河であり、現在も活発な星形成を行っている。また過去に、同じくgas-richな矮小不規則銀河であるDDO125と銀河間相互作用を起こしたことが指摘されており、N体シミュレーションからは0.5Gyr前に最接近した可能性が示されている。我々は東京大学木曾観測所105cmシュミット望遠鏡と2kccdカメラを用いた近傍銀河のHII領域の多色撮像観測を行っており、その中でNGC4449の南側にtidal tailと思しき構造を検出した。HunterらのVLAによる21cm輝線分布観測から、tidal tailと同じ領域にも稀薄ながらHIの存在が認められ、このtidal tailでの星形成が期待されている。なお、Smith et al.等ではtidal featureにおける星形成の研究が報告されているが、いずれも通常サイズ以上の銀河であり、本研究の対象である「矮小」不規則銀河NGC4449はこれらとは一線を画するものである。発表者は今年4月までに取得したデータの解析状況とそこから導きだされる結果について議論する。

[1] Hunter, D. A., et al., 1998, ApJ, 945, L47

[2] Theis, C. & Kohle, S., 2001, A&A 370, 365

[3] Smith, B. J., et al., 2010, AJ, 139, 1212

### Star formation efficiency in the Barred Spiral Galaxy NGC 4303

銀河  
23c

百瀬 莉恵子 (東京大学 D2)  
ポスター発表(口頭なし)

We present new  $^{12}\text{CO}(J=1-0)$  observations of the barred galaxy NGC 4303 using the Nobeyama 45m telescope (NRO45) and the Combined Array for Research in Millimeter-wave Astronomy (CARMA). The H $\alpha$  images of barred spiral galaxies often show active star formation in spiral arms, but less so in bars. We quantify the difference by measuring star forma-

tion rate and efficiency at a scale where local star formation is spatially resolved. Our CO map covers the central 2.03 arcmin region of the galaxy; the combination of NRO45 and CARMA provides a high fidelity image, enabling accurate measurements of molecular gas surface density. We find that star formation rate and efficiency are twice as high in the spiral arms as in the bar. We discuss this difference in the context of the Kennicutt-Schmidt (KS) law, which indicates a constant star formation rate at a given gas surface density. The KS law breaks down at our native resolution (250 pc), and substantial smoothing (to 500 pc) is necessary to reproduce the KS law. Once smoothed, the difference appears as the scatter of the relation, but does not break the relation.

銀河  
24b

### VERA による銀河系外縁部回転曲線 I: IRAS 05168+3634 の年周視差測定

坂井 伸行 (鹿児島大学 M2)  
8月3日 19:15 C会場

VERA を用いた IRAS 05168+3634 の年周視差計測の初期成果として、 $96 \pm 37 \mu\text{as}$  という結果を得た。これはエラーは大きい、太陽からの距離に直すと  $10.4 \pm 4.1\text{kpc}$  に相当し、銀河系外縁部の高精度回転曲線を構築する上で、極めて有用な天体である事を示唆する。回転曲線は質量分布を明らかにする為、銀河研究を行う上で重要なツールとして、系外銀河を始め、古くから求められてきている。(e.g., Brand (1984)) しかし銀河系に関しては、観測の制約から内縁部と外縁部に対し構築の方法が違う。また内縁部に関しては終端速度を使う方法で精度よく構築されているが、外縁部に関しては終端速度が使えない為、これまでいくつかの方法で求められてきてはいるが、依然精度良く求められていない。(Honma & Sofue, 1997) VERA を用いて回転曲線を構築する利点は、i) 距離の測定精度が 10kpc で 10%、ii) 円運動など種々の仮定が入らない、と言う事が挙げられ、これまで銀河系外縁部回転曲線の不定性の主要因と考えられてきた項目を共に克服できる。(Honma, et al., 2007)

そこで我々は、銀河系外縁部回転曲線の高精度化の為、VERA を用いた銀河系外縁部水メーザー源の観測を、2009/10/03 より行っており、現在も観測・解析共に継続中である。今回の発表では、銀河系外縁部回転曲線を構築する為の、i) Outer Rotation Curve project の紹介と、これまでの結果として、ii) 観測・解析結果の紹介、を主に行う。

- [1] Honma, M. & Sofue, Y., 1997, PASJ, 49, 453
- [2] Honma, M., et al., 2007, PASJ, 59, 889
- [3] Oh, C. S., et al., 2010, PASJ, 62, 101

銀河  
25b

### 銀河系外縁部 OB 型候補星の分光追観測

鈴木 豊 (鹿児島大学 M2)  
8月3日 19:18 C会場

我々は、銀河系外縁部にて発見された OB 型候補星の分光追観測を行い、銀河中心距離 20kpc を超える B 型星を発見した。

銀河系のガスディスクの構造はこれまでに詳しく調べられ、半径 20kpc 程度まで指数関数的に広がっていることがわかっている。それに対し、星ディスクの構造は Robin et al 1992 によって銀河中心距離 14kpc 程度で cut off があると調べられた。しかし、その手法には様々な改善点があり、銀河系円盤の真の端を見ていない可能性が高い。さらに、近年では銀河中心距離 14kpc を超える領域にも OB 型星が発見されている。そこで、我々は木曾観測所シュミット望遠鏡を用いて銀河系外縁部 (銀経  $l=161^\circ-213^\circ$ ,  $b=0^\circ$ ) の UBVI サーベイ観測を進めてきた (Kiso Outer Galaxy Survey, KOGS プロジェクト)。2 色図と色等級図より OB 型候補星を選び出し、各々の星について光学的距離を求めた。その結果、今まで考えられていたよりも遠く、銀河中心距離 20kpc を超えるような OB 型星が存在する可能性が示唆された。

そこで本研究では、スペクトル型の決定精度を向上させるために、岡山天体物理観測所 188cm 望遠鏡と可視低分散分光器 KOOLS を用いて、OB 型候補星の中でも銀河中心距離が 20kpc を超えるような天体を選定し、分光追観測を進めている。OB 型星の判断材料としては、HeI, HeII の吸収線の有無と H $\gamma$ , H $\delta$ , H $\epsilon$ , Mg+Fe の吸収線強度の比較を用いる。

現状では 25 天体中少なくとも 2 天体は B 型星であり、他にも B 型星の可能性が高い天体が含まれていることがわかっている。これらの天体はいずれも銀河中心距離が 20kpc を超える天体である。本結果は銀河系星ディスクに cut off は存在せず、半径 20kpc を超えて星が分布している可能性を支持するものである。

- [1] Kobayashi, N., Yasui, C., Tokunaga, A. T., & Saito, M., 2008, ApJ, 683, 178
- [2] Nakanishi, H., & Sofue, Y., 2003, PASJ, 55, 191
- [3] Robin, A.C., Creze, M., & Mohan, V., 1992, ApJ, 400, L25

銀河  
26b

### 磁気流体シミュレーションと 3 次元 の大局的銀河磁場構造の研究

中村 翔 (東北大学 M1)  
8月3日 19:21 C会場

磁気流体シミュレーションによって降着円盤、太陽現象、星形成、銀河、銀河団プラズマの詳細な研究がされつつある昨今だが、特に我々のいる天の川銀河の磁場の構造決定は急がねばなるまい。CMB よりも手前に存在する我々の銀河中心や disk は強力な synchrotron 放射を出し、宇宙論の最先端の研究を行おうとしている専門家たちの邪魔をしているからである。この邪魔者を差し引く (宇宙背景放射に対して、前景放射を成分分離する) ためにも天の川銀河の大局的・局所的な磁場構造を知っておくことが必要不可欠である。またこれは天の川銀河の構造解明に大きく貢献すると思われ、science としても十分興味をそそられる。今発表では磁気流体の基本方程式の簡単な紹介を行うとともに、Lax-Wendroff スキームで作成したコードを用いて銀河円盤をシミュレーションした結果を示す予定である。その結果により明白となった物理過程に焦点を当て、今後さらにシミュレーションを進める上で入れるべき物理過程について触れる (シミュレーション結果が正しく出ない場合や考察が十分でない場合には、代わりとして既に同様の研究がなされている参考文献の review を行う)。

- [1] Nishikori, H., Machida, M., & Matsumoto, R.,

## Determining Star Formation Timescale and Pattern Speed in Nearby Spiral Galaxies

銀河  
27a

中尾 光 (北海道大学 M1)  
8月4日 14:45 B会場

本講演は発表タイトルの論文 (Egusa et al. 2009) のレビューである。渦巻銀河の巻き込み問題は渦巻腕が星の重力場を作る波のパターンであるとする密度波理論 (Lin, Shu 1964) によって解決された。この密度波による渦巻腕の角速度 (パターンスピード) は渦巻銀河を研究する上で重要なパラメータであるが、パターンスピードは実際の物質の運動速度ではないため、観測により直接求める事はできない。このため様々な方法でパターンスピードの決定がおこなわれており、本講演でレビューする論文はパターンスピードの決定方法を提唱している最近の論文である。この論文では渦巻銀河のパターンスピードと星形成のタイムスケールを同時に決定する方法を提唱している。

[1] Egusa, F., Kohno, K., Sofue, Y., Nakanishi, H., & Komugi, S., 2009, ApJ, 697, 1870

## 銀河円盤は銀河合体をどう切り抜けて生き残るか

銀河  
28a

若山 真梨子 (北海道大学 M1)  
8月4日 15:00 B会場

銀河の衝突合体の過程は銀河進化を論じる上で重要な要素であり、銀河が過去に衝突合体を繰り返してきた観測的証拠も実際に見つかっている。本講演では、先行研究である銀河合体の膨大なシミュレーションの結果を力学的なモデルにより説明できることを示した論文、Hopkins et al. (2009) を紹介する。

衝突によって銀河の円盤はどのように進化するのだろうか。ある特徴的なスケールに存在するガスは、合体によって迅速に角運動量を失った結果銀河中心に向かって落ち込み、そこで活発な星形成を行う。著者らのモデルではそうして消滅する円盤の成分及び、角運動量を致命的に失うかあるいは激しい緩和に達することなく生き残り、円盤を再形成する要素について論じる。彼らのモデルは先行研究であるシミュレーションの結果とよく一致し、短いタイムスケールでは星間ガスや活動銀河核のフィードバックに依存しない物理学で記述可能であること、ガスリッチな銀河における合体では銀河同士の質量の比率が大きい場合でも円盤が生き残ることが示される。

[1] Hopkins, P. F., et al., 2009, MNRAS, 397, 802

## 円盤銀河同士の合体シミュレーション

銀河  
29c

笠井 互 (東北大学 M1)  
ポスター発表 (口頭なし)

2010年の Monthly Notices of the Royal Astronomical Society に投稿された円盤銀河同士の合体シミュレーションについて紹介する。合体前の2つの銀河の

質量比や回転軸、軌道を変えることによって8種類の衝突シミュレーションを行った。その結果、構造的特徴は軌道に強く依存するが、化学的な特徴はどのシミュレーションでもほとんど変わらないことが分かった。

[1] Richard, S., et al., 2010, MNRAS, 402, 1489

## 銀河衝撃波に伴う Wiggle Instability の再検討

銀河  
30a

菊池 大輔 (千葉大学 M1)  
8月4日 15:15 B会場

M51 など渦状銀河の腕には、スパーク構造と呼ばれる枝状の構造が見られる。このスパーク構造の起源として、Wada & Koda (2004, MN, 349, 270) は、衝撃波により圧縮されたガス層での強い速度シアーにより発生する wiggle instability を提案した。この不安定は多くのシミュレーションで確認されてきたが、私たちは計算法を変えることにより wiggle instability が抑えられることを見出したので報告する。

[1] Wada, K., & Koda, J., 2004, MNRAS, 349, 270

## 銀河系ハローの星の軌道離心率分布から探る銀河系形成史

銀河  
31a

服部 公平 (東京大学 M2)  
8月4日 15:30 B会場

銀河系のハローは近似的に無衝突系であると考えられており、現在のハローの星の運動は銀河系形成初期の運動状態を反映しているものと考えられている。特に、ハローの星の軌道離心率は「断熱不変量」だと考えられており、離心率分布は銀河系初期の運動状態を統計的に議論する上で非常に有用である。ハローの星の離心率を計算するためには、銀河系の重力ポテンシャルおよび3次元の位置・速度の正確な観測が必要であるため、現在の観測技術では太陽近傍 4 kpc 以内のハローの星に対してのみ離心率が求められている (Carollo et al. 2010)。そこで我々は、現在の観測結果から銀河系形成初期のハローの運動情報を探ることを目指し、「太陽近傍」のハローの星の離心率分布を解析的な銀河系モデルを用いて計算した。

我々の理論計算によって、ハローの星の分布関数  $f(r, v)$  が定常であり、速度分散の非等方向性が太陽近傍の観測結果と一致するような場合、ハローの星の離心率分布はある特徴的な形状を示すことが判明した。すなわち、軌道エネルギーごとのハローの星の離心率分布を考えると、ディスク星 (例えば太陽) と同程度のエネルギーをもつハローの星は平坦な離心率分布を示し、ディスク星よりも大きい、または小さいエネルギーをもつ星の離心率分布は、低離心率側の欠けた「階段関数的」な形状を持つことが判明した。

この結果を観測結果に応用すれば、銀河系のハローの力学状態を定量的に議論することができる。たとえばハローの星を軌道エネルギーごとに分類していくつかのグループを作り、各グループごとに離心率分布を作る。このとき、ハローの星が力学平衡にあれば、各グループの離心率分布は我々の理論計算と似た形状を持つはずであり、逆にハローの星が非平衡であれば、その性質が離心率分布に反映されるはずである。我々はこの結果を SEGUE サーベイの結果に応用することを考えている。

- [1] Carollo, D. et al., 2010, ApJ, 712, 692  
 [2] Eggen, O. J., Lynden-Bell, D., & Sandage, A. R., 1962, ApJ, 136, 748  
 [3] Hattori, K. & Yoshii, Y. 2010, MNRAS, in press

**Search for plasma heating mechanisms in non-cD clusters**

銀河  
32a

Sengul Ozden (東京大学 M1)  
 8月4日 17:30 B会場

About 12 % of the mass of a typical cluster of galaxies is carried by diffuse X-ray emitting hot plasma, called intracluster medium (ICM), which has a temperature of typically  $10^{7-8}$  K. Clusters of galaxies can be classified into two types: One type of them, called a cD cluster, has a huge elliptical, central-Dominated (cD) galaxy at its center. An object of the other type, called a non-cD cluster, has several galaxies at its center, instead of a single cD galaxy. Previous observations with ROSAT, ASCA, Chandra, and XMM-Newton revealed clear difference in the central ICM properties between cD and non-cD clusters. The ICM in a cD cluster is far from being isothermal, showing a strong cool component over its central 100-200 kpc. The ICM of non-cD clusters are nearly isothermal over the whole cluster volume, without evidence of the cool component.

A closer look at a prototypical non-cD cluster, Abell 1060, reveals that the ICM is even hotter inside a central ~200 kpc radius region (Sato et al. 2007). This suggests the presence of some ICM heating mechanisms in central regions of non-cD clusters. Although several possible heating mechanisms have been considered so far, like supernovae and active galactic component, Makishima et. al. (2001) speculate that the motion of central galaxies may provide an important source of heating at the central region of non-cD clusters.

To examine this possibility, we will systematically analyze Suzaku and XMM-Newton data of several non-cD clusters. By accurately measuring the ICM temperature distribution in their central regions, we will search for evidence of ICM heating therein. The results will be compared with optical information, including the galaxy velocity dispersion in particular.

**X線天文衛星「すざく」によるケンタウルス座銀河団の重元素分布の決定**

銀河  
33a

佐久間 絵理 (東京理科大学 M1)  
 8月4日 17:45 B会場

銀河団の X 線放射は高温の銀河団ガスによるものである。このガスには質量で約 1% の重元素が含まれており、その起源を調べることで銀河団の化学進化の歴史に迫ることができる。重元素は主に恒星の内部で合成され、超新星爆発によって星間・銀河間空間にばらまかれる。超新星爆発には 2 種類あり、太陽質量程度の恒星の最期である Ia 型超新星と、太陽質量の 8 倍以上の恒星の最期である II 型超新星に分類される。酸素とマグネシウム (Mg) は全て II 型超新星から合成されるので、そ

の量を決めることは重元素合成における II 型超新星の寄与を決める上で重要である。今回用いたすざく衛星はバックグラウンドノイズが小さく、低エネルギー側でのエネルギー分解能が良い。そのため銀河団の中心領域以外での酸素や Mg の検出に威力を発揮する。

ケンタウルス座銀河団は明るい近傍銀河団 ( $z = 0.0104$ ) の一つで、XMM 衛星<sup>[1]</sup> や Chandra 衛星<sup>[2]</sup> で中心領域 (半径約 150 kpc) の重元素分布について調べられている。しかしこれらの衛星ではより広範囲での Mg の検出は不可能であった。本研究ではすざく衛星のアーカイブデータを用い、X 線強度中心から半径約 300 kpc で酸素・マグネシウム・珪素・硫黄・アルゴン・カルシウム・鉄の計 7 つの元素について重元素量を求めた。この中でも II 型超新星のみから合成され、酸素に比べて誤差の小さい Mg は中心から 100 kpc 以上離れた範囲ではほぼ一定で約  $0.8Z_{\odot}$  となり、XMM 衛星の同範囲での結果よりも大きな値が得られた。Mg と主に Ia 型超新星から合成される鉄の重元素量を比較すると、外側ほど II 型超新星の寄与が大きかった。また解析領域全体での鉄に対する各重元素の組成比は太陽とほぼ同じであった。よってこの銀河団で今までに起こった Ia 型・II 型超新星の比率は銀河系と同様と考えられる。本講演では以上の結果とともに鉄の質量光度比についても議論する。

- [1] Matsushita, K., Böhringer, H., Takahashi, I., & Ikebe, Y., 2007, A&A, 462, 953  
 [2] Sanders, J. S. & Fabian, A. C., 2006, MNRAS, 371, 1483

**SDF 天域における  $z \sim 6$  の原始銀河団の探査**

銀河  
34a

利川 潤 (総合研究大学院大学 M1)  
 8月4日 18:00 B会場

銀河団は重力的に束縛された宇宙で最も大きなスケールの構造である。宇宙の構造形成を理解するためには、その構成要素となる銀河団の形成を調べることが必要である。近傍だけでなく、遠方の宇宙においても銀河団へと進化していくと予想されるいくつかの原始銀河団が発見されてきている。初期銀河団形成を発見するためにはさらに遠方の観測が必要になる。しかし銀河団はそもそも数密度が少なく、高赤方偏移ではさらに発見が難しくなる。そこで原始銀河団の発見には、広い領域での探査が必要となってくる。

今回、我々はすばる望遠鏡主焦点カメラを用いて得られた、SDF 領域における広視野撮像データの解析を行った。その結果、赤方偏移  $z \sim 6$  の LBG の数密度が高い領域を発見した。その密度超過は  $3\sigma$  以上である。さらに原始銀河団領域の構成銀河候補の分光データを解析し、この領域が確かに  $z \sim 6$  であることを確かめようとしている。本講演では原始銀河団探査における先行研究、及び我々の  $z \sim 6$  における原始銀河団探査の進捗状況について説明する。

**GPU を用いた天体物理シミュレーション**

銀河  
35a

田中 賢 (筑波大学 M1)  
 8月4日 18:15 B会場

近年の天体物理シミュレーションは大規模であり計

算量の多い。このようなシミュレーションを高速に行う方法の一つとして GPU(Graphics Processing Units ; コンピュータで画像処理を行う部分) を用いることが注目されている。GPU は、CPU より多くのコアを内蔵しており、同時に多くの計算が可能となっている。GPU には映像処理以外での演算処理を可能とする GPGPU(General-purpose computing on graphics processing units) 総合開発環境というものが用意されており、様々な天体物理シミュレーションを行うことができる。

今回は NVIDIA 社の GPU を用いた「CUDA (Compute Unified Device Architecture)」という環境を用いて N 体シミュレーションを実装したので性能評価を行った。また、GPU を用いた N 体シミュレーションの先行研究 [1][2] があるので、過去との比較も行った。さらに輻射輸送計算にどのように応用するかなども議論する。

[1] Hamada, T. & Iitaka, T., 2007, arXiv:astro-ph/0703100

[2] Belleman, R. G., Bédorf, J., & Portegies Zwart, S. F. 2008, *New Astronomy*, 13, 103

.....

太陽・恒星分科会

## Babcock-Leightonの太陽ダイナモモデル

恒星  
01a

三津谷 浩平 (新潟大学 M1)  
8月3日 15:30 A会場

太陽のさまざまな活動現象の多くは磁場によって支配されている。例としては黒点などが挙げられる。この黒点の分布は太陽の赤道に対し、対称性をもつ。太陽の平均磁場は約22年の周期をもち、磁場の向きは約11年周期で反転する。未だにこの磁場反転の機構は明らかにされていない。この磁場反転についてのモデルの一つとして Horace W. Babcock と Robert B. Leighton によるものがある。このモデルは、太陽の差動自転の磁場の引き伸ばしによって、ポロイダル磁場からトロイダル磁場を作り、トロイダル磁場の一部が太陽表面に向かって磁気浮力で上昇するが、その際にコリオリ力を受けて回転する。すると、元と反対向きのポロイダル成分が生成される。表面に現れたポロイダル磁場が極域に向かって拡散していき、やがては、大局的なポロイダル磁場の向きが反転するというものである。本発表は、H.W. Babcock, 1961 についてのレビューを行う。

## 年輪中に含まれる $\Delta^{14}\text{C}$ の太陽周期 (宮原ら (2008)) の測定誤差を含めた解析

恒星  
02a

菊地 里実 (埼玉大学 M1)  
8月3日 15:45 A会場

現在、地球温暖化は確信のある事象として一般に受け入れられているが、そのメカニズムの多くは未解明である。その謎を解明する手がかりの一つとして、太陽活動の変動が地球の気候に影響を及ぼす要因であることが注目されている。過去の太陽と気候の変動を解明する手がかりとしては、年輪中の  $^{14}\text{C}$ 、氷床中の  $^{10}\text{Be}$  などが挙げられる。これらの核種は、太陽活動の影響 (飛来する宇宙線の変動) を受けて生成し、地球の大気中と堆積の過程でさまざまな影響を受けるため、結果的に、得られるデータは多くのノイズを含むことになる。よって、データ中のノイズを考慮して信頼度の高い結果を得ることは、正確な解析を行う上で極めて重要なことである。

本発表では、Miyahara et al., EPSL 272 (2008), 290 の  $\Delta^{14}\text{C}(\%)$  のデータを再解析した結果を報告する。Miyahara et al. では、 $\Delta^{14}\text{C}(\%)$  のデータの中心値をウェーブレットで解析したことによって  $9 \pm 1$  年の周期を報告している。本研究は、データについてモンテカルロ法によって、エラーバーの範囲を広げて正規分布に従う乱数をふり、新たに作成したデータセットに、フーリエ周期解析を適用した。その結果得られたピークの値を平均したものは、誤差も含めてほぼ Miyahara et al. の結果に一致した。また、乱数をふる回数を増やして回数ごとに値を平均した結果のピークは、一定値に収束した。しかし、ノイズが大きいために、ピークの信頼度を確かめることが必要となった。ピークの信頼度はノイズを考慮することにより、統計的に求めることができる。本研究は、エラーバーを考慮せずに太陽活動と気候変動の周期を解析することが、結果に与える影響を提示する。

[1] Miyahara et al., 2008, EPSL, 272, 290

## 太陽黒点活動と地球環境について (レビュー)

恒星  
03b

山本 真央 (名古屋大学 M1)  
8月3日 16:00 A会場

太陽黒点活動の変動は「11年周期」に代表される黒点の数と面積の変動が良く知られている。太陽黒点活動と地球環境の間に何らかの関係があるのではないかと考えられているが、その詳しいメカニズムや理由は未だ明らかにされていない。太陽黒点の変動は、TSI、紫外線や電波、惑星間磁場、フレア、CME (Coronal Mass Ejection)、地磁気変動、宇宙線などとも相関することから、どのような物理過程が地球環境に影響を与えているかを調べる必要がある。また、太陽に起因する気候変動を理解することは現代と将来における人為的な気候変動を把握する為にも重要な課題である。

本講演では、太陽黒点の変動に関する観測的事実と共に、太陽黒点活動の地球環境影響について Joanna D. Haigh の The Sun and the Earth's Climate (Living Reviews in Solar Physics) を基に、レビューする。特に、TSI だけではなく太陽放射スペクトルと気象の観測データ、地球の放射エネルギー収支、雲などの関係について検討し、そのメカニズムについて議論することにより、太陽黒点活動そのものとそれによる地球への影響についての理解を深めたい。

## X線衛星すざくによる矮新星 Z Cam のアウトバースト直前観測

恒星  
04b

齊藤 慧 (東京大学 D1)  
8月3日 16:03 A会場

矮新星は、白色矮星と晩期型主系列星の連星系である激変星の一種であり、ときおり可視光で2-5等級明るくなるアウトバーストが特徴的である。伴星からの質量降着の結果、降着円盤に質量が蓄えられ、降着円盤の温度が上昇する。ある臨界密度を超えると、降着円盤の熱不安定性によって蓄えられた質量が一気に白色矮星へと落下する。これがアウトバーストの原因である (Osaki 1996)。X線は、白色矮星表面と降着円盤内縁に形成される境界層の高温プラズマから放射される。アウトバースト時には光学的に厚くなるため、制動放射による冷却の影響が大きくなり、X線はソフトになる。硬X線放射が抑制されるため、X線で暗くなる。また、アウトバースト時には降着円盤からwindが生じることが、紫外線やX線を用いた観測から示唆されている (e.g., Knigge et al. 1997; Baskill et al. 2001)。

我々は2009年4月にX線衛星すざくを用いて、Z Cam型矮新星のプロトタイプであるZ Camの観測を行った。観測フェイズは可視光でアウトバーストを起こす直前および遷移期である。観測中にX線で減光を示していないことから、降着円盤の熱不安定性が降着円盤内縁まで伝わっていないと考えられる。そのX線スペクトルには電離度の異なる3本の鉄輝線 (6.4, 6.7, 7.0 keV) が存在し、また、HXD/PIN検出器で~40 keVまで伸びる硬X線放射を検出した。さらに、低エネルギー側のスペクトルを説明するためには星間吸収だけでは説明できず、星間吸収量より一桁以上大きな吸収体が必要であることが分かった。この吸収体は降着円盤からのwindであると考えられる。このことは、降着円盤内縁まで熱不安定性が伝わる前にも、windが存在していることを示唆している。

恒星  
05b

恒星進化の概要と課題  
高山 正輝 (東北大学 M1)  
8月3日 16:06 A 会場

今日までの研究で、星は一般に生まれてから様々な phase を経て死へと向かうことが分かっている。さらにはどの phase をたどるか、すなわち進化 track は initial mass や metallicity などによることが知られている。そういった意味では恒星物理学は天文分野の中で最もよく理解されている分野とも言える。しかしながら、よく分かっている phase や track がある一方で、未だ課題が多く活発な議論が交わされている分野も少なくない。そこで今回のポスターでは小質量星から大質量星まで全ての星の進化の道筋と、各 phase での未解決問題や今後の展望などを網羅的に紹介する。

恒星  
06b

太陽フレアでの粒子加速のレビュー  
後藤 智子 (名古屋大学 M1)  
8月3日 16:09 A 会場

太陽フレアは太陽外層大気で磁場のエネルギーが解放されるときに生じる爆発現象である。太陽フレアが起こると、電波からガンマ線まで幅広い波長帯で増光現象が見られる。太陽フレアは 1859 年にキャリントンによって初めて観測されたが、その発生メカニズムや粒子の加速機構は未だに解明されていない。本発表では、R.P.Lin(2006)の太陽での粒子加速のレビューをもとに、観測から分かった太陽フレアの姿や粒子加速などについて紹介する。

太陽フレアで加速された電子やイオンが太陽大気と衝突すると、硬 X 線やガンマ線が放射される。従って、太陽フレアでの粒子加速を知るためには X 線やガンマ線の観測が不可欠である。2002 年、X 線やガンマ線の観測に特化した RHESSI 衛星が打ち上げられ、太陽フレアで粒子加速が起こる場所が分かってきた。太陽フレアの footpoint からは硬 X 線が観測される。これは、コロナ中で加速された電子が彩層に衝突することで硬 X 線を放射するためだと考えられる。また、フレアループの上方からも硬 X 線が観測され、Shibata et al.(1995)のフレアモデルを支持する観測結果となった。イオンの加速によって生じるガンマ線もフレアの footpoint から観測されたが、その放射領域は先にあげた電子のものとはずれていた。これより電子とイオンは別の機構で加速されることが示唆される。

また、RHESSI 衛星の太陽での高エネルギー粒子の観測と合わせて、Wind 衛星や ACE 衛星などの地球近傍での SEPs(solar energetic particles)の測定も進んでいる。太陽フレアが起こるとコロナ質量放出(CME)が生じる。これによって SEPs が加速されると考えられているが、太陽の高エネルギー粒子と SEPs の関係は明らかになっていない。これら太陽・地球近傍の高エネルギー粒子の関係についても紹介する。

[1] Lin, R. P., 2006, Space Science Reviews, 124, 233

恒星  
07a

大質量星における s-process 元素合成  
菊池 之宏 (九州大学 M2)  
8月3日 16:15 A 会場

He 燃焼段階での  $^{23}\text{Ne}(\alpha, n)^{25}\text{Mg}$  反応により中性子が過剰になる。この中性子を捕獲し、不安定核になった核子が  $\beta$  崩壊を起こし安定になる。こうして質量数を増加する過程を s-process という。s-process では最大で Fe よりも重い Bi まで合成されると考えられる。進化過程での s-process 生成物は超新星爆発時の元素合成に大きく影響を及ぼすことが知られている。大質量星進化の s-process による元素合成及び超新星爆発の計算を行わなければ、銀河の化学進化を理解することはできない。

本研究では数値計算により s-process が大質量星の元素合成に与える影響を調べた。初期条件は主系列時代に  $9\sim 70M_{\odot}$  のものを用いて、He 燃焼段階からの恒星進化計算を行った。その結果得られた温度、密度の時間発展を基に元素合成計算を行った。発表ではその詳細を報告する。

[1] Rausher, T., Heger, A., Hoffman, R. D., & Woosley, S.E., 2001, ApJ, 576, 343

[2] Rayet, M., Hashimoto, M., & Chinen, M. 1998, Nature and Culture, 25, 39

恒星  
08a

全天 X 線監視装置 MAXI/GSC による激変星の調査  
松村 和典 (中央大学 M1)  
8月3日 16:30 A 会場

激変星 (CV : Cataclysmic Variables) は白色矮星と晩期型主系列星の近接連星系であり、その分類によって突発的な増光や長期的な変動が確認されている。これらに対して、2009 年 8 月から国際宇宙ステーションの日本実験棟きぼうで運用が開始された全天 X 線監視装置 MAXI(Monitor of All-sky X-ray Image)のデータを用いて解析を行った。MAXI に搭載されている GSC(Gas Slit Cameras:ガス比例計数管)は 2-30keV の帯域に感度を持ち、この帯域の全天監視カメラとして最高感度を持つ。現在までの観測データにおける全天調査で CV はおよそ 20 天体確認され、最大 Flux は  $1.2\text{e-}10[\text{ergs}/\text{cm}^2/\text{s}]$  と求められた。本講演では確認された CV の統計的な調査について報告する予定である。

恒星  
09a

3次元電磁流体シミュレーションによる太陽モートン波の研究  
玉澤 春史 (京都大学 M1)  
8月3日 16:45 A 会場

1960 年に Moreton による H 観測により発見されたモートン波は、彩層上を波のような擾乱が太陽半径 (70 万 km) 程度の距離を 1000km/s 程度の速度を保ったまま伝播する現象である。伝播の広がりが 90 度程度に限られるという特徴的な振る舞いをする。現在ではコロナ層におけるエネルギー解放の結果生じた磁気流体ファーストモード衝撃波が彩層に入射することにより生じる現象だと考えられている。大規模フレア (10 の 30 乗 erg 以上) の 10% の頻度でしか観測されない珍しい現象であり、またそもそも波源であるフレアでの発生機構も未

解明であることから、モートン波を解析することにより波源である大規模フレア自体の解析、さらにはコロナの構造の解析にまでつながる。本研究では観測で得られた磁場を初期値とした3次元MHDシミュレーションによりモートン波の再現を試み、その伝播過程の解析を行っている。本講演ではその経過報告を行う。

太陽を含む恒星風、特にM型星風の惑星に対する影響の研究  
(PARKER.PASJ.1958の紹介)

恒星  
10a

西島 豪宏 (京都大学 M1)  
8月3日 19:00 A会場

今回の講演では、1958年のParker et al.の論文に基づき、太陽風についての説明をおこなう。太陽風とは、太陽のコロナ層における水素のプラズマ(電離気体)が加速されて吹き出てくるものである。太陽表面から星間ガスまでの間にあるガスの状態を記述する物理モデルとしては、Parker以前はガスが静止していると仮定したモデルが考えられていた。Parkerはこのモデルでは無限遠でのガスの圧力が星間ガスの圧力より極めて大きくなって矛盾が生じると指摘し、太陽の表面から動径方向へ定常的なガスの流れがあると仮定するモデルを作った。このモデルに基づくと、太陽風が500km/s~1500km/sまで加速される様子を説明することができる。現在は、太陽を含む一般的な恒星風、特にM型星風の惑星に対する影響を調べ、宇宙生物学と関連付けて研究をしている。

太陽と恒星のダイナモ

恒星  
11a

堀田 英之 (東京大学 M2)  
8月3日 19:15 A会場

太陽では11年(極性を考えれば22年)の磁気活動周期があることが知られているが、これはダイナモ機構によって維持されていると考えられている。ダイナモとは電離したプラズマが磁場を引きのばすなどして、運動エネルギーを磁場のエネルギーに変える仕組みのことを言う。Dikpati & Charbonneau(1999)は磁束輸送ダイナモモデルを提案し、運動学的数値シミュレーションを用いて太陽活動の特徴を再現することに成功した。また最近では、Rempel(2006)がMHDの磁束輸送ダイナモシミュレーションをおこない、活動周期における差動回転の変動の再現までもを可能にした。このように、太陽ダイナモの物理機構は、徐々に分かり始めているという段階である。

一方、太陽以外の恒星にも磁気活動があることがCaのHK線の観測により示唆されている(Wilson 1978など)。そこで、太陽ダイナモで得られた知見を恒星に適用することで恒星におけるダイナモを理解しようという試みがいくつか行われている(Jouve et al. 2009など)。自転速度などのパラメータを変えた時に作られる磁場を知ることは昔の太陽を知る上でも重要である。しかし、これらの研究では速度場は与え、磁場の誘導方程式のみを解くという運動学的手法が取られている。運動学的ダイナモは、線形問題に近く太陽と違うパラメータで作られる磁場の強さについて言及することは困難である。そこで我々はRempel(2006)の考えに従って、太陽と違うパラメータのMHDダイナモを実行することとした。その前段階として回転を速くした時の恒星内部の差動回

転の様子を数値計算したところ、回転が速ければ速いほど回転軸と角速度の等値線が平行であるテイラーブラウドマンの状態になりやすいことを発見した。これは速い回転速度に対して十分に速い子午面環流が流れないためエントロピー勾配が作り出せないことが原因である。また、このような差動回転からつくられる磁場はどのようなものかについても議論することとする。

飛騨天文台ドームレス太陽望遠鏡偏光観測

恒星  
12a

阿南 徹 (京都大学 D1)  
8月4日 11:15 A会場

偏光は磁場や電場などによる光源又は媒質の異方性によって生じる。また異方性を生じる物理量に対する感度はスペクトル線によって異なる。このことから飛騨天文台では、高波長分解能分光器を持つドームレス太陽望遠鏡(DST)を用いて、広波長域(380-1600nm)多波長で高精度な偏光観測を可能にする偏光分光装置の開発をおこない、新しいプラズマ診断手法の開拓に繋げることを目指している。

装置はDST、回転波長板、Wollaston Prism、分光器及びCCDカメラからなる。私は既設の偏光解析装置(Kiyohara et al. 2004)を改良し、波長板を連続的に回転させ直交2偏光成分を同時に連続的に撮像することで、 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ の精度で偏光観測できるようにした。また太陽からの偏光を正しく導出するため装置の偏光特性を測定した。具体的な方法としては、太陽中心の連続光(理想的な無偏光)と偏光板を用いて、既知の偏光状態を持つ光を装置に入射させ、出力された光の偏光状態を測定し装置の偏光特性モデルと比較することで、装置の偏光特性モデルを記述するいくつかのパラメータを決めた。本講演では偏光観測装置の仕組みおよび開発状況について報告する。

[1] Kiyohara, J., Ueno, S., Kitai, R., Kurokawa, H., Makita, M., & Ichimoto, K. 2004, in Proc. SPIE, 5492, 1778

太陽観測衛星「ひので」による太陽極域と静穏領域の太陽磁場について

恒星  
13a

伊藤 大晃 (名古屋大学 D3)  
8月4日 11:30 A会場

太陽の観測の規模は異なるものの、かなり前から行われており、黒点観測などは数百年前から行われてきた。太陽を取り巻く磁場についても、いままでに多くの研究者が興味を持って研究されており、太陽フレアやコロナ質量放出の発生、コロナ加熱問題、太陽風の加速など多くの太陽現象に関係しているとされている。特に太陽から吹き出す太陽風の加速については様々な研究がされているものの、その加速機構については完全に解明されていない。太陽極域には巨大なコロナホールと呼ばれる高速太陽風が吹き出す源とされている領域があり、この領域の磁場を解析することは高速太陽風の加速機構の解明にとって非常に重要である。また、太陽赤道域に出現するコロナホールや活動領域の縁付近からは低速な太陽風が吹き出しているとされ、その領域の磁場も太陽風の加速機構を解明する上で非常に重要である。

しかし、太陽の南北極領域は、構造的に地球からの詳細な観測が難しく、従来の地上や衛星では微細な構造を

観測できなかった。2006年に日本の太陽観測衛星「ひので」が打ち上げられ、この「ひので」に搭載されている可視光磁場望遠鏡によって太陽表面を最大0.2秒角の高分解能で現象や光球面磁場を観測することが可能になり、太陽極域を今まで以上の分解能での解析が可能になった。高解像度な観測により太陽極域の詳細な磁場構造と性質が分かってきた。

私は「ひので」の可視光望遠鏡を用いて極域コロナホールと静穏領域の磁場構造や性質の比較研究を行った。その結果、kG磁場パッチや磁場構造などが極域コロナホールと静穏領域で大きく異なり、極域コロナホールと静穏領域の水平磁場のフラックス量が観測領域、観測日時ともに異なるのにもかかわらずほぼ同量存在することが初めて分かった (Ito et al., 2010)。本発表では、それらの結果について報告する。

[1] Ito, H., Tsuneta, S., Shiota, D., Tokumaru, M., & Fujiki, K. 2010, ApJ, in press

[2] Tsuneta, S., et al., 2008, ApJ, 688, L1374

[3] Ishikawa, R. & Tsuneta, S. 2009, A&A, 495, 607

### 太陽偏光分光観測による光球-彩層間の磁場解析

恒星

14a

大井 瑛仁 (茨城大学 M1)

8月4日 11:45 A会場

国立天文台乗鞍コロナ観測所 25cm コロナグラフでは、SiII 10827Å と HeI 10830Å の偏光分光観測が試みられてきた。これらの波長は赤外域にありランデ因子が大きいので、ゼーマン分離による磁場診断が行いやすいという利点がある。光球で生成される Si のスペクトル線と彩層上部で生成される He のスペクトル線を同時に観測することで、光球から彩層上層への磁場のつながりを推定することが期待される。

我々は 2009 年度乗鞍コロナ観測所共同利用観測にて、9000Å 以上の近赤外線に感度のある赤外カメラを導入し、活動領域 (NOAA 11027) の偏光分光観測を行った。取得したデータの円偏光は、光球、彩層ともに太陽磁場による信号を検出していた。直線偏光は、光球では信号が確認できたが、彩層では信号がノイズと同程度であり検出不能であった。本研究では光球と彩層の円偏光分布図を黒点、プラージュ、静穏領域に分け 2 層の相関を見た。

まず、本データの静穏領域では信号がノイズと同程度であり、相関は見られなかった。太陽偏光を十分に取得していない領域では、光球-彩層間で無相関になることが確認できた。次に、プラージュは比較的相関が高かった。光球と彩層で共に太陽偏光を取得している領域では、相関が高くなることが確認できた。最後に、後続黒点では相関が高く、先行黒点では相関が低い。これについて黒点の領域を細分化して相関をとったところ、黒点の中心部で相関が低くなっていた。以上の結果にスペイン IAC の HAZEL による彩層磁場診断結果も交えて活動領域の磁場構造を議論したい。

[1] Choudhary, D. P., Suematsu, Y., & Ichimoto, K. 2002, Solar Physics, 209, 349

### H-alpha wing で見た太陽彩層の温度構造

恒星

15a

上田 航平 (東京大学 M2)

8月4日 12:00 A会場

彩層はプロミネンスやスピキュールなどの活発な現象が見られる領域であり、また energy balance の観点などからも注目されている領域である。しかし、その温度構造については、いまだ確立された観測手法が存在しない。

Cauzzi et al. (2009) は、NSO/Sacramento Peak の IBIS を用いた H $\alpha$  線 (656.3nm) と Ca II 線 (854.2nm、Ca IR) の 2-D imaging spectroscopy から、H $\alpha$  の line width が彩層の温度を強く反映することを指摘した。この論文の結果を踏まえ、我々は、「ひので」可視光望遠鏡の Narrowband Filter imager を用いて、静穏領域を H $\alpha$  wing (line center から  $\pm 600\text{m}\text{\AA}$ ) で撮像し (HOP 135)、両 wing の intensity の和から line width マップを作成した。観測は H $\alpha$  wing のみの高時間分解能 ( $\sim 10$  秒 cadence) 観測および Fe I 5250 shutter-less での偏光撮像も行った光球磁場との同時観測 ( $\sim$  秒 cadence) の 2 種類を行った。

得られた「ひので」line width の画像は、観測波長点数の多い IBIS と酷似しており、「ひので」により IBIS より遥かに高い安定度と均一性で、彩層の温度マップがムービーとして得ることができていることが分かった。このようにして求めた彩層温度マップムービーは、空間スケール  $\sim 1$  秒角、時間スケール 10 秒程度で変化する多様で特徴的な構造がある。特に顕著なのは、垂直磁場パッチの周りで、長さ  $\sim 10$  秒角、幅  $\sim 1$  秒角程度の加熱された磁力線が放射状に広がっている構造が見られ、それらが数十秒のタイムスケールで変化していることである。これは、磁場の canopy 構造に沿って集中的な加熱と熱の拡散が断続的に起きていることを表している。

今回の発表では、彩層温度マップムービーを紹介し、速度場や水平磁場との相関があるか、磁氣的加熱と斜めの磁束管による音波加熱の可能性などについて議論する。

[1] Cauzzi, G., Reardon, K., Rutten, R., J., Tritschler, A., & Uitenbroek, H., A&A, 503, 577

### EUV ジェットの多波長観測

恒星

16a

松井 悠起 (東京大学 M1)

8月4日 12:15 A会場

太陽大気中ではジェットと呼ばれる活発な活動が X 線や極端紫外線 (EUV) で観測されている。物理的な機構は磁気リコネクションであることがほぼ確からしいとされているが、加速機構には磁氣的な加速と彩層蒸発による圧力による加速が考えられている。

2006 年に打ち上げられた「ひので」衛星に搭載されている極端紫外線撮像分光装置 (EIS) は EUV の分光観測を行うことが出来る。プラズマが運動していると、ドップラー運動によって波長が変化する。分光観測によって波長の変化を観測することで、プラズマの速度を知ることが出来る。また、EIS はスリットをずらしながら分光観測を行うことで分光観測と同時に撮像観測が可能となっている。これによってプラズマのダイナミックな運動を観測できる。

2007 年 6 月 5 日に起きた活動領域 10960 でのジェットの観測の解析を行った。EIS でこのジェットに伴う

非常に強いブルーシフトを観測することに成功した。このブルーシフトは、He II 輝線 (約 8 万度プラズマ) でも観測され、ドップラー速度は約 150km/s となった。この速度は約 8 万度プラズマの音速を遥かに超えているため圧力による加速とは考えにくく、磁気的な加速であると考えられる。

恒星  
17a

### 太陽コロナで発生する X 線ジェットの研究

佐古 伸治 (東海大学 M2)  
8 月 4 日 13:30 A 会場

太陽コロナは 100 万度以上の高温プラズマで占められており、太陽フレアなどの様々な活動現象が観測される。その太陽コロナは、太陽フレアなど大規模な活動現象が発生する活動領域、高温プラズマが少なく、X 線強度の弱い領域のコロナホール、活動領域以外の磁場の弱い閉じた磁場構造を持つ静穏領域の 3 つに分けることができる。

このように特徴が異なる領域を持つ太陽コロナで発生する活動現象の中で、われわれは X 線ジェットに注目した。X 線ジェットは細長く、先のとがった高温プラズマの噴出現象であり、ほとんどの X 線ジェットは活動領域付近で発生していると思われていた。2006 年に打ち上げられた太陽観測衛星「ひので」に搭載された X 線望遠鏡 (XRT) により、今までにない高空間・時間分解能による太陽極域観測が行われた結果、活動度が低いと思われていた極域のコロナホール内で、X 線ジェットが頻繁に発生していることが明らかになった。しかし、太陽極域で発生する X 線ジェットの特徴は詳細には調べられておらず、特にその発生する領域の磁場構造別で異なる特徴をもつかどうかはわかっていない。

我々は、2007 年 9 月にひので/XRT にて撮像された太陽北極域付近の約 162 時間の X 線画像データより、848 例の極域 X 線ジェットを検出し、その特徴を統計的に調べた。また、極域と赤道付近での X 線ジェットの特徴を比較するために、赤道付近のリムに近い静穏領域をひので/XRT が撮像した約 90 時間分の X 線画像データを用い、98 例の X 線ジェットを検出し、その特徴を極域の場合と比較した。

[1] Shimojo, M., Hashimoto, S., Shibata, K., Hirayama, T., Hudson, H. S., & Acton, L. W., 1996, PASJ, 48, 123

[2] Savcheva, A., et al. 2007, PASJ, 59, S771

恒星  
18a

### 共生星 V407 Cyg の BVRIy バンド観測

中川 辰一 (大阪教育大学 M1)  
8 月 4 日 13:45 A 会場

共生星 (symbiotic star) V407 Cyg はミラ型星と白色矮星の連星系で、ミラ型共生星 (symbiotic Mira) とも呼ばれている。また、連星系のうち片方がミラ型星であるがために、V407 Cyg は星周ダストをもつとされ、D 型共生星 (dusty symbiotic star) である。この V407 Cyg が 2010 年 3 月に増光した。これは V407 Cyg の観測史上 3 度目の増光でありながら、最も明るく急激なものであった。我々は大阪教育大学天文台に設置されている 51cm 反射望遠鏡と冷却 CCD カメラを用いて V407 Cyg の BVRIy バンドの測光観測を続けている。今回は

得られた光度曲線をもとにして研究の経過を報告する。

恒星  
19a

### 小口径望遠鏡による WR137 と WR140 の可視低分散分光観測

今村 和義 (岡山理科大学 D1)  
8 月 4 日 14:00 A 会場

Wolf-Rayet 星 (WR 星) は 1867 年に C. Wolf と G. Rayet によって、直視分光器で初めて発見された天体である。可視域に He, C, N, O などの幅の広い輝線を示し、ドップラー速度幅は数千 km/s に達している。さらに WR 星は輝線の現れ方から、窒素の輝線が卓越する WN 星、炭素の輝線が卓越する WC 星、酸素の輝線が卓越する WO 星に大別されている。WR 星は大質量星で進化の末期段階にあるため超新星との関連が示唆されており、また質量放出量も大きく、銀河の化学進化にも大きく寄与していると言われている。

今回観測を行った WR137 (V1679 Cyg) と WR140 (V1687 Cyg) は共に WC 星と O 型星の binary であり、軌道周期は WR137 で約 13 年、WR140 で約 8 年であることが知られている。ephemeris より WR137 は 2010 年、WR140 は 2009 年に近星点通過を向かえるため、我々は近星点通過に合わせて継続的に分光観測を行ってきた。観測は岡山理科大学田辺研究室天文台にて行い、機材は Celestron C11 ( $D = 28\text{cm}$ , F10) と SBIG DSS-7 ( $R \sim 400$ ) を用いている。本講演では近星点通過前後における輝線の強度変化などについて議論する予定である。

[1] Marchenko, S. V. et al., 2003, ApJ, 596, 1295

[2] van der Hucht K. A., 2001, New Ast. Rev., 45, 135

[3] Williams, P. M. et al., 2001, MNRAS, 324, 156

恒星  
20a

### すざく衛星を用いた O 型連星 HD159176 の観測

山崎 恭平 (中央大学 M1)  
8 月 4 日 14:15 A 会場

HD159176 は若い散開星団 NGC6383 に存在している O7 と O7 の近接連星である。この天体はほぼ同質量で、星 2 つ分を挟んで 3.367 日周期の円運動をしていると考えられている (Pachoulakis, I. 1995)。HD159176 のような O 型星同士の連星系の X 線放射機構は、お互いの星風の衝突により生じた高温プラズマからのものであると考えられているが、まだはっきりとした説明はなされていない。

我々は今回、2010 年 2 月 19 日 ~ 20 日に「すざく」衛星で観測された HD159176 のデータを用い解析を行った。すざく衛星に搭載されている X 線 CCD カメラ (XIS) のデータを解析したところ、低エネルギー側で高い検出効率を持つ XIS1 (BI) のデータにおいて短期間のゆるやかな変動がみられた。またスペクトル解析においては、XMM-Newton 衛星の観測結果 (De Becker, M. et al. 2004) でも報告されている、高エネルギー側にテールが伸びている成分が今回のデータにもみられた。本講演ではこれらの解析の詳細な結果と、XMM-Newton 衛星の観測結果との比較を合わせて報告する。

## 「すざく」衛星による Sco(B0.2V)

恒星  
21b

の観測  
吉田 正樹 (立教大学 M2)

8月4日 15:00 A会場

現在早期型星からの X 線放射機構には様々なモデルが提唱されている。一つには星自身からの星風が作る衝撃波により加熱されたプラズマからの放射 (星風衝撃波モデル) がある。連星系の場合はお互いの星風同士の衝突により生じた高温プラズマからの放射 (星風衝突モデル) などもあり、統一的な放射機構のモデルはいまだなく、また非熱的放射として逆コンプトン散乱も予想されている。

近年磁場がないと考えられていた早期型星にも磁場の観測報告がでてきた。磁場の作用によって考えられている放射機構は早期型星の星風が磁場に束縛され、赤道付近で衝突し高温プラズマが生じるものである。2005 年に打ち上げられた「すざく」衛星を使用して Sco(B0.2V) の観測を行い、衛星に搭載されている軟 X 線検出器 XIS と硬 X 線検出器 HXD の解析結果を報告する。

## AKARI 遠赤フーリエ分光器による

恒星  
22b

Carinae 星周電離ガスの観測  
小坂 文 (東京大学 M2)

8月4日 15:03 A会場

Carinae 星は、銀河系内で最も重く明るい星の一つである。星の進化段階では、LBV(Luminous Blue Variable) に分類され、非常に不安定で周囲に大量に質量放出している。1840 年代に起こった大きな噴出によって現在では双極方向にガスやダストが広がって見える。Carinae 星が所属する Carina 星雲は、大質量星クラスターを抱え、分子雲と HII 領域の複雑な構造体が存在する、非常にエネルギーが高い領域である。

大質量星から放出される遠紫外線は、その周囲に HII 領域を形成するが、実際に出来上がる領域は非常に複雑である。遠赤外線波長域に存在する微細構造線は、減光の影響を受けないため、このような大質量星周囲の物理状態を探るのに有用であると言える。今回、「AKARI」遠赤フーリエ分光器による成果として

Carinae を中心とした約  $5' \times 10'$  のスペクトルイメージを紹介する。得られたイメージは、3つの微細構造線 [CII]158 $\mu$ m、[NII]122 $\mu$ m、[OIII]88 $\mu$ m である。それぞれの電離ポテンシャルはそれぞれ 11.26、14.53、35.12eV であり、[NII][OIII] は、共に電離ガス起源である。[CII] の起源はその電離ポテンシャルから、中性ガスと電離ガスの両方が考えられる事になる。[CII] のピークは、Carinae の双極アウトフロー方向に分布を示したが、[OIII] のピークはそれとは異なり、Carinae 以外の電離源の可能性が示唆されるものとなった。また [OIII] の強度は、[CII] や [NII] と比べて一桁も高い値を示している。[NII] は [CII] と近い構造を示した。3つの微細構造線の放出起源および、Carina 領域の物理状態について他波長観測と比較し、議論を行う。なお、AKARI のフーリエ分光器のラインのキャリブレーションについても発表する。

# 星間現象分科会

星間  
01a

大質量星形成領域におけるジェット/  
アウトフロー衝撃波の観測  
元木 業人 (北海道大学 D2)  
8月2日 15:00 C会場

ジェットおよびアウトフローは全ての星形成領域において普遍的に観測される現象であり、現在形成中の Young Stellar Object (YSO) の直接的な指標である。分子雲コアの重力収縮から原始星形成までを精密に取り扱った近年の磁気流体力学 (MHD) シミュレーションは、これらの質量放出現象が磁場を含んだ重力収縮および質量降着の帰結として自然に発生することを示しており (e.g., Machida et al. 2008)、収縮するガス雲からの角運動量の抜き取りの主要過程の一つと考えられている。こうした数値計算の結果は近傍の低質量星形成領域において実際に観測される高速ジェットと低速アウトフローの二重構造をよく再現している。一方大質量星形成に伴うアウトフローはその速度や形状において天体ごとのばらつきが非常に大きく、必ずしも MHD 的アウトフローの特徴が見てとれない。Beuther & Shepherd 2005 では観測事実を元に中心星の質量獲得に沿ったアウトフローの収束度が低下してゆくシナリオを提唱している。これは初期進化において純 MHD 的に駆動される収束のよいアウトフローに対し、質量増加に伴って輻射圧の寄与が増加することで収束が低下してゆくものと解釈される。

我々は H<sub>2</sub>O メーザーを用いたアウトフロー衝撃波の観測から、個々の YSO 近傍 1000 天文単位スケールのアウトフロー活動性についての研究を行っている。H<sub>2</sub>O メーザーはメーザークランプの寿命が 1 年程度と短く、衝撃波通過直後のガスをトレースすることができる。H<sub>2</sub>O メーザー源の中には 10 年以上にわたり長期的に衝撃波面の構造が安定なものと、間欠的にパーストと消滅を繰り返すものが存在するが、こうした違いはアウトフローの駆動要因の違いで説明できる可能性がある。本講演では H<sub>2</sub>O メーザーの変動性とアウトフローの活動性の関係について議論する。

[1] Beuther, H. & Shepherd, D., 2005, in Cores to Cluster: Star Formation with Next Generation Telescopes, ed. M. S. Nanda Kumar (New York: Springer), 105

[2] Machida, M. N., Inutsuka, S.-i., & Matsumoto, T., 2008, ApJ, 676, 1088

[3] Motogi, K., et al., 2008, MNRAS, 390, 523

星間  
02a

ASTE/AzTEC による星形成領域  
Lupus1 領域の観測  
大友 雄造 (東京大学 M1)  
8月2日 15:15 C会場

我々は、チリにあるサブミリ波電波望遠鏡 ASTE (Atacama Submillimeter Telescope Experiment) に搭載された 144 素子のボロメーターカメラ AzTEC を用いて、1.1mm ダスト連続波の観測を Lupus1 領域に対しておこなった。Lupus1 領域は、南天にある星形成領域の一つである。距離は 150pc 程度で星形成効率は 1% と星形成活動が比較的活発な低質量 (< 1 太陽質量) 星形成領域である。1.1mm 連続波はダストによる放射をみており、原始星や星なしコアを観測するのに適している。ボロメーターカメラの観測では大気成分を取り除くことが非常に困難である。我々はこ

の大気成分を取り除くのに主成分解析 (principal component analysis) という手法を用いた。ただしこの手法は広がった天体の放射も取り除いてしまう。そこで、広がった成分を残すために iterative mapping (fruit) という手法を用いている。この手法はサブミリ波電波望遠鏡 CSO (Caltech Submillimeter Observatory) に搭載されたボロメーターカメラ Bolcam のデータ解析でも使われている。得られた結果を用いて Lupus1 領域のコアの同定をおこない、それらの物理量 (質量、サイズ等) を調べた。なお、この講演はボロメーターカメラのデータ解析のレビューを行い、現在の Lupus1 におけるデータ解析結果の報告を行う。

[1] Tachihara, K., et al., 2001, PASJ, 53, 1081

[2] Young, K. E., et al., 2006, ApJ, 644, 326

[3] Scott, K. S., et al., 2008, MNRAS, 385, 2225

星間  
03a

「あかり」FIS-FTS による LMC の  
遠赤外線分光観測  
高橋 愛 (名古屋大学 M1)  
8月2日 15:30 C会場

私は、Large Magellanic Cloud (LMC) の中でも星形成活動が活発な 30 Doradus 付近について、遠赤外線分光観測データを用いて星間物質の状態を調べた。LMC は、銀河系から最も近い銀河であり約 50kpc 離れた場所に位置している。その中でも 30 Doradus は非常に活発に星形成が行われている領域であり、質量の大きい若い星が多く分布している。様々な波長域で高分解能の観測が多く行われているが、遠赤外線による詳細な分光観測は行われていない。遠赤外線の波長領域には、星間ガスの重要な輝線スペクトルが複数存在している。また、星間ダストからの熱放射を連続波として検出することができる。それらの情報を組み合わせることで、星間物質の状態を知ることが可能である。

赤外線天文衛星「あかり」の搭載された遠赤外線分光器 (FIS-FTS) 観測データを用いて解析を行った。FIS-FTS は 2 次元アレイ検出器で広い領域を 1 回で観測ができ、従来の観測装置よりも空間分解能が高いという利点がある。FIS-FTS の 60~100 $\mu$ m の波長域の解析結果を示す。解析の結果、ほとんど全てのデータ点でダスト連続波を、いくつかのデータ点で 2 階電離した酸素の放射する禁制線 [OIII]88 $\mu$ m 線を検出することができた。酸素を 2 階電離させるには 35eV というエネルギーが必要であるため、[OIII] 線は電離領域の中でも強い放射場の存在を示している。そこで電離領域の大きさを表す Strömgren 半径をガス密度一様で計算したところ、既知の OB 型星による水素の電離領域よりも広く、酸素が電離していることがわかった。このことから、30 Doradus 周辺のガス分布は非一様であり、多くの電離光子が漏れ出して遠くまで届いていることが示唆された。

星間  
04a

全天 X 線監視装置 MAXI を用いた  
星形成領域からの X 線観測  
鷗澤 明子 (中央大学 M2)  
8月2日 15:45 C会場

星形成領域は塵やガスの多い暗黒星雲にあり、昔から電波、赤外線、紫外線などの観測により原始星の周辺にある塵の情報は得られていた。しかし近年、宇宙技術の発達により天体からの X 線を観察できるようになると、

冷たいガスや塵の中で誕生した原始星でフレアが観測され、その規模は太陽の何千倍も激しい爆発である事がわかった。このように星生成領域におけるX線観測は非常に興味深い。

今回我々は星生成領域を、2-30 keV の帯域の全天監視カメラとして最高感度を持つ MAXI に搭載されている GSC (Gas Slit Cameras:ガス比例計数管) を用いて観測を行った。その結果、Oph からはX線のフレアが観測され、Orion 星雲からのX線も観測できた。本講演では、観測が開始された2009年8月から現在までの MAXI/GSC の全積分データを用いて得られた詳細な解析データについて議論する。

.....

## マグネターに付随する超新星残骸の観測的研究

星間

05a

中野 俊男 (東京大学 M1)

8月3日 9:00 C会場

マグネターは超強力な磁場を持つ中性子星と考えられる X 線源で、現在までに 20 個ほどが知られている。通常中性子星の磁場が 10 の 8 乗テスラ程度なのに対し、マグネターの磁場は 10 の 10~11 乗テスラにも達すると考えられている。マグネターを超強磁場の中性子星とみなす解釈は、1990 年代の半ばに提唱された。「すざく」衛星での硬 X 線観測などから、この超強磁場説は次第に説得力を増している。しかし依然としてその桁違いなまでに強力な磁場の発生メカニズムや、磁場が強力なだけに周辺外部への詳しい影響、そして何がきっかけで通常中性子星と異なる進化を遂げたのかなど多くの疑問が残されている。

中性子星は一般に、太陽の 10~20 倍の質量をもつ恒星が進化の最後に超新星爆発を起こし、中心部が重力崩壊することで作られると考えられる。そのさい周辺に吹き飛ばされた物質は、超新星残骸 (SNR) として残される。マグネターのうち数個は、じっさい SNR を伴っている。そこで、こうしたマグネターに付随する SNR を X 線で観測し、その温度、元素組成、電離状態などを、他の SNR と比較することで、マグネターの生成環境の手掛かりが得られるかもしれない。

マグネターは 2009 年度に「すざく」Key Project のテーマに選定され、重点的な観測が行われた。その一環として、X2259+586 と呼ばれるマグネターが 120 ksec にわたり観測され、そのさい付随する SNR である CTB109 も視野に入っていた。そこで私はこの CTB109 に注目し、データ解析に着手した。スペクトル解析の結果、シリコン (Si) のヘリウム状電離からの KX 線、マグネシウム (Mg) のヘリウム状電離からの KX 線、ネオン (Ne) のヘリウム状電離からの KX 線と思われる輝線が残骸部から確認できた。これらの結果について報告を行う。

.....

## 超新星残骸中の流体不安定性における物質混合

星間

06a

松尾 康秀 (九州大学 D1)

8月3日 9:15 C会場

超新星残骸とは、星が超新星爆発を起こした際に生じた衝撃波によって周囲の物質が加熱され、明るく輝く天体のことであり、銀河系内でも 200 個以上観測されている天体である。近年、比較的近傍に存在する超新星残骸

に対して高解像度な観測が行われている。これらの観測の中で、我々は超新星残骸中の元素分布に注目した。観測された超新星残骸の元素分布は多くの場合、非球対称な分布をしており、さらに超新星残骸 Cassiopeia A ではより重い Fe が Si の外側で観測されている。このような元素分布の観測は、超新星爆発の非球対称性を示唆し、また Cassiopeia A においては、Fe 層と Si 層が激しく混合されたことを示唆している。しかしこのような残骸中における物質分布についての議論はこれまでほとんどされてこなかった。

そこで本研究では残骸中の元素分布、特に Cassiopeia A で見られるような Fe 層、Si 層の物質混合に注目した。超新星残骸の元素分布を議論するため、超新星爆発直後から残骸形成に至るまでの計算を行った。星周物質は、RSG (red supergiant) wind のみ及び、RSG wind + WR (Wolf-Rayet) wind からなる分布を考慮した。また今回は Rayleigh-Taylor 不安定性によって Fe、Si 層がどれくらい物質混合を受けるのかを調べた。

本シミュレーションの結果、星周物質に WR wind が存在する方が Fe、Si 層は早く混合を受けることが分かった。reverse shock 付近は激しく物質混合が起きている領域である。WR wind が存在すると Fe-Si 境界面がこの reverse shock に早く衝突するため、より早く Fe、Si 層が混合を受けたのである。本発表ではその詳細を報告する。

[1] Badenes, C., 2010, PNAS, 107, 7141

[2] Hwang, U., et al., 2004, ApJ, 615, L117

[3] van Veelen, B., Langer, N., Vink, J., García-Segura, G., & van Marle, A. J., 2009, A&A, 503, 495

.....

## 天の川銀河に付随する高温プラズマの未知なる構造を探る

星間

07a

酒井 和広 (東京大学 M1)

8月3日 9:30 C会場

我々の天の川銀河には銀河に付随する形で 100 万度程の高温プラズマが存在する事が知られている。その起源は主に銀河面で起きた超新星爆発により高温物質が銀河全体へと転送されたと考えられているが、その 3 次元構造については未だ良く理解されていない。天の川銀河の構造へ理解を深めるためには高温プラズマの理解は不可欠である。この高温プラズマ内では高電離イオンと電子の相互作用により X 線が効果的に放射され、とりわけ酸素イオンが放射する X 線は星間物質の吸収を受けつつもなお我々のもとへ届く。本研究の目的は、この酸素イオンが放射する X 線を観測し、高温プラズマの温度分布、空間分布、密度分布などといった構造を明らかにすることである。

観測は酸素イオンの放射する X 線を効率よく検出することができる X 線天文衛星「すざく」の背面照射型高感度 CCD カメラを用いて行った。観測対象としては他の衛星等で天の川銀河の高温ガスによる吸収線が観測されている背景天体を選び、その近傍で特異な点源がない領域を観測してスペクトルを解析した。結果、100 万度程で放射する 6 階電離した酸素と 7 階電離した酸素の輝線を検出した。本研究で求めた輝線強度と過去の観測で得られた吸収線の等価幅を組み合わせれば、高温プラズマの 3 次元構造を検討することが出来る。本講演では、輝線と吸収線を組み合わせで得られる高温プラズマの構造を示し、本研究領域と先行研究の比較を議論する。

[1] Yao, Y., Wang, Q. D., Hagihara, T., Mitsuda, K., McCammon, D., & Yamasaki, N. Y., 2009, ApJ, 690, 143

[2] Yoshino, T. et al., 2009, PASJ, 61, 805

すざく衛星によるチャンドラ衛星超

星間

長時間観測領域の観測

08a

磯直樹 (東京大学 M1)

8月3日 9:45 C会場

宇宙に様に広がる X 線のうち、我々の銀河面に沿った放射は「銀河面リッジ放射」として知られている。そのスペクトルは以下の二つの大きな特徴を持つ。(1) 高エネルギー側 ( $> 10$  keV) でべき関数的な硬 X 線放射を持つ、(2) 3本の電離度の異なる鉄 K 輝線 (6.4, 6.7, 7.0keV) を持つ [1]。銀河面リッジ放射の起源は 20 年以上未解決の問題で、その起源として次の二説が提案されている。(1) 真に広がった高温プラズマガスからの放射 [2]、(2) 暗い X 線点源からの放射、である。チャンドラ衛星は、銀河面リッジ放射が強い (銀経, 銀緯)=(0.107, - 1.425) の領域を 900ks の超長時間にわたって観測し、その優れた空間分解能で個々の点源を分解した [3]。その結果、過去の観測に比べてはるかに多くの点源の検出に成功し、これらの重ね合わせで 6-7keV における放射の 80 % 以上が点源で説明できるとした。しかしエネルギー分解能が不足しているため、銀河面リッジ放射のスペクトルの特徴である 3本の鉄輝線を分解することはできなかった。

我々は同領域をすざく衛星を用いて約 100ks の観測をし、鉄輝線を 3本に分解することができた。それぞれの等価幅 (EW) は、 $EW_{6.4keV}=48$  eV、 $EW_{6.68keV}=280$  eV、 $EW_{6.97keV}=83$  eV となった。また、2-10 keV の表面輝度は  $1.1 \times 10^{-10}$  erg s<sup>-1</sup>cm<sup>-2</sup>deg<sup>-2</sup> となり、チャンドラ衛星の観測結果と比較すると 15 % 以上大きな値となった。本講演では、すざく衛星とチャンドラ衛星の観測結果の比較を行い、リッジ放射が本当に点源で説明できるのかどうか、検証する。加えて、すざく衛星による銀河面リッジ放射からの鉄輝線の銀緯依存性についても議論する予定である。

[1] Ebisawa, K., et al., 2008, PASJ, 60, S223

[2] Ebisawa, K., et al., 2005, APJ, 635, 214

[3] Revnivtsev, M., Sazanov, S., Churazov, E., Forman, W., Vikhlinin, A., & Sunyaev, R., 2009, Nature, 458, 1142

星間空間における乱流理論：Alfven

星間

波の乱流について

09a

木村 成生 (大阪大学 M1)

8月3日 11:15 C会場

星間空間における乱流理論について、P.Goldreich and S.Sridhar (1995) の論文のレビューを行う。

パルサーの周りの空間では電荷をもった粒子が存在し、電子密度の揺らぎが電波を散乱している。このため、電波パルサーからの星像に揺らぎが生じている。この揺らぎは観測的に波数ベクトル  $k$  の  $-11/3$  乗のべき型スペクトルをしていることが分かった。このことは乱流が原因と考えられた。そこで、中性流体の Kolmogorov 則を使って計算すると、そのスペクトルは観測されたものと一致した。しかし、上述のとおりパルサー周辺の空

間では粒子は電荷をもっており、さらに、磁場も存在するため磁場中のプラズマ波の乱流を考える必要がある。

今回、非圧縮の MHD で Alfven 波の乱流を考える。最初に乱流中の波の振幅が小さい弱い乱流を考える。この条件下での相互作用を考えると、エネルギースペクトルは波数ベクトルの背景磁場に垂直な方向の成分  $k_{\perp}$  の  $-10/3$  乗に比例する。このとき、 $k_{\perp}$  の大きな波へとエネルギーが流れていく。その結果、波の相互作用が強くなるため乱流が弱いという仮定が成り立たなくなる。そのため、強い乱流を考える必要がある。

強い Alfven 波の乱流でエネルギースペクトルを解析的に計算すると、1次元系でのエネルギースペクトルが  $k_{\perp}$  の  $-5/3$  乗に比例する。また、この条件下では電子密度の揺らぎのスペクトルと乱流のエネルギースペクトルが同じ形になる。そう考えると、今回得られた結果は観測で得られた星間空間での電子密度のスペクトルと一致している。

[1] Goldreich, P., & Sridhar, S., 1995, ApJ, 438, 763

[2] Sridha, S., & Goldreich, P., 1994, ApJ, 432, 612

磁気回転不安定性の発展段階における

星間

ダスト音波の影響

10a

白川 慶介 (東京大学 D1)

8月3日 11:30 C会場

磁気回転不安定性は磁化した差動回転する円盤で起こると考えられているプラズマ不安定現象である。この不安定性は 1959 年に Velikhov、次いで 1960 年に Chandrasekhar によって提案され、1991 年に Balbus and Hawley によってガス円盤における重要性が指摘された。この不安定性は回転円盤の中で、数回転の内に MHD 乱流を生成する事ができるため、強力な乱流粘性の効果を必要とする、降着現象や惑星形成論の中で重要な役割を担うと考えられてきた。一方で近年の研究から宇宙空間の物質の 1 % を占めるダストが荷電粒子との衝突や光電効果などの過程を経て  $10^3$  個程度の負の電荷を帯びる事がわかってきている。このような帯電ダストの電荷質量比は電子やイオンのものに比べて極めて小さいため、プラズマ波動の伝播現象やプラズマ不安定現象に様々な修正を加える事が指摘されている。

本研究では、こうしたダストプラズマが磁気回転不安定性の発展段階に及ぼす素過程に着目して、帯電ダスト成分を含む多流体のプラズマ方程式の線型解析を行なっている。この解析では各プラズマ成分の有限温度の効果を取り入れて解析を行ない、帯電ダスト成分が担う、ダスト音波と呼ばれる波動モードも同時に解いている。得られた結果から、磁場平行モードの極限ではダスト音波モードは磁気回転不安定性の発展にほとんど影響を及ぼさない事がわかった。今回は、ダスト音波の斜めのモードが磁気回転不安定性の発展に与える影響について議論したい。

[1] Balbus, S. A. & Hawley, J. F., 1991, ApJ, 376, 214

[2] Verheest, F., 2000, Waves in Dusty Space Plasmas, Kluwer Academic Publishers

星間  
11a

あかり衛星のデータを用いた近赤外  
宇宙背景放射の研究  
村田 一心 (総合研究大学院大学 M1)  
8月3日 11:45 C会場

近赤外宇宙背景放射 (CIB) とは、近赤外線観測した空の明るさから、星や銀河、黄道光などの前景成分を差し引いた後に残る成分のことである。CIB には点源として分解できない銀河系外背景光が含まれている。そのため CIB の観測は宇宙の歴史を知る上で重要である。CIB の強度には、銀河からの光の重ね合わせだけでは説明できない超過成分および空間的な揺らぎがあることが観測されている。この結果は、第一世代天体の情報を含んでいる可能性がある。しかし CIB の超過成分は、黄道光の差し引きに用いたモデルの不定性によるとの見解もあり、不定性のない結果を得る必要がある。黄道光とは惑星間ダストによる太陽光散乱成分である。ダストは黄道面に沿って分布しているため、黄道光の強度は黄極方向が最も低い。また、地球の軌道は黄道面から傾いているため、季節によりダストの視線方向の厚みが変化する。そのため黄道光の強度には季節変動がある。

本研究では、あかり衛星に搭載された近・中間赤外線カメラ (IRC) を用いて黄道光の強度を調べた。空の明るさにおいて、季節変動する成分は、黄道光成分だけと考えられる。そのため、同じ領域を1年以上観測したデータを解析すれば、黄道光の季節変動を調べられる。あかりは装置の安定性を評価するため、定期的に同じ領域を観測している (モニターフィールド: 赤経 268.8500、赤緯 66.6256)。そこで私はあかりによる 2~4  $\mu\text{m}$  の 2008 年 6 月から 2010 年 2 月までのモニターフィールドの観測データを解析し、空の明るさの季節変動を調べた。今後の課題として、モニターフィールドとそれ以外の領域の明るさの比較、明るさの空間分布を求めていきたい。

星間  
12b

強い輻射場の下での原始銀河雲の進化について  
稲吉 恒平 (京都大学 M2)  
8月3日 12:00 C会場

宇宙論的な初期条件から宇宙で最初に形成される星 (初代星) は、現在の宇宙で形成される星よりも比較的に大質量であることが分かっている。星の質量を決める上で最も重要なのは始原ガス雲の分裂過程である。宇宙初期の星形成において、低温の始原ガス中では水素分子の回転遷移輝線が冷却を担っている。そのため、まず始原ガス雲は  $10^4/\text{cc}$  以下の密度で水素分子により急激に冷却され、ジーンズ不安定により分裂し、その結果  $\sim 10^2 - 10^3 M_\odot$  の分裂片が形成され、その後周囲のガスが中心星に降着して星に進化すると考えられている。

しかし、一方で大質量星の影響下で進行する第二世代星の天体形成の際には、初代星からの紫外線の照射の効果を考える必要がある。強い紫外線は水素分子を解離してしまうため、冷却が効かず高温のままガスの収縮が進行する。このような高温のガスでは水素原子の原子冷却 (主に Ly  $\gamma$  輝線) が有効だが、ガスはほぼ等温のまま収縮するため、激しい分裂時期を経験しないことが予想される。ガスがこのような進化をたどると、最終的に超大質量の星 ( $\sim 10^6 M_\odot$ ) が形成される可能性が指摘されている。このような星は銀河中心に存在する超巨大ブラックホール (SMBH) の種として考えられている。第二世

代の星形成が起きているような宇宙では、初代星からの輻射による効果の他、ガスを電離する宇宙線や X 線などの効果も重要になってくると考えられる。本研究では、以上の効果も考慮したうえで、ガスが原子冷却による進化をたどるために必要な輻射の量を正確に見積もり、SMBH 形成の可能性を探った。

[1] Omukai, K., 2001, ApJ, 546, 635

星間  
13b

フィラメント状分子雲の重力収縮についての二次元輻射流体シミュレーション  
鐵 紘由紀 (東京工業大学 M2)  
8月3日 12:03 C会場

一般的に、恒星は分子雲の重力収縮によって形成される。なかでもフィラメント状をした高濃度領域において、多くの原始星・若い星が観測されている (Schneider & Elmegreen 1979)。よってフィラメント中での星形成理論が必要とされ、フィラメント形成 (Miyama et al. 1987) やその重力収縮 (Inuthuka & Miyama 1992 など) について、多くの研究者によって論じられてきた。

フィラメント状分子雲は自己重力によって収縮・分裂し、やがて星へと進化する。この分裂の際、その幾何学的性質に由来して、等温から非等温への転換が重要な要素となる。等温状態のフィラメントであれば、重力と圧力勾配の力の比が一定であり、いつまでも収縮を続けることができる。しかし非等温になると、この比が縮むほど小さくなり、やがては収縮が止まってしまう。そして重力収縮するフィラメントが分裂をするためには、等温状態から脱し、収縮が収まる必要がある (Inutsuka & Miyama 1997)。よって、フィラメントの収縮・分裂を論じるためには、その温度変化を重要な要素として考慮しなくてはならない。しかし先行研究では、フィラメント内のエネルギー輸送について、主たる冷却効果である輻射輸送の効果を正確には取り入れていなかった。このため熱的状态を正しく再現できておらず、その結果には疑問が残るものとなっている。

以上の問題点を解決するために本研究は、フィラメント状分子雲の進化について、輻射を考慮した二次元数値流体シミュレーションを行う。この際モデルとして、重力・圧力・輻射の効果を取り入れた、軸対称の無限に長いフィラメントを仮定する。また簡単な為、磁場・乱流・回転などの効果は無視することにする。これによって熱的状态をより厳密に再現できるのみならず、フィラメントの分裂までをも再現することができる。

星間  
14b

大質量星形成領域 Cepheus A における 6.7GHz メタノールレーザーのインフォール内部固有運動検出  
杉山 孝一郎 (山口大学 D3)  
8月3日 12:06 C会場

レーザー放射 (スポット) は、その放射サイズがコンパクト (10 天文単位未満) でかつ輝度が  $10^{10}\text{K}$  以上と非常に高いため、数ミリ秒角 (mas) の高空間分解能を達成する超長基線干渉計 (VLBI) を用いて観測することが可能である。VLBI を用いて複数回観測することで計測されるレーザーの内部固有運動は、数ミリ秒角/年 (mas/yr) の力学的運動情報を提供する唯一の天文ツールである。

数あるメーザーの中でも、特に 6.7GHz 周波数帯で観測されるメタノール分子のメーザーは、大質量星形成領域のみからしか検出されず、約半数のメタノールメーザー天体では直線状もしくは楕円状の空間構造が観測されている。その空間構造上には、しばしば視線速度勾配が観測されるため、6.7GHz メタノールメーザーは大質量星の周囲に存在し得るガス円盤上で励起されている可能性がある。それ故、このメーザーの内部固有運動を計測することで、大質量星の形成過程で存在し得るガス円盤の回転運動、および中心星への質量降着に伴うインフォール運動を直接検出できることが期待される。

我々は、大質量星形成領域 Cepheus A (Cep A) の 6.7GHz メタノールメーザーを大学連携 VLBI 観測網 (JVN) を用いて 776 日のスパンに亘って 3 回 VLBI 観測することによって、その内部固有運動を検出することに成功した。Cep A の 6.7GHz メタノールメーザースポットは 5 つのスポット群を形成しており、全体的には約 1400 天文単位に広がる円弧状の空間分布を示していた。その円弧状分布は、CH<sub>3</sub>CN および NH<sub>3</sub> 分子輝線で観測されている分子回転円盤と空間的に重なっており、さらには北東-南西方向に伸びる電波連続波ジェットとほぼ垂直な空間関係を示していた。我々の検出した内部固有運動は、全体的な円弧状構造上に沿うような軌道を示しており、少なくとも電波ジェットに垂直な方向へ運動していた。そこで、視線速度情報も加えた 3 次元メーザースポット運動に対して、膨張/インフォールを伴う単純な回転円盤モデルを用いて最小二乗フィッティングを行った結果、我々は回転速度として 1.0±1.0 km/s、インフォール速度として 2.5±1.1 km/s を算出した。これは、大質量原始星の周囲でインフォール運動を直接検出できた非常に稀なケースである。

[1] Bartkiewicz, A., Szymczak, M., van Langevelde, H. J., Richards, A. M. S., & Pihlstrom, Y. M., 2009, *A&A*, 502, 155

[2] Patel, N. A., et al., 2005, *Nature*, 437, 109

[3] Sugiyama, K., Fujisawa, K., Doi, A., Honma, M., Isono, Y., Kobayashi, H., Mochizuki, N., & Murata, Y., 2008, *PASJ*, 60, 1001

星間  
15c

### 一階電離 Ca 三重輝線による若い星の彩層活動の調査

本岡 慧子 (神戸大学 M1)  
ポスター発表 (口頭なし)

前主系列星は、星周構造とそこからの質量降着によって進化段階を特徴付けることができる。古典的 T タウリ型星は周囲に光学的に厚い原始惑星系円盤を持ち、円盤内側から光球へ物質が降着する。このため、赤外域や電波でフラックスの超過があり、H などの強い輝線を示す (H の等価幅 > 10)。円盤内のダストが合体成長すると円盤が光学的に薄くなり、質量の降着は少なくなる。この状態の天体は弱輝線 T タウリ型星と呼ばれ、赤外超過がほとんどなく、H などの輝線も弱くなる (H の等価幅 < 10)。これらの若い星の彩層は活発に活動している。彩層活動の強さは星自身の自転や磁場、原始惑星系円盤からの質量降着などと深く関係していると言われている。この活動を調べるために、彩層から遷移層までの薄い恒星大気から放射されている一階電離 Ca 輝線を用いる。過去には H 輝線を用いた研究がよく行われているが、中性水素は恒星大気中に非常に多く存在する為、彩層活動を調べるには適切でない場合

もある。

実際の観測として、おうし座分子雲に付随する弱輝線 T タウリ型星 12 天体について、すばる望遠鏡 HDS を用いて可視高分散スペクトルを取得した。一階電離 Ca 輝線には波長の短い H、K 線が強いスペクトル線として存在するが、星の周りの物質からの吸収、散乱を受けやすいため若い星の観測には適していない。そこで、太陽質量程度の若い星の彩層活動の進化を調べるために、近赤外一階電離 Ca 三重輝線 (波長 8498・8542・8662) を測定し、過去に行われた異なる進化段階の星の値と比較した。結果、弱輝線 T タウリ型星の等価幅は若い主系列星とほぼ同じ値を取った一方で、古典的 T タウリ型星の等価幅はかなり強い値を示した。古典的 T タウリ型星と他の段階の星との大きな違いは、円盤からの質量降着である。すなわち、円盤からの質量降着量が多いと彩層活動が活発になることが確かめられた。

[1] Hamann, F. & Persson, S. E., 1992, *ApJS*, 82, 247

### RMHD simulations of low-mass star formation

星間  
16c

富田 賢吾 (総合研究大学院大学 D2)  
ポスター発表 (口頭なし)

ファーストコアは星形成過程で形成される過渡的な天体である。この天体が Larson 1969 によって提唱されてから 40 年以上経つが、その寿命が 1000 年程度と短くまたガスに深く埋もれているため観測が極めて困難であり、未だ観測的な証拠は得られていない。しかしながらファーストコアは星形成における二大問題である角運動量問題と磁束問題に関わる重要な舞台であり、またアウトフローの駆動や連星形成など豊かな現象の現場でもあるため、過渡的ではあってもその重要性は疑いない。ALMA など次世代の観測装置によりファーストコアが直接検出され、星形成の理論に強い示唆が得られることが期待されている。

本講演では輻射磁気流体シミュレーションによる低質量星形成計算の結果について報告する。特に輻射磁気流体計算によりこれまでの計算よりも現実的な温度分布が得られるようになったため、この結果を用いて予測したファーストコアの観測的性質について議論する。

[1] Tomida, K., Tomisaka, K., Matsumoto, T., Ohsuga, K., Machida, M. N. & Saigo, K., 2010, *ApJ*, 714, L58

[2] Larson, R. B., 1969, *MNRAS*, 145, 271

星間  
17b

### 銀河系中心部における磁気浮上ループ

古橋 絵利 (名古屋大学 M1)  
8 月 3 日 12:12 C 会場

銀河系中心部 300pc は “Central Molecular Zone (CMZ)” と呼ばれ、高温で大きな速度分散を持つ分子雲が集中する領域が存在する。この高温、大速度分散の起源は長年の謎である。

我々研究チームは、銀河系中心部 2kpc を「なんてん」4m 望遠鏡で CO 輝線の観測を実施し、詳細な分子ガス分布を一様に明らかにした。結果、中心部から 500pc の位置に、高さ 300pc に及び 2 つの分子雲ループを発見し

た。2つのループの特徴として、ループの根元でのガスの集中と、このガスが100km/sに及び大きな速度分散を示す点が挙げられる。

このループの解釈として、Fukui et al.(2006)はパーカー不安定性(Parker1966)による磁気浮上モデルを提案した。ループの形成によって持ち上げられたガスは、銀河系中心部の重力によって、ループに沿って銀河面に落下し、根元に溜まる。この際、衝撃波を作ることが予想される(Matsumoto et al. 1988)。この衝撃波により、ガスは大きな速度分散を持ち、加熱される。このモデルは、観測で得られた根元でのガスの集中と大きな速度分散とよく一致する。

磁気浮上ループは普遍的な現象であり、実際、MHD数値計算を用いて、銀河系中心部のいたるところで数多くのループが形成される可能性が示された(Machida et al. 2009)。また、観測的には、Fujishita et al. (2009)によって第3のループの存在が報告された。これらの結果から、この磁気浮上モデルにより、長年の懸案であった銀河系中心部の大きな速度分散と高温のガスの起源を統一的に解釈出来る可能性が提示された。

本講演では、Fukui et al. (2006)を中心に、銀河系中心部での磁気浮上ループ研究をレビューする。

星間  
18b

### 超新星残骸 W28 領域の分子雲詳細 解析および TeV 線放射との比較

榎谷 玲依 (名古屋大学 M1)

8月3日 12:15 C会場

超新星残骸は宇宙線の主要な加速源であると考えられている。超新星残骸の衝撃波面で加速された電子からの硬X線が観測され(Bamba et al.2008)、宇宙線電子加速が観測的に確認されつつある。一方で、宇宙線の主要成分である陽子が超新星残骸で加速されている観測的証拠は未だ得られていない。しかし、近年RXJ1713.7-3946や本研究で述べるW28などいくつかの超新星残骸周辺で、宇宙線陽子起源と見られるガンマ線が検出され注目を集めている。W28は距離約1.8-4.0kpc、年齢35000-150000年の複合型超新星残骸である。北側での広いスペクトル線幅からW28には分子雲(W28North, North East)が付随していることが示されている(Wootten et al.1981, Arikawa et al.1999, Reach et al.2005)。また、超新星残骸の南側の分子雲(W28South)はHII領域に付随することが示されている(Kim & Koo2003)。さらにこれら南北の分子雲は、H.E.S.S.によってTeVガンマ線が検出されており、宇宙線陽子加速の観点でも注目される領域である。

我々は「なんてん」の観測結果を基にNANTEN2を用いて12CO(2-1)輝線の観測をW28領域全体で行い分子ガスの詳細な分布が初めて明らかにした。さらにより詳細に探るためにNANTEN2を用いて13CO(2-1)輝線の観測を領域全体で行った。本研究ではこれらの観測データの解析を行い、W28領域の南北の分子雲は一体であり、超新星残骸起源の宇宙線陽子加速が南北の分子雲に衝突し、領域全体のガンマ線放射にかかわっているということが示唆されるという結果を得た。これは超新星残骸での宇宙線陽子加速を観測的に支持するものである。

星間  
19c

### 銀河系中心における YSO 探査

義川 達人 (京都大学 M2)

ポスター発表 (口頭なし)

我々が属する銀河系の中心1pc以内にはWolf-Rayet星やOB型星といった早期型星が存在し、このことは大質量ブラックホールSgr A\*近傍での星生成を意味する。大質量ブラックホール近傍はその強い潮汐力から星生成が困難な環境と考えられており、星生成のシナリオについて様々な議論がなされてきた。

我々はYSO(Young Stellar Object)と呼ばれるような非常に若い星からの強く偏光した光を検出するため、すばる望遠鏡のCIAOで銀河系中心~20''(~1pc)四方のKsバンド偏光観測を行った。YSOが見つければ、この領域で星生成が行われたことの証拠になり、星生成のシナリオに対して制限を与えることが出来る。3日間の観測により、各偏光成分に対して約1時間の積分時間が得られ、解析にはKsバンドで16等よりも明るいものを用いることが出来た。銀河系中心1pcの範囲における偏光観測としては、これまでで最も深い観測である。

解析の結果、偏光度・偏光角の分布には強いピークが見られた。これは銀河系中心方向に存在するダストによる星間偏光であり、ピークの値は過去の研究と矛盾しない。一方でそういったピークとは異なる、星間偏光だけでは説明できない偏光を示す星が、preliminaryではあるが、3以上で40個程度見つかった。これらの星について、3バンドでの等級差(二色図)や明るさを詳しくみていくことで、真に有力なYSO候補を選出していくことが、今後の課題である。

- [1] Bartko, H., et al., 2009, ApJ, 697, 1741
- [2] Paumard, T., et al., 2006, ApJ, 643, 1011
- [3] Eckart, A., et al., 2004, ApJ, 602, 760

星間  
20c

### Diffuse Galactic Light と遠赤外線 の相関

家中 信幸 (東京大学 D1)

ポスター発表 (口頭なし)

Diffuse Galactic Light(DGL)とは星の光が星間空間のダストによって散乱されたものであり、可視光では淡く広がった散乱星雲として観測される現象である。星から放射された光はダストに散乱されてDGLとして観測されると同時に、ダストに一度吸収され再放射されることで、遠赤外線としても観測される。したがって、DGLの強度と遠赤外線の間には相関があるはずである。過去の研究では、赤外線シラス(IR cirrus)が可視光ではDGLとして観測されること(de Vries & Le Poole 1995; Paley et al. 1991)、遠赤外線の輝度と可視光のextinctionの間に線形の相関が見られること(Laureijs et al. 1989)などが分かっている。

我々は東京大学木曾観測所で可視光の撮像観測を行い、その結果とIRASのデータを比較することで、DGLと遠赤外線の間には線形の相関があることを確認した。また、可視光の波長の違いによる相関の変化や、分子雲が存在する方向では他の場所と線形の傾きが異なることなども明らかになった。さらに、Li & Draine(2001)のダストの光学特性のモデルとMathis et al.(1983)による星間放射場のモデルを用いて、観測された相関が理論モデルの予想と一致することも分かった。

星間  
21a

## CO depletion

柴田 大輝 (東京大学 M1)  
8月4日 9:00 C会場

この発表では、星間現象で重要な役割を果たす CO depletion について、論文のレビューを行う。P.Casseli et al,1999 では、dust の intensity の分布と C18O の分布から、CO depletion が観測的に示されている。この論文の研究では IRAM 30m 望遠鏡を用いた L1544 の観測によって、dust の分布と C17O の分布が得られ、その分布を比較することで CO depletion の観測に成功している。さらに、他の optical depth の低い分子 (HC18O+, D13CO+ など) の観測を通して得た line から、CO depletion の進捗の分布についての結果も得られている。また、P.Casseli et al,1998 の論文の研究では、Butner et al. の観測データを元に 24 の cloud core に対する ionisation rate を決定し、CO depletion が発見されている。本発表では、これらの論文を中心に、CO depletion に対するモデルおよび最近の観測結果を含めて発表する。

[1] Caselli, P., Walmsley, C. M., Tafalla, M., Dore, L., & Myers, P. C., 1999, ApJ, 523, L165

[2] Caselli, P., Walmsley, C. M., Terzieva, R., & Herbst, E., 1998, ApJ, 499, 234

星間  
22a

## 赤外線天文衛星「あかり」による銀河系中心部の分子雲ループの観測

毛利 彰男 (名古屋大学 M1)  
8月4日 9:15 C会場

「なんてん」電波望遠鏡による銀河系中心部の CO 観測によって、銀河円盤から高さ 200-300pc にも渡って、いくつかのループ状の分子雲構造が発見された (Fukui et al. 2006)。その後、Machida et al.(2009) によって、パーカー磁気不安定性による磁気浮上ループ現象で説明がつくことが示された。磁気浮上とともに、銀河円盤ガスが持ち上げられたのち、ループ上部で冷えて約 30 km/s の速度でループに沿って落下することが予想される。実際、「なんてん」、NANTEN2 電波望遠鏡によって、この領域は様々な視線速度で観測されており、CO の高励起線との比から分子雲が周囲に比べて高温になっていることが分かっており、衝撃波加熱の可能性が示唆される。

本研究では、赤外線天文衛星「あかり」の中間赤外線全天サーベイデータ (波長 9.18  $\mu\text{m}$ ) を用いて、このループ領域におけるダストと巨大有機分子 PAH (Polycyclic aromatic hydrocarbons) の分布を調べた。そのため、まず、「あかり」の中間赤外線全天サーベイデータの中で、SAA (South Atlantic Anomaly) 上空で放射線の影響を受けてしまった部分に関して、その影響を統計的に評価し、補正方法を確立した。そして、「あかり」の全天サーベイデータから得られた銀河系中心部のマップ (波長 9.18  $\mu\text{m}$ ) と「なんてん」で観測した分子雲ループのマップを比較し、空間的な相関を調べた。「あかり」の 9  $\mu\text{m}$ /18  $\mu\text{m}$  マップから、ループに沿って相対的に PAH の放射が強く、逆にループの根元では放射が弱いということが分かった。このことから、ループに沿って落ちてきた PAH が、ループの根元では衝撃波などによって壊されているのではないかと考えられる。つまり、分子雲が激しい運動状態にあることの証拠となるかもしれない。

星間  
23a

## AzTEC on ASTE: 1.1mm Continuum Observations toward Molecular Clouds in the Small Magellanic Cloud

竹腰 達哉 (北海道大学 D1)  
8月4日 9:30 C会場

小マゼラン雲 (SMC) は、銀河系からの距離が約 60kpc に位置する超近傍銀河で、星形成活動も活発であり、大質量星や星団の形成、分子雲の進化といった研究のまたとない対象である。我々の銀河系と比べて重元素量が 10 分の 1 程度と少なく、低金属量環境下での星形成の理解を進める上でも重要な天体である。星形成の母体である分子雲に対する観測的研究は、主として一酸化炭素分子 (CO) の回転遷移輝線によって行われてきており、SMC においても、「なんてん」望遠鏡 (Mizuno et al. 2001) などによって、その分布が明らかになっている。また、一部の星形成が活発な領域に対しては、SIMBA/SEST により波長 1.2mm のダストからのミリ波連続波による観測が行われており、低重元素量の環境では、分子雲全体を CO の輝線観測では十分にトレースできていない可能性が指摘されている (e.g. Bot et al. 2007)。

本研究では、紫外線場の影響を受けていない分子雲の状態を調べるため、口径 10m のサブミリ波望遠鏡 ASTE に搭載された、波長 1.1mm の連続波カメラ AzTEC を用いて、SMC 北東部の大質量星形成の兆候が見られない分子雲に対する高感度観測を行った。解析の結果、大質量星形成の兆候が見られない分子雲のダスト連続波による検出に成功した。その他の検出天体もまた、Spitzer 衛星望遠鏡による波長 160  $\mu\text{m}$  の強度と比較すると、非常に相関がよく、低温ダストからの放射であると示唆される。このため SED 解析を行ったところ、典型的に約 20K 程度の熱放射で  $10^5$  太陽質量程度で、銀河系内の典型的な分子雲の物理量をもつことがわかった。

[1] Leroy, A., Bolatto, A., Stanimirovic, S., Mizuno, N., Israel, F. & Bot, C., 2007, ApJ, 658, 1027

[2] Bot, C., Boulanger, F., Rubio, M., & Rantakyro, F., 2007, A&A, 471, 103

[3] Mizuno, N., Rubio, M., Mizuno, A., Yamaguchi, R., Onishi, T., & Fukui, Y., 2001, PASJ, 53, L45

星間  
24a

## 分子雲形成過程における磁力線拡散のメカニズムについて

種田 雅愛 (名古屋大学 M1)  
8月4日 9:45 C会場

分子雲は星形成の母体であることから、その形成過程を理解することは、星形成シナリオの解明に直結し、非常に重要である。有力な分子雲形成のメカニズムとして熱的不安定性が注目されている。熱的不安定性は、ガスの暴走的な冷却を引き起こし、高温で希薄なガス中に低温高密度な雲を自発的に形成する。超新星爆発等による衝撃波によって、熱的に安定なガスが不安定な状態に遷移し、暴走的冷却を経て、分子雲が形成されると考えられている。しかし、Inoue & Inutsuka (2009) により、星間空間に存在する磁場の効果を考慮すると、ほとんどの場合で分子雲が形成されないことが指摘された。暴走的冷却による凝縮は磁気圧により妨げられるため、HI

雲程度の密度 ( $<100\text{cm}^{-3}$ ) にしかならないためである。従って、磁場を何らかの方法で散逸させない限り分子雲は形成されないだろう。Santos-Lima et al. (2010) は、原始星形成の際の磁場の散逸機構として、乱流により加速された磁力線の拡散を提案した。我々は、この機構がむしろ分子雲形成時に働く可能性があると考えている。磁気圧により凝縮が妨げられた冷たい雲は、磁気圧が大きく熱的圧力が小さい。一方、周囲の高温で希薄なガスは、磁気圧が小さく熱的圧力が大きい。両者は力学的に準平衡状態にある。この状況は、熱的圧力の勾配を実効的な重力加速度と考えると、Parker 不安定性 (Parker 1966) の起きる状況と酷似している。もし、この力学平衡状態が不安定であれば、ゆらぎが成長して乱流的となり、それにより加速された磁気拡散により磁場が散逸する事で分子雲が形成される可能性がある。

本講演では、まず Parker 不安定性についてのレビューを行う。また、上記の低温雲と高温ガスの力学平衡状態に対する線形解析についても途中経過を報告する予定である。

- [1] Inoue, T. & Inutsuka, S., 2009, ApJ, 704, 161
- [2] Parker, E. N., 1966, ApJ, 145, 811
- [3] Santos-Lima, R., Lazarian, A., de Gouveia Dal Pino, E. M., & Cho, J., 2010, ApJ, 714, 442

星間  
25a

### 宇宙初期における原始星の形成

依田 茉莉乃 (新潟大学 M1)  
8月4日 10:00 C会場

重元素が存在しない宇宙初期の星形成過程においては、一般の星形成の場合と異なり、水素分子の生成と水素分子の放射輸送による冷却が重要となる。ここでの重元素とはヘリウムより重い元素のことをいう。このような重元素を全く含まないガスから形成された星を種族 III の星と呼び、これらの星が形成される高密度コアにおいて、密度が  $10^8\text{cm}^{-3}$  以上になると、三体反応がよく効くようになる。すると水素分子の比率があがり、冷却率が増加する。しかしほとんどの水素が分子となるため、水素分子輝線に対し光学的に厚い状態となり、冷却率が再び減少する。密度がさらに上昇すると、 $\text{H}_2\text{CIA}$  連続波による冷却が効くようになる。ガス雲の中心部分が星の密度に達するまでの収縮は、自己相似的に進行する。またその密度になると、ガス雲の中心部分に静水圧コアが形成される。この大きさは現在の星形成のものと同じで、典型的な質量降着率は、現在の質量降着率より約3桁大きく、時間とともに減少する。静水圧コアの形成後、周囲のガスがコアに降着するにつれて、質量が増す。質量降着率は、コア形成前の相似解を用いて見積もられる。

本発表は、水素分子輝線と連続波の放射輸送と化学反応を考慮した流体力学的数値計算により、宇宙初期の球対称な原始ガス雲の収縮を追った、Omukai and Nishi, 1998 のレビューである。

最後に用語について説明する。 $\text{H}_2\text{CIA}$  ( $\text{H}_2$  collision-induced absorption) とは水素分子の衝突誘導吸収である。水素分子同士が極度に接近すると、四重極相互作用により電子の軌道が変わり、双極子モーメントが誘起される。相互作用時間が非常に短いため、エネルギーと時間の不確定性関係から、双極子放射の波長が幅を持ち連続波放射・吸収としてふるまう。

- [1] Omukai, K. & Nishi, R., 1998, ApJ, 508, 141
- [2] 福井康雄 他 編, 2008, 「シリーズ現代の天文学 6

### 第一世代星形成における放射輸送の取り扱いについて

星間  
26a  
佐々木 明 (東京大学 M2)  
8月4日 10:15 C会場

近年、宇宙初期の星形成 (第一世代星形成) については多くの研究がなされている。しかし、その結果明らかにされた第一世代星形成の性質 (質量など) にどの程度の不定性があるのかということについては、系統だった研究はされていない。そこで、講演者は第一世代星形成における種々の不定性について調べている。第一弾の2010年春春季会では、水素分子の量を定める3体反応の不定性が星形成に与える影響について調べた。第二弾となる、本発表では、複数の放射輸送の近似法を用いて、近似法によって、星の進化のタイムスケールや連星系形成の有無が変化するか調べる。

第一世代星形成においては、重元素が存在しないため、水素分子による冷却が重要になる。ガスがコラプスしていく過程で、ある程度以上高密度になるとガスは分子線に対して光学的に厚くなる。そのような領域での光学的厚みをガスの温度、密度、速度勾配などから求め (ソボレフ法)、ガスの熱化学進化を調べるということが広く行われている。本講演では、従来使われて来たソボレフ法と、従来のソボレフ法を改善した方法についてそれぞれ光学的厚みを計算して、結果を比べる。ソボレフ法で放射輸送を近似するときのより正確な方法を確認し、放射輸送の取り扱いの違いがガスの進化に与える影響についても考察したい。水素分子の3体反応の反応率と、放射輸送の取り扱いの違いを両方考慮して従来の第一世代星形成の結果はどれ位間違っているか (あるいは、間違っていないか) 明らかにしたい。

- [1] Yoshida, N., Omukai, K., Hernquist, L., & Abel, T. 2006, ApJ, 652, 6
- [2] Castor, J. I., 1970, MNRAS, 149, 111

### 初代星によって生成される磁場とその星形成への影響

星間  
27a  
土井 健太郎 (甲南大学 M2)  
8月4日 10:30 C会場

これまでの研究から初代星の質量は  $\sim 100M_{\odot}$  だと考えられているが、現在の典型的な星の質量は  $\sim 1M_{\odot}$  であることがわかっている。このように星形成が大質量星形成から通常の星形成に移行してきた要因の1つとして磁場強度が考えられている。観測から現在の銀河中には  $\mu\text{G}$  程度の磁場が存在していることがわかっているが、初期宇宙の磁場の強度はまだわかっていない。さまざまなモデルにより予想されている磁場の強度はいずれも現在の磁場と比較すると弱かったと考えられているが、その中でも比較的強い磁場を预言する理論がある。この理論により見積もられている強度の磁場が存在すると星形成に影響を及ぼすという研究がなされており、宇宙初期においても磁場強度は星形成を考える上で重要になる。また、それらの理論から初代星の周囲では磁場が生成されることが予想される。そのため初代星によって生成される磁場の強度を計算し、星形成への影響を調べた。本研究では輻射流体計算を行い、生成される磁場の強度を計算した。また、生成された磁場の星形成への影響を議

論する。

- [1] Langer, M., Puget, J., & Aghanim, N., 2003, PRD, 67, 43505
- [2] Gnedin, N. Y., Ferrara, A., & Zweibel, E. G., 2000, ApJ, 539, 505
- [3] Ando, M., Doi, K., & Susa, H. 2010, ApJ, 716, 1566

.....

## 第一世代星の形成過程におけるダークマター対消滅の影響

星間  
28a

平野 信吾 (東京大学 M1)  
8月4日 10:45 C会場

第一世代星の形成進化過程を明らかにすることは、その後の宇宙の発展・進化を考える上で重要である。数値シミュレーションの結果、初期密度揺らぎからまずダークマターの構造が形成され、高密度のダークマターハローの中心部分にガスが重力収縮することで第一世代星が形成されるというシナリオが得られてきた。この時星の内部は高いダークマター密度になっているため、WIMPs ダークマターの対消滅反応が十分起こり、それによって発生するエネルギーがガス収縮を支えて星の進化を一時的に止めてしまう可能性がある。これは星の内部のダークマターがなくなるまで続き、その間は星の収縮が止まり主系列になれず質量降着が続くため、第一世代星が従来のモデルよりも大質量まで成長することができる。この状態が実現されるかを調べるためには対消滅反応の大きさを評価する必要があり、そのためには星の内部のダークマター密度分布を求めればよい。

今回の研究では、まず、第一世代星の形成についてのN体/SPH数値シミュレーションを行い、原始星の周囲のダークマター密度分布を計算した。次に、ダークマター対消滅によるエネルギーを組み込んだヘニエコードによって恒星進化計算を行い、その後の密度分布の変化を計算した。

- [1] Yoshida, N., Omukai, K., & Abel, T., 2006, ApJ, 652, 6
- [2] Spolyar, D., Bodenheimer, P., Freese, F., & Gondolo, P. 2009, ApJ, 705, 1031
- [3] Umeda, H., Yoshida, ., Nomoto, K., Tsuruta S., Sasaki, M., & Ohkubo, T., 2009, JCAP, 08, 024

.....

惑星系分科会

惑星  
01a

## 巨大ガス惑星の形成における暴走的 ガス降着の開始と固体成分コア質量 の関係

金川 和弘 (北海道大学 D1)

8月4日 11:00 B会場

コア集積モデルによると、木星、土星のような巨大ガス惑星は氷や岩石などの固体成分からなるコアが周囲の円盤ガスを獲得し形成される。このとき、コアの質量が大きくその重力ポテンシャルが円盤ガスの熱エネルギーより大きくなるとエンベロープは重力熱力学的に不安定になり、惑星への暴走的な流入が始まると考えられている。実質、この暴走的なガス降着によって惑星の最終質量が決定されるため、その開始と流入するガス質量を知ることが巨大ガス惑星の形成を考える上で非常に重要である。我々はこの現象の重力熱力学的な性質を明らかにするために、コア部分を単純に重力ポテンシャルとして扱ったエンベロープの進化の計算を行った。本講演ではこの計算の結果とガス円盤中の現実的なガス惑星形成モデルでの計算結果を比較しその関連について議論する。

[1] Hori, Y. & Ikoma, M., 2010, ApJ, 714, 1343

[2] Fujimoto, Y. M. & Tomisaka, K., 1992, ApJ, 385, 445

## 軌道移動による平均運動共鳴での原 始惑星系の安定性

惑星  
02a

松本 侑士 (東京工業大学 M2)

8月4日 11:15 B会場

原始惑星円盤内で形成された原始惑星は、円盤ガスとの相互作用で中心星方向へ軌道移動する。この原始惑星の軌道移動により、原始惑星は円盤内縁まで移動する。

微惑星からの惑星成長を解いた先行研究は、多数の原始惑星が形成された場合、円盤内縁で止まった最初の惑星から順に平均運動共鳴の位置に原始惑星が捕獲されることを示した。また、タイプ I 軌道移動の速度に依存して、軌道移動後の安定性が変化し、5 個程度の原始惑星が共鳴軌道に入り安定となる系と、40 個程度の小さな原始惑星が一度共鳴に入った後に、衝突して共鳴から外れた系の 2 種類が作られることを示した。惑星が共鳴でない軌道の場合の安定時間は経験的に知られているが、共鳴軌道での振る舞いはわかっておらず、原始惑星系の安定性の変化を説明できない。また、軌道移動の速度によって原始惑星系の安定性が変化することは知られているものの、安定な軌道(共鳴のまま残る軌道)と不安定な軌道(共鳴から外れる軌道)が何によって作り分けられるのかは不明である。

本研究では、軌道移動による平均運動共鳴のパラメータ変化を調べるために、原始惑星を軌道移動により共鳴に入れ、その安定時間を N 体計算により調べることで議論する。

[1] Terquem, C., & Papaloizou, J. C. B., 2007, ApJ, 654, 1110

[2] Ogihara, M. & Ida, S., 2009, ApJ, 699, 824

[3] Chambers, J. E., et al., 1996, Icarus, 119, 261

惑星  
03a

## アストロメトリ法を用いた系外惑星 の軌道傾斜角及び質量の決定

大貫 裕史 (東京工業大学 M1)

8月4日 13:30 B会場

ドップラーシフト法(視線速度法)は、中心星の視線速度の変化を観測することによって、間接的に惑星の存在を確認する観測方法であり、その観測精度は数 m/s 程度と、現在の観測手法の中では最も高く、系外惑星の発見に適している。このため、現在までに発見された系外惑星(400 個以上)のうち 300 個以上はこの観測法で発見されたものである。しかし、ドップラーシフト法は、視線方向成分の情報しか得られないため、系外惑星の軌道傾斜角を定めることができないという観測上の制約がある。したがって、ドップラーシフト法から求められる系外惑星の質量には軌道傾斜角  $i$  の不定性が残り、惑星の質量はその下限値である  $m \sin i$  の形でしか求めることができない。この問題点を解消するためには、視線方向に垂直な成分の情報も得て、足りない情報を補完する必要があり、本研究では、アストロメトリ法(高精度位置測定法)と呼ばれる観測手法を併用することで、この問題点を解消し、ドップラーシフト法だけでは定めることができなかった軌道傾斜角の決定を行った。なお、アストロメトリ法のデータとしては、ヒッパルコスデータを用いている。軌道傾斜角が定まると中心星の周りを回る伴星の質量を正確に求めることができ、その質量の大きさによりその伴星が惑星・褐色矮星・恒星のいずれかであるのか判断できる。今回の発表では、アストロメトリ法の併用により、日本の観測グループがドップラーシフト法を用いて発見した系外惑星の質量に上限を与えることができたことを報告する。

[1] Sozzetti, A., & Desidera, S., 2010, A&A, 509, A103

[2] Torres, G., 2007, AJ, 133, 2684

惑星  
04a

## 重力マイクロレンズ効果による系外 惑星の探索

神原 周平 (名古屋大学 M1)

8月4日 13:45 B会場

我々 MOA (Microlensing Observations in Astrophysics) グループは、ニュージーランドに設置した口径 1.8m の光学望遠鏡で、重力マイクロレンズ現象の観測をおこなっている。重力マイクロレンズ効果とは、観測している天体と観測者の間に質量をもった天体(レンズ天体)が通過したとき、背景天体が増光したように見えるもので、このことにより光を發さない暗い天体を観測できる。そのため、ダークマターの候補である MACHO や系外惑星を発見してきた。なかでも系外惑星の探索について講演をすすめる。

系外惑星の探索は、惑星の影響による主星の周期的にふらつきをドップラーシフト法で調べて惑星を検出する視線速度法や、恒星に付随する伴星が主星の光を遮る現象を利用して伴星の物理量を求めるトランジット法など、さまざまな方法を用いて、いままでに数百個見つかった。その中でも重力マイクロレンズにより発見された惑星というのは、発見数こそ少ないものの、主星との距離や質量がユニークなものが多く、興味深い発見がなされてきた。我々 MOA グループもこれらの発見に携わってきた。現在もアメリカやオーストラリアなど世界中の重力マイクロレンズ効果を研究しているグルー

プと連携を取りながら、ニュージーランドでの観測と解析をおこなっている。本講演では観測原理やこれまでの発見、今後の展望などを説明する。

惑星  
05b

### 系外衛星の観測に向けて

塚本 淳 (東北大学 M2)  
8月4日 14:00 B会場

現在系外惑星は 400 個以上も発見されている。しかし未だにハビタブルゾーン内の系外地球型惑星は発見されていない。一方ハビタブルゾーン内にある巨大ガス惑星であれば発見されているものがある。もしこの惑星が地球サイズ程度の衛星を持ちえるならこの衛星がハビタブルムーンと呼べるのではないだろうか？

現在までに発見されている系外衛星はハビタブルゾーン内に限らずともまだ 1 つもない。そこでまずはどんな環境であれ系外衛星を検出することを目標としたい。系外衛星を検出できる可能性がある方法として惑星のトランジットの周期、継続時間の変化から衛星の痕跡を見つけようというものがある。現在考えられている系外衛星の観測方法を紹介し、この方法で理論的にはどのような系外衛星なら検出が可能かを考えてみる。

惑星  
06b

### 重力マイクロレンズ法による最小質量比惑星イベント MOA-2009-BLG-266 の検出効率

鈴木 大介 (名古屋大学 M2)  
8月4日 14:03 B会場

重力マイクロレンズ (GM) 法を用いた系外惑星探索では、主星から数 AU 離れた領域の惑星に感度があり、この領域で地球質量程度の軽い惑星まで発見できる唯一の方法である。2008 年までに 10 個の惑星が GM 法で見つかっている (Sumi et al. 2010)。また、他の観測方法では太陽系近傍の星に付随した惑星を見ているのに対し、GM 法は数 kpc 以上離れた星に対しても感度があり、銀河中心にある惑星を発見できる唯一の手段である。重力マイクロレンズ現象とは、観測している天体 (ソース天体) と観測者の間に、質量を持った天体 (レンズ天体) が存在するとき、レンズ天体の重力場によって、ソース天体から来る光が曲げられ、ソース天体が一時的に明るく見える現象である。レンズ天体が惑星系であるときは、単星レンズイベントの光度曲線からの 'ずれ' が観測され、その 'ずれ' の解析から惑星の物理量がわかる。

我々 MOA (Microlensing Observations in Astrophysics) グループは、ニュージーランドの Mt. John 天文台に口径 1.8m、視野 2.18 平方度の MOA-II 望遠鏡を所有していて、広視野かつ高頻度で銀河中心方向の重力マイクロレンズ現象を観測している。惑星イベント MOA-2009-BLG-266 は、多くの望遠鏡による追観測が素早く行われ、精度の高い光度曲線を得ることができた。解析の結果、このイベントはこれまでに GM 法で見つかった惑星の中で最も質量比が小さい惑星系であり、K 型星もしくは、M 型星に付随する冷たい海王星だとわかった。これまでに GM 法から求められた惑星の存在確率は高増光率イベントのみで解析されている。本研究では、低増光率イベントである MOA-2009-BLG-266 の検出効率を求める。

[1] Rhie, S. H., et al., 2000, ApJ, 533, 378

[2] Sumi, T., et al., 2010, ApJ, 710, 1641

惑星  
07b

### 口径 5.1 cm 望遠鏡を使用した系外惑星のトランジット観測

小山 拓也 (東北大学 M1)  
8月4日 14:06 B会場

今、天文学の中でホットな分野のひとつとして系外惑星がある。私の所属する研究室では、南極に望遠鏡を設置するプロジェクトを進めていて、その一つとして南極でのトランジット観測がある。そのプロジェクトで実際に南極で観測したデータを解析する前に、実際に 5.1 cm の望遠鏡を利用して観測の手順、データ解析の手順を事前に学習するという理由で観測、データ解析を行おうと思う。今回のおおまかな研究内容は、今発見されている系外惑星の中で適当天体を選び出し実際に観測してみようということである。まず、インターネットでトランジット観測された天体のデータを探し、周期と最近観測されたトランジット中心のデータをとってきて、ちょうど真夜中にトランジット中心になるような日付と時間をプログラムにかけて探す。そして、実際に 5.1 cm 望遠鏡と Apogee 社の 2 k × 2 k 冷却 CCD カメラを使って観測する。その際、CCD カメラはペルチェ冷却により -50 程度まで冷却しておく。そして、その観測結果を IRAF で一次処理、データ解析し、質量等の物理量を求め、今回のデータと前もって調べたデータとを比較してみる。

惑星  
08b

### 惑星形成モデル

皆川 紘恵 (お茶の水女子大学 M1)  
8月4日 14:09 B会場

私達の住んでいる太陽系の形成については 18 世紀頃から考え出され、以降多くの研究者によって盛んに研究されてきたが未だたくさんの謎が残っている。現在一番強く信じられている標準モデルは、分子雲の収縮から始まり、中心星の周りに原始惑星系円盤が形成され、その中でダストが集まって微惑星へ、さらにそれらが衝突合体して地球型惑星やガス惑星のコアが形成されたという話である。が、これにはたくさんの大きな問題点が挙げられる。まず、ガス惑星の形成時間の問題がある。ガス惑星の形成時間が予想を大きく上回るのだ。しかしこれについては成長過程でいろいろな段階を経たと考える事で、ある程度改善はされてきた。2 つ目に、大量に残されたガスの散逸の問題がある。原始惑星系円盤の 99% はガスだが、現在の太陽系にはほとんどガスはない。このガスがいつどのようになくなったのかも大きな問題だ。

そして私が 1 番注目した問題点は落下問題である。標準モデルに従い形成を考えると、あらゆる場面で惑星が中心星に落ちてしまう可能性があるのだ。つまり、標準モデルにおいて惑星が形成される位置はとても不安定なのだ。そこで私は他のモデルで惑星形成を説明出来ないか考え、まず着目したのが角運動量である。太陽系において、各惑星の自転の角運動量と質量をプロットすると、およそ  $J \propto M^{1.8}$  となる。このことを尊重するモデルとして今回 2 次元乱流を考えた。原始惑星系円盤は差動回転しているため、乱流を考えるのは不自然ではない。非圧縮性 2 次元乱流については昔から多数考えられており、近年の数値計算によれば、逆カスケードや編模

様といった面白い特徴を持つことが知られている。もしこの様なことが圧縮性流体である原始惑星系円盤にも見られれば、安定な軌道を得て一気に惑星の核を形成し、その後は合体成長して現在に至ると言えるであろう。今回はこの道筋で惑星形成の議論が出来ないか考えていく。

### 太陽系外惑星系における星の自転軸と惑星の軌道公転軸のなす角度の推定

惑星  
09c

平野 照幸 (東京大学 D1)  
ポスター発表 (口頭なし)

これまで見つかった太陽系外惑星の数は 400 個以上にのぼり、最近ではその性質による惑星系の分類や、惑星の起源の統一的な理解が進んでいる。我々はそれら惑星の軌道進化を調べるため、惑星の軌道角運動量に着目した。特に惑星が食を起こすトランジット惑星系では、ロシター効果と呼ばれる現象によって星の自転軸と惑星の軌道公転軸の天球面上でのなす角度を調べる事が可能である。本ポスターではロシター効果に関するこれまでの成果をレビューするとともに、さらに 2 つの回転軸の 3 次元的な角度を推定する新たな取り組みについても紹介する。

惑星  
10c

### 直接撮像による太陽系外惑星探査

桑田 嘉大 (大阪大学 M1)  
ポスター発表 (口頭なし)

地球外生命体の探査、および惑星形成理論の構築を目標として、太陽系外惑星探査が広く行われている。その成果として現在、461 個の系外惑星が発見されている。それらのほとんどが間接検出法と呼ばれる方法で発見されたものである。これらの成果は、恒星に非常に近い領域に偏っているため、より遠方の領域での惑星形成の情報不足しているのである。そこで現在注目されているのが、惑星からの光を直接捉える「直接撮像法」と呼ばれる方法である。直接撮像法は、間接検出法では検出することが難しい、恒星から遠方に存在する惑星を検出することができる。現状この方法での検出成功例は非常に少なく、統計量を確保することが重要であると考えられている。

そこで私は、直接撮像による惑星検出の成功例の向上に貢献する。生命の存在しうる惑星探しを行うとともに、恒星から離れた位置での惑星の探査実績を増やし、惑星形成モデルへの統計的議論を可能にすることを目標とする。そのために、過去にすばる望遠鏡の近赤外線コロナグラフ撮像装置 CIAO を使用して撮像され、現在アーカイブデータとして一般に公開されている恒星の画像を入手した。それらに、惑星からの光などの、点光源を検出することを目的とした解析を行った。そして、惑星の候補と思われるものを見つけ出し、リスト化していった。データの一次処理を行った後の画像には、恒星からの光と惑星などの点光源からの光が残る。恒星付近に存在すると思われる惑星を検出するには、恒星からの光の染み出し (ハロー) をいかに取り除くかが肝心となる。画像の中から、恒星の光の染み出しを軽減し、惑星を検出できるようにするための解析法があらかじめいくつか存在する。その中で本研究では、180 度回転引き算法と Median Filter 法を組み合わせた解析を行った。

惑星  
11c

### 反射光による系外惑星の特徴付け

藤井 友香 (東京大学 D1)  
ポスター発表 (口頭なし)

地球型惑星の発見とその特徴付けは、今後 10 年 20 年というタイムスケールでの系外惑星研究におけるマイルストーンになると考えられる。系外惑星を特徴付ける方法の一つとして、可視~近赤外領域にあらわれる惑星の反射光の成分が注目されている。反射光の波長依存性や時間変動には、惑星表面の組成やその非一様性、大気の詳細、赤道傾斜角などの情報が含まれるからである。実際、この波長帯での系外惑星の直接撮像計画は目下いくつか検討されており、それらのデザイン等を最適化するためにも、反射光の観測から惑星表面の情報を引き出すための方法論の開拓が求められる。今回の講演では、地球の反射光の観測データや、様々な惑星環境を仮定した場合の反射光のシミュレーション結果をふまえ、系外惑星の反射光から惑星表面を再構築する方法について議論する。

惑星  
12c

### すばる望遠鏡による、プレアデス星団の若い恒星に対する系外惑星の探査

谷井 良子 (神戸大学 M1)  
ポスター発表 (口頭なし)

我々は、すばる望遠鏡と補償光学 AO188、コロナグラフ HiCIAO を用いて、プレアデス星団に属する恒星周りの惑星探査を行った。これは、Subaru Exploration of Exoplanet and Disks with HiCIAO/AO188 (SEEDS) という、太陽近傍の若い星を撮像観測し、太陽系外惑星の直接撮像と原始惑星系円盤での惑星形成過程の解明を目的とする、すばる望遠鏡の戦略的プロジェクトの一環である。我々が所属する散開星団グループでは、プレアデス星団を観測星団として選定し、固有運動のメンバーシップ確率が 60% 以上の天体をメンバーとみなし、観測天体を選定した。これまでに 9 天体を観測しており、今後 4 年間で 40 天体を観測する予定である。

私は 2009 年 12 月 22 日に観測された HII2462 の解析を行った。HII2462 の H バンド等級は、9.7 等級である。固有運動から求められた、プレアデス星団のメンバーシップ確率は 96% (Schilbach et al. 1995) と高い値を示す。観測は、すばる望遠鏡の観測装置 HiCIAO/AO188 の ADI モードを用いて、H バンド (1.6  $\mu$ m) で行った。各画像の積分時間は 5 秒で全 51 枚、画像回転角は 2 度から 360 度であった。解析の結果、主星より離角 9.98 秒角、位置角 83.7 度の位置に 1 つの伴星候補天体が発見した。この伴星候補天体は、H バンドで 17.18 等級であった。

[1] Schilbach, E., Robichon, N., Souchay, J. & Guibert, J., 1995, A&A, 299, 696

惑星  
13c

### 星団内近傍の大質量星による原始惑星系円盤の光蒸発散逸計算

田村 隆哉 (京都大学 M2)  
ポスター発表 (口頭なし)

原始惑星系円盤において円盤ガスの散逸過程はガス惑星形成や微惑星形成に関わる重要な物理過程である。円

盤散逸過程のうち特に重要と考えられる物理機構として、紫外線加熱によって円盤ガスが中心星の重力を振りきって散逸する光蒸発と中心星への粘性降着が考えられてきた。そのうち光蒸発は円盤外側で支配的となる機構であるが、これまでその紫外線源として中心星のみが考えられてきた。しかしながら、一般に星は星団内で形成される。さらに原始惑星系円盤の近傍に大質量星がある場合、大質量星からの紫外線が中心星に比べ支配的となると考えられるため、このような系での円盤進化を調べることが普遍的な円盤進化を知る上で重要である。

本研究では、円盤近傍の大質量星からの紫外線を考慮した光蒸発と中心星への降着による円盤面密度の進化を一次元拡散方程式によって数値計算した。その結果、光蒸発は中心星のみを考慮した場合より円盤外縁部で効果的となり  $10^6$  年程度で円盤半径が数十 AU まで収縮すること、大質量星からの距離によってその円盤半径が変化することがわかった。このときの質量放出率は  $\sim 10^{-7} M_{\odot}/yr$  であった。さらに本研究では、このモデル計算の妥当性を検証するために数値計算の結果を Orion 星雲 Trapezium 星団内の原始惑星系円盤の観測と比較した。その結果、円盤半径と大質量星からの距離の相関については上記計算と一致した。さらに、円盤からの光蒸発流が電離される過程についての球対称一次元数値流体計算を行ったところ、電離波面半径についても大質量星からの距離との相関をよく再現することがわかった。これら 2 つの比較の結果、星団内における原始惑星系円盤ガスは光蒸発と中心星への降着により散逸していることが支持される。本研究から、星団においては数十 AU 以遠ではガス惑星が形成されにくいこと、微惑星形成においてガス散逸の効果を考慮すべきであることが示唆される。

### 原始惑星系円盤における空隙率進化 するダストの合体成長・沈殿過程

惑星  
14a

片岡 章雅 (京都大学 M1)  
8月4日 14:15 B会場

原始惑星系円盤において、ミクロンサイズのダストがキロメートルサイズの微惑星に合体成長する過程の理解は惑星形成の重要な課題である。太陽系形成の標準モデルである京都モデル (e.g. Hayashi et al. 1985) によると、ダストはガス円盤中で衝突合体しながら赤道面に沈殿しダスト層を作ると考えられてきた。

従来のモデルでは簡単のため空隙のないコンパクトなダストを用いていたが、N 体計算や実験によると、ダストは合体成長によって空隙率が上昇し内部質量密度が下がる。N 体計算のモデリングからダストの弾性軌道で衝突する内部質量密度の進化にはモノマーのみ衝突する BPCA、同サイズダストが衝突する BCCA モデルという両極端の二つのモデルが提唱されており (Meakin 1991)、これらのモデルを用いた計算によって、空隙率はダスト成長に大きく影響する事が示されてきている (e.g. Suttner and Yorke 2001)。しかしながら、衝突するダストの質量比を取り扱った計算はなされて来なかった。

そこで我々は、衝突するダストの質量比に応じてダストの空隙率が進化するより現実的な QBCCA (Quasi-BCCA) モデル (Okuzumi et al. 2009) を採用し、最小質量太陽系円盤における地球軌道での沈殿を含めた合体成長をシミュレーションした。その結果、コンパクトなダストの場合は 500 年程度で赤道面に沈殿するのに対

し、空隙率を考慮したダストの場合沈殿はほとんど起こらずその場で成長する事がわかった。これは空隙率を考慮した事でガスから受ける抵抗が増え、沈殿速度が遅くなったためと考えられる。これらの空隙率を考慮に入れたプロセスは京都モデルでは考えられてこなかった過程であり、本結果は空隙率を考慮した惑星形成理論の構成が必要である事を示している。

[1] Okuzumi, S., Tanaka, H. & Sakagami, M., 2009, ApJ, 707, 1247

### 原始惑星系円盤中のガス・ダイナミクスと計算手法

惑星  
15a

森 克敬 (名古屋大学 M1)  
8月4日 16:30 C会場

視線速度法やトランジット法などを用いることで数多くの系外惑星が発見され、それらの統計的性質が明らかになってきた。さまざまな特徴を持つそれらの系外惑星の形成過程を理解するために、惑星形成理論はそのあらゆる段階に関して再検討が試みられている。標準的な惑星形成シナリオにおいて、形成途上の天体である微惑星や原始惑星と原始惑星系円盤のガス成分との相互作用の理解は重要である。特に、惑星の重力により発生したガス円盤中の波との重力相互作用により、惑星が角運動量を失い中心星に落下してしまうという「惑星落下問題」を解決することは惑星形成過程の理解のためには必須である。しかし、原始惑星系円盤中のガス・ダイナミクスは、本質的に超音速流の問題であり、数値シミュレーションを用いた研究には困難が存在している。例えば、原始惑星系円盤中で地球軌道程度の場所は温度が 300K 程度であるので音速が 1km/s 程度であるが、ケプラー速度は 30km/s である。このような超音速流を扱う場合、保存量を更新する通常の有限体積法を用いた数値計算の際には【内部エネルギー (小) = 全エネルギー (大) - 運動エネルギー (大)】という演算の必要があり、温度、圧力などの物理量の計算精度は著しく低下する。そのため、このような問題において高い精度を保つ計算法を開発することには重要である。現在、我々は内部エネルギーを独立変数の一つとして更新しつつも、全エネルギーの保存を保つ新しい手法の開発に取り組んでいる。本発表ではこれまでの手法と新しい手法とを比較した結果等を議論する予定である。

### 惑星形成理論の初期条件 ~ 原始惑星系円盤の密度分布の由来を探る ~

惑星  
16a

大谷 卓也 (大阪大学 M2)  
8月4日 16:45 C会場

標準的な惑星形成理論 (Hayashi, C., Nakazawa, K., & Nakagawa, Y. (1985) 等) においては、まず最初に太陽系の形成を説明することを目的としており、太陽系を再現するダストやガスの面密度分布を持つような初期条件として原始惑星系円盤を設定し、その円盤の中で惑星が形成されるというシナリオを用いていた (円盤仮説)。

よく知られているように、系外惑星が発見されてからは標準モデルでは説明できない多様な惑星系の姿が確認されており惑星形成理論の修正が求められている。その中で Kokubo & Ida (2002) では、原始惑星系円盤におけるダストの初期密度分布が太陽系と異なれば出来上がる原始惑星の質量や形成時間が変わり、中心星の近くで

も木星型惑星が形成可能な場合があることを示している。標準モデルの途中の詳細なプロセスを修正せずに初期条件だけを変えることで多様な惑星系の姿を説明できるという方向性である。

そこで本発表では上に挙げた論文の紹介を行い、原始惑星系円盤の姿を決める物理について考察する。星の周りにある円盤の進化に着目し、星形成の理論と整合性の取れる様な原始惑星系円盤の姿について考えたい。回転している分子雲コアから中心星と円盤ができるが、円盤に粘性があれば角運動量を失い円盤上の物質は中心星に落下するし、収縮する分子雲コアから円盤への降着が続いているならば円盤にとっては質量の供給源となる。また円盤は温度を持つるので圧力が効いたり遠心力が働いたりして中心星から離れる効果もある。円盤をガスとダストの混ざった流体であるとみなし、これら円盤上の物質が受ける効果を取り入れて行った数値シミュレーションの途中結果を交えながら考えるべき機構や円盤の進化を決めるパラメータが存在する可能性について議論したい。

[1] Hayashi, C., Nakazawa, K., & Nakagawa, Y., 1985, in *Protostars & Planets II*, ed. Black D.C., Matthews M. S. (Tucson, The University of Arizona Press), 1100

[2] Kokubo, E., & Ida, S., 2002, *ApJ*, 581, 666

.....

### 惑星 17a 原始太陽系星雲の準平衡とダスト密度

長谷川 幸彦 (大阪大学 M2)  
8月4日 17:00 C会場

Sekiya, M. 1998, *Icarus*, 133, 298S のレビューを行う。原始惑星系円盤内のダストは、中心星からの重力によって円盤の中央平面向かって沈殿してダスト層を形成し、その後合体成長して惑星を形成する。しかし、太陽系形成の標準モデルである林モデルでは、沈殿の際に生じる速度差によって Kelvin-Helmholtz 不安定が発生してダストは巻き上げられてしまっ準平衡状態に達し、後の合体成長が起こらない可能性が考えられている。本発表では、その準平衡状態でも合体成長するダスト層を形成するためにはダストの量が林モデルよりも多ければよいことを説明し、そのために必要なダストの量を求めていく。

[1] Sekiya, M., 1998, *Icarus*, 133, 298S

.....

### 惑星 18a 原始惑星系円盤の電離状態

藤井 悠里 (名古屋大学 M1)  
8月4日 17:15 C会場

原始惑星系円盤は宇宙線や中心星からの X 線などを受けて弱く電離していると考えられている。電離によって生じたイオンは様々な種の 2 次イオンと分子の生成を促し、また電子やイオンは円盤と磁場との結合を生み出す。したがって、円盤がどのような電離状態にあるかを知ることは、円盤の化学進化や磁気流体力学的進化を理解する上で必要不可欠である。

従来、円盤の電離状態を理論的に推定する際、電離源のフラックスは定常であると仮定されてきた。しかしながら、若い星の観測によると、電離源である X 線の強度はフレアに起因する激しい短時間変動を伴うことがわ

かってきている。このように電離源の強度が時間変動する場合にどのような電離状態が実現され、円盤の進化にどのような影響を与えるのかはほとんど明らかになっていない。数値計算手法上、電離状態の非定常進化を求めることは困難を伴う。というのも、電離状態の時間進化を決める反応方程式系は様々なタイムスケールの反応を含む、いわゆる「硬い」方程式であり、ルンゲ・クッタ法をはじめとする陽解法が困難だからである。通常、このような硬い方程式の時間発展は陰解法を用いて計算されるが、この手法は考慮するイオン種の増加とともに計算時間が飛躍的に増大してしまうという問題点がある。

近年、このような硬い方程式に対する新しい数値解法が提案された (Inoue & Inutsuka, 2008)。この手法は、解析的手法を利用するため、従来の陰解法のような行列計算が不要であり、かつ簡単に高次精度化することができる。非定常問題を考えるときには、時間発展が精度よく計算できることが必須となるので、この手法は非常に有用である。

本発表では、この新しい数値計算法についてのレビューを行い、さらに、この手法を用いて求めた原始惑星系円盤の電離状態の非定常進化を示し、従来の定常を仮定した計算との違いを議論する。

[1] Inoue, T., & Inutsuka, S., 2008, *ApJ*, 687, 303

[2] Ilgner, M., & Nelson, R. P., 2006, *A&A*, 455, 731

# 観測機器分科会

## 日本天文学史上に現れる天文儀器的 3DCG 復元

機器  
01c

柳澤 洋文 (大阪教育大学 M1)  
ポスター発表 (口頭なし)

古代天文学は占星術、呪術として扱われていた歴史がある。故に過去をさかのぼると歴史書の中に天文現象の記録が現れている場合がある。その歴史の中の天文学を扱う学問が天文学史である。中でも日本の天文学史に注目したい。明治に入る前まで朝廷で天文を扱ってきた土御門家や幕府天文方、ま全国に散らばり様々な土地で様々な人たちが天測を行っていたり、民間の暦を作成したりしていた当時の記録も残っている。そこで私は天測に利用されてきた過去の天文儀器的の復元を行いたい。その手法として、3DCG 作成ソフト Shade を用いた復元を行い、過去の天文儀器的の存在を示し、教育的に利用することを目的としている。

## 電波干渉計に搭載される 6.7GHz 帯・8GHz 帯受信機の同一給電化

機器  
02b

松本 浩平 (大阪府立大学 M2)  
8月3日 11:15 B会場

6.7GHz 帯および 8GHz 帯は VLBI (Very Long Baseline Interferometry) 観測における重要な周波数とされている。6.7GHz 帯受信機と 8GHz 帯受信機はともに大きな給電部を持つため、望遠鏡機器室のスペースの制約から、観測のたびに時間をかけて受信機を入れ替える必要があった。そこで望遠鏡の稼働効率を上げるために私たちのグループでは 6.7GHz 帯と 8GHz 帯を同一給電できる受信機を開発している。同一給電化を考えたときに最も難しいのは円偏波分離器の開発である。観測では円偏波で受信を行うので円偏波対応受信機が必須である。現在の 6.7GHz 帯受信機にはリジッドセプタム型円偏波分離器が搭載されている。これは導波管に階段状の金属板 (セプタム) を挟み込んだ構造をしており、セプタムで電界を歪ませることにより円偏波を直線偏波に変換し受信を可能にするものである。しかしこのタイプの円偏波分離器はセプタムの断面由来の不要な共振が発生し帯域を制限しているために 6.7GHz 帯と 8GHz 帯の両方をカバーする受信機はできなかった。そこで私は共振周波数が導波管断面寸法に依存することを踏まえ、セプタム部導波管内面を従来の直線形状からテーパ形状に変更し、共振周波数の調整を行った。その結果 6.6-7.5GHz、8.0-8.8GHz の 2 バンドに対して良好な特性を持ち、6.7GHz 帯と 8GHz 帯の両帯域をカバーする円偏波分離器を開発した。今回の発表では新たに開発した円偏波分離器の特性、それを用いた受信機の評価結果について報告する。

[1] Chen, M. H. & Thandoulas, G. N., 1973, IEEE Trans. Antennas Propagat., 21, 389

[2] Bornemann, J. & Labay, V. A., 1995, IEEE Trans. MTT, 43, 8, 1782

## 茨城 32m 鏡搭載用 6.7GHz ~ 8GHz 帯冷却受信機の開発

機器  
03b

木澤 淳基 (大阪府立大学 M1)  
8月3日 11:18 B会場

KDDI (茨城衛星通信センター) より国立天文台に譲渡

された 2 台の直径 32 メートルの電波望遠鏡を新たに天文観測に使用するための整備が進められている。大阪府立大学では 2 台の電波望遠鏡 (日立局、高萩局) に搭載する冷却受信機システムの開発を行っている。光学系はカセグレン-クーデ方式を採用しており、主鏡で集光された電波は副鏡と 4 枚の鏡を経て不動点にある受信機へ導かれる。観測する周波数に応じてフィードホーンの根元部分を交換する構造をしている。観測する周波数帯としては 6.7GHz 帯のメタノールメーザー、8~8.8GHz 帯の連続波、22GHz 帯の水メーザーを計画しており、それぞれの周波数帯における冷却受信機の開発を進めている。

これらの望遠鏡は VLBI 観測を行うことを目的としており、円偏波分離にはセプタム使用の導波管型のポラライザーを用いている。6.7GHz 帯と 8~8.8GHz 帯との同時に給電するには、ポラライザーの帯域により制限され困難であったが、これらの帯域を同時に受信できるポラライザーの開発により、同一受信機での給電が可能となった。現在はこの 6.7GHz 帯、8~8.8GHz 帯の同時観測用の冷却受信機を開発を行っている。

この受信機は低雑音化を図るために、円偏波ポラライザー、初段 HEMT アンプを 20K にまで冷却する。冷却には GM 冷凍機 (冷却能力 5W @ 20K) を使用している。初段 HEMT アンプには JPL 製を用いており、20K において TLNA < 5K を得ている。これらを用いた円偏波分離器込みの受信機雑音温度は TRX=15K を達成した。IF 系では各帯域のバンドパスフィルターを並列に接続し、切り替えスイッチにより通す信号の周波数帯を選択できるようにした。

## 1.85m ミリ波サブミリ波電波望遠鏡 の開発

機器  
04b

西村 淳 (大阪府立大学 M2)  
8月3日 11:21 B会場

星間物質の分布と物理状態の理解は、星形成や銀河の進化を解明する上で必要不可欠となる。電波、赤外線、X 線、ガンマ線など様々な波長帯にて数分~十分角程度の分解能にてサーベイが実施され、原子ガスやダストについて広域の観測データが得られてきた。一方、分子ガスについてはこれらと比較すべき広域かつ高分解能で高品質のデータの整備が急務といえる。これまで主に一酸化炭素の回転遷移スペクトル J=1-0 について世界中で精細に調べられてきたが、更に J=2-1 について観測を行うことで分子ガスについてのより正確な理解を目指す。

1.85m ミリ波サブミリ波電波望遠鏡は大阪府立大学が中心となって開発しており、2007 年冬に国立天文台野辺山構内に設置された。その後立ち上げが続けられ、現在基本的な開発が完了し、この秋より科学運用を開始する予定である。1.85m 望遠鏡の観測周波数は 230GHz 帯であり、一酸化炭素の回転遷移スペクトル J=2-1 を 3 つの異なる同位体 ( $^{12}\text{CO}$ ,  $^{13}\text{CO}$ ,  $\text{C}^{18}\text{O}$ ) について同時に観測を行うことで観測データの精度と観測効率の向上を図る。分解能は約 2.7 分角である。広域を効率良く観測するために連続スキャンを行う OTF (On The Fly) モードに対応するよう制御部を開発した。望遠鏡全体がドームに包まれており望遠鏡環境の安定を図っている。ドームの反射により分光データに生じるベースバンドのうねりを除去するために定在波除去装置を開発し搭載している。受信機は 2SB SIS 受信機を開発しており、典型的な雑音温度は  $T_{rx} < 100\text{K}$  である。また晴天時、天

頂を向けたときの大気込みの雑音温度は  $T_{\text{sys}} < 250\text{K}$  である。この春の評価の結果、主ビーム能率  $\sim 0.6$ 、望遠鏡の稼働効率はおおむね 70 % が得られた。

機器  
05c

1.85m 及び野辺山 45m 電波望遠鏡  
に搭載する定在波除去装置の開発  
片瀬 徹也 (大阪府立大学 M1)  
ポスター発表 (口頭なし)

我々は、分子雲の広域観測に特化した口径 1.85m のミリ波・サブミリ波電波望遠鏡の開発を行っている。この 1.85m 鏡は昨年 5 月にファーストライトを達成した。しかし、観測データに定在波の影響と見られるスペクトルデータのベースラインのうねりが見られた。1.85m 鏡はレドームで囲まれており、そこでの反射が起因して定在波が発生していると考えられる。冬の本格観測までにこの影響を小さくするため、地球大気微量分子測定で搭載例のあった定在波除去装置 (Path Length Modulator, 以下 PLM) を開発した。PLM は「く」の字型 2 対の平面鏡から成り、そのうち 1 枚を  $1/4$ 、もしくは  $5/4$  波長分だけ周期的に振動させることで、全体の光路長を連続的に  $1/2$  波長分だけ変化させ、反射波を逆位相で打ち消す装置である。我々はこの PLM を搭載し、観測を行うことで、定在波を  $1/5$  程度以下に低減させることに成功した。また、国立天文台野辺山観測所の 45m 電波望遠鏡に、遠方銀河を観測するための 2 ビーム受信機が設置されており、安定したデータを得るべく PLM を搭載した。この PLM 装置を用いることにより、少なくとも特定の条件で定在波を低減することに成功した。

機器  
06b

NANTEN2 について  
吉池 智史 (名古屋大学 M1)  
8 月 3 日 11:30 B 会場

炭素原子・一酸化炭素分子スペクトルを用いて、我々の銀河系内、大小マゼラン銀河、および近傍の銀河内の星間ガス諸相の分布、運動、物理状態を明らかにするため、口径 4 メートルのミリ波サブミリ波望遠鏡 NANTEN2 による観測を遂行している。本望遠鏡は、チリ・ラスカンパナス天文台 (標高 2400m) で稼働していた「なんてん」のアップグレード版であり、南半球からの本格的なサブミリ波観測を行うため、標高 4,800m のアタカマ高地に NANTEN2 サブミリ波望遠鏡を 2004 年に設置したものである。観測周波数帯は、230GHz、500GHz、800GHz であり、現在 100GHz 帯の観測システムも開発中である。2008 年より、230GHz 帯において  $^{12}\text{CO } J=2-1$ 、 $^{13}\text{CO } J=2-1$  による本格的な観測を開始した。対象は、大小マゼラン銀河、超新星残骸に付随する分子雲、大質量星形成領域、銀河系中心部の分子雲磁気浮上ループ、および分子雲ジェットなどである。 $^{12}\text{CO } J=1-0$  輝線と合わせることで、スペクトル強度比から、大規模星団 Westerlund 2 に付随する分子雲の発見、超新星残骸と相互作用する分子ガスの物理状態の解明が行われた。さらに、2009 年 12 月より、デジタル分光計を搭載し、広帯域化をはかり、銀河系中心部等の観測が可能となった。また、サブミリ波観測については、シングルビーム受信機による、マゼラン雲、銀河系内大質量星形成領域等の観測を経て、2008 年に搭載された 490/810GHz 帯の 8 ビーム受信機 (同時受信) の各種測定・試験等を行い、サブミリ波での科学運用を開始

した。

機器  
07b

NANTEN2 に搭載する SIS 素子評価  
佐藤 淳基 (名古屋大学 M1)  
8 月 3 日 11:33 B 会場

現在、NANTEN2 望遠鏡は、南米チリのアタカマ高地でミリ波、サブミリ波の観測を行っている。そのうち、名古屋大学が開発している受信機では、SIS 素子を使ったヘテロダイン方式を用いて 230GHz 帯、特に  $\text{CO}(J=2-1)$  輝線の観測を行っている。

しかし、長期の使用により素子が劣化し、さらに 230GHz 帯の SIS 素子の在庫が枯渇している。また、HCN、 $\text{HCO}^+$ 、 $\text{NO}_x$  などの 260GHz 帯においても、高感度の観測を行いたいことから、220GHz から 260GHz 帯まで高感度の SIS 素子開発が必要となっている。そこで、名古屋大学において新たな SIS 素子を設計して、国立天文台三鷹キャンパスのクリーンルームにおいて製作した。

本講演では、新しく製作した 230GHz 帯の SIS 素子の実験室での性能評価試験の結果を発表する。共振周波数を変更して 6 種類の素子を製作し、名古屋大学実験室においてそれぞれ性能の評価を行った。ミクサ雑音温度の評価には Y-factor 法を用い、最高性能の局部周波数で 4dB 程度を目標とした。しかし、製作した素子と、ALMA で使用される新しい型の HEMT アンブとのインピーダンス不整合により、正確な性能評価ができないという問題が生じた。素子自体の性能評価はこれまで使用していた HEMT アンブを用いて行ったが、不整合の問題を解決するべく JCT を修正し、新しく製作することを決定し、本年 7 月に新型 HEMT アンブを用いて性能評価を行う予定である。また、NANTEN2 名古屋受信機の局部発信器として、将来的には VDI 社製チェーン型 LO を採用する予定であるが、使用する局部発信器により得られる素子の性能が異なるため、従来使用していた Gunn 発信器とチェーン型 LO を用いたときに得られる性能の比較も行った。

機器  
08b

NANTEN2 に搭載する 100GHz  
受信器開発  
花岡 直樹 (名古屋大学 M1)  
8 月 3 日 11:36 B 会場

我々の研究室では、2004 年に標高 4865m のアタカマ高地に NANTEN2 サブミリ波望遠鏡を設置した。現在は、230GHz 帯の  $^{12}\text{CO}(J=2-1)$  や  $^{13}\text{CO}(J=2-1)$ 、500/800GHz 帯の CO 高励起線および CI を観測可能な受信器システムが搭載され、銀河系内 SNR や分子雲ジェット等の高エネルギー天体や、銀河系中心部、大質量形成領域、およびマゼラン雲のさまざまなデータが得られてきている。

1996 年から 2003 年にかけて、チリのラスカンパナス (標高 2,400m) に設置した「なんてん」望遠鏡において、 $^{12}\text{CO}(J=1-0)$  スペクトルによる銀河面およびマゼラン雲内分子ガスのサーベイを行った。このサーベイにより、大規模星団に付随する分子雲の発見、超新星残骸と相互作用する分子ガスの物理状態の解明、超コンパクト天体に付随する分子雲ジェットの発見が行われた。しかし、この銀河面サーベイ観測は、観測グリッド

がナイキストサンプリングではなく、また現在進行中の NANTEN2 観測と比べ感度が充分とは言えない。

そこで、我々は、 $12\text{CO}(J=1-0)$ 、および  $13\text{CO}(J=1-0)$  等のさらなる広域、高感度観測を行うため、OTF 観測が可能となった NANTEN2 に 100GHz 帯観測受信器システムを搭載させることとし、12 月のインストールを目指し、4 月から製作を開始した。現在進行中のサブミリ波観測と合わせ、分子雲の密度分布や温度分布について、広範に理解することが可能となる。また、近年の大型衛星及び地上プロジェクトにより、多波長にわたる広域探査が行われ、可視光はもとより、赤外線やガンマ線領域において、高い分解能で、全天に渡るデータが得られてきている。NANTEN2 による 100GHz 帯の全天サーベイデータと、これらのデータを合わせることで、星間物質の進化や宇宙線粒子加速の現場等についての理解を深めることができる。

### 那須観測所における電波トランジェント観測と解析

機器  
09b

今井 章人 (早稲田大学 M2)  
8 月 3 日 11:45 B 会場

早稲田大学では、栃木県那須塩原市にある那須パルサー観測所において、2004 年以来、電波領域で突発的に増光する天体 (電波トランジェント) を 11 個検出してきた。那須で検出された電波トランジェントは、増光時間 4 分以上、1 日または 2 日以下で、Flux 密度は  $1\text{Jy}$  を超えるものばかりである。電波トランジェントの起源は、遠方の AGN や Blazar などの高エネルギー天体や、近傍の中性子星などが考えられているが、その正体は解明されていない。私はその解明のため、光度曲線をとらえるための観測体制の準備をしている。

那須観測所には、20m 固定球面鏡 8 基と 30m 固定球面鏡 1 基が設置されている。20m 鏡は 4 組の 2 素子干渉計として赤緯  $32^\circ$  から  $42^\circ$  をモニターしている。30m 鏡は、追尾観測が可能で、変動電波源の観測を行っている。20m 鏡は、2010 年から観測機器のデジタル化をし、感度が数倍よくなり、データも安定化した。この結果、多くの天体を検出できるようになった。1 年に約 3 個の電波トランジェント検出率であったが、今後、より高い検出率になることが期待されている。

電波トランジェントの解明に向けて、光度曲線をとらえるため、20m 鏡と 30m 鏡を組み合わせた観測の準備をしている。20m 鏡は、赤緯を固定した掃天観測を行っているが、1 つの天体を 1 日に一度だけしか観測できないため、30m 鏡を利用して、その観測赤緯の天体がない部分 (Blank) を観測し続ける。もし、20m 鏡で電波トランジェントが観測されれば、30m 鏡でも観測されており、光度曲線が得られることが期待される。

本講演では、2008 年に観測された電波トランジェントの紹介、観測システムのデジタル化後のデータ比較、今後の観測内容を発表する。

[1] Ofek, E. O., et al. 2010, ApJ, 711, 517

### 南極望遠鏡の天体撮像固定カメラの開発

機器  
10b

近川 祥雄 (東北大学 M1)  
8 月 3 日 11:48 B 会場

南極大陸高原は極寒で乾燥しているため、天体観測に

おいて好条件が揃っているスポットである。南極観測ではシーイングが地球上で最も良い 0.3 秒角、つまり大気の屈折率分布が不規則に変動することにより生じる大気揺らぎの影響が少ない。ドームふじは標高 3810 m で、雪が凍った高原地帯の氷床では高気圧帯ということもあり天気が年中良い。そして、低温により大気の熱放射が少なく、水蒸気による吸収も少ない。また、接地境界層と呼ばれる乱流層があるがドームふじでは極めて低く (18 m)、接地境界層の上に大型望遠鏡を建設できるという点で有利である。よって、現在世界でもトップクラスのハワイ島マウナケア山 (4200 m) にある口径 8 m のすばる望遠鏡と、ドームふじ (3810 m) に建設予定の口径 2.5 m の南極望遠鏡は同等の性能であると期待されている。

2011 年 1 月南極ドームふじに設置予定の固定望遠鏡に取り付ける天体撮像 CCD カメラの開発を行う。この CCD カメラによって天の南極を自動で 2012 年まで連続観測し、変光天体のサーベイを行う予定である。これまで南極の平均気温  $-50$  度に耐えうる構造の設計、カメラを低温の環境下に置き、正常に作動するかを調べる冷却試験を行った。これから CCD カメラを日本からパソコンでリモートコントロールできるようにシステムを作成、データを日本から処理、転送などの管理など望遠鏡運用するために CCD カメラの整備を行う。これらの動作試験を行い、この CCD カメラ 11 月に南極へ運び、観測を行うことになる。

[1] Lawrence, J. S., et al., 2004, Nature, 431, 278

[2] Yanouchi, T., et al. 2003, Mem. Natl Inst. Polar Res., 57, 94

[3] Zhou, X., et al. 2010, PASP, 122, 347

機器  
11b

### X 線干渉計の試作

坂田 和也 (立教大学 M1)  
8 月 3 日 11:51 B 会場

X 線観測をする望遠鏡の角度分解能は、原理的分解能より遥かに劣っている。原理的分解能を達成するひとつの方法は X 線干渉計である。米国では X 線干渉計を用いて  $\mu$  秒角の分解能を達成しようとする計画がある。それは鏡から撮像点までの距離を 500km 離すという巨大な干渉計である。本研究ではこの巨大な干渉計に代わり、もう少し現実的な新たな X 線干渉計の試作を目指す。X 線干渉計の構造は干渉縞生成のため干渉距離を考慮して斜入射型のマッハツェンダー型をとることにした。そして、X 線で実験する準備として、干渉縞を生成するための要求精度を調べた。実験で用いる X 線の波長は酸素の KX 線 (2.37nm) 帯域、炭素の KX 線 (4.4nm) 帯域、あるいは技術的に比較的易しい 13.5nm 帯域の予定である。鏡、ビームスプリッター、CCD の平行度は波長 2.37nm、4.4nm、13.5nm で順に 1.6 秒角、3.0 秒角、9.3 秒角となった。鏡の位置のずれは波長 2.37nm、4.4nm、13.5nm で順に  $0.17 \mu\text{m}$ 、 $0.31 \mu\text{m}$ 、 $0.96 \mu\text{m}$  となった。X 線干渉計を模擬した可視光干渉計をつくり、可視光による実験を行った。干渉縞を撮像し要求精度の評価が正しいことの確認を行った。このことから要求精度を満たすためにはピエゾ素子が必要であることが分かった。

[1] <http://maxim.gsfc.nasa.gov/>

## GEM(Gas Electron Multiplier) を用いた高エネルギー帯の X 線検出

機器  
12b

小川 大樹 (工学院大学 M1)  
8月3日 12:00 B会場

GEM(Gas Electron Multiplier) とは '97 年に欧州原子核研究機構 CERN の F. サウリにより重力を媒介するピクス粒子の検出を目的に開発された検出機器である GEM(Gas Electron Multiplier) の検出原理は、ガスを充填したチャンパー内に入射した電磁波や素粒子などがガス分子を電離し、発生した電子を GEM により検出可能な大きさまで増幅する。本学では GEM を使い、主に数 10keV 以上の高エネルギー帯の X 線を検出する GEM をもちいた実験を行っていく予定である。GEM を使った実験を始めるにあたり、プリアンプなどの周辺回路を自主製作している。これまでの研究では GEM によって 0~60 倍程度増幅されることを確認した。本発表では実験システムと研究の現状について詳細を報告する。

## 国際宇宙ステーション搭載高エネルギー電子・ガンマ線実験 CALET ガンマ線バーストモニター (GBM) の現状報告

機器  
13c

原 拓生 (青山学院大学 学部生)  
ポスター発表 (口頭なし)

国際宇宙ステーション上の日本実験棟船外実験プラットフォーム「きぼう」第 2 期利用 高エネルギー電子・ガンマ線観測装置 (CALET) における観測装置の一つである、ガンマ線バーストモニター (GBM) について発表を行う。CALET は、2013 年打ち上げ予定の GeV-TeV 領域の高エネルギー電子・ガンマ線観測装置であり、特に宇宙からの高エネルギー電子の起源解明や暗黒物質からの信号検出を目的とする。観測装置として高エネルギー電子・ガンマ線観測のための主検出器であるカロリメータ (CAL) をもち、CAL のガンマ線バースト (GRB) 観測を補助する 5 keV-20 MeV に感度をもつ GBM が付加されている。GBM は、青山学院大学吉田研究室を中心として開発が進められており、シンチレーターに新しい LaBr<sub>3</sub>(Ce) 結晶と BGO 結晶を使用することで、X 線からガンマ線の広い領域のエネルギースペクトル測定を行う。GeV 領域の GRB 観測は現在 Fermi によって行われてきているが、まだまだ十分とはいえない。特に keV-GeV 領域の広帯域スペクトル測定を行い、GRB 放射の起源に迫ることが狙いである。本講演では、開発フェーズにある CALET 計画の概要、GRB 観測の現状、と GBM の開発の現状について報告する予定である。

## 硬 X 線偏光観測衛星 TSUBAME の開発

機器  
14b

榎本 雄太 (東京工業大学 M1)  
8月3日 12:03 B会場

ガンマ線バースト (GRB) は非常に遠方で起こる宇宙最大の爆発現象である。GRB 初期放射の硬 X 線偏光観測は、放射領域の磁場情報を測定する有用な手段であり、相対論的ジェット形成や粒子加速のメカニズムなどを推測する上で重要な手がかりになると考えられてい

る。しかし、GRB が突発天体であり、急速に減光してしまうことから、観測が極めて難しく、科学的に有意なデータは未だに得られていない。

TSUBAME は東工大が打ち上げる 4 機目の超小型衛星であり、理学部・工学部および複数の参画機関の連携によって開発が進められている。本衛星には、理学検出器として、GRB を検知し位置決定を行う広視野バーストモニター (WBM) と、偏光度を測定する硬 X 線偏光計 (HXCP) を搭載し、超小型衛星である利点を活かした高速姿勢制御によって、GRB 検出から 15 秒以内での偏光観測開始を目指している。

我々は、2009 年から本格的に TSUBAME 搭載用検出器の開発を進めてきた。特に、硬 X 線偏光計については、プロトタイプを開発を進め、2009 年 12 月には高エネルギー加速器研究機構において、偏光 X 線ビームを用いてプロトタイプの性能評価試験を行った。現在は両検出器ともエンジニアリングモデルの開発を行っている。本発表では、TSUBAME 衛星および偏光観測ミッションの概要を紹介し、各検出器開発の昨年の成果、さらに現在の開発状況について述べる。

## CVD 装置により曲がった Si 単結晶における X 線反射率

機器  
15b

得能 敦 (中央大学 M1)  
8月3日 12:06 B会場

偏光 X 線観測の光学系について報告する。現在 X 線観測において偏光はまだ解析されてない。理由は偏光 X 線観測の技術が難しいからである。しかしながら現状では X 線以外の波長領域では偏光観測は盛んに行われている。天体の放射起源や放射機構を考察するには他波長での観測結果の比較が必要である。よって偏光 X 線を観測する事は十分に意義があると言える。そこで我々は Si(400) に DLC(Diamond-Like Carbon) を蒸着させる事により曲がった Si を開発した。曲がった Si は平らな Si に比べてエネルギー帯域が広く取れるのではないかと期待された。実際に角度幅は最大のもので 2 度になり、これはエネルギーで 0.5keV に等しい。曲がった Si は DLC の蒸着時間によって曲率半径が異なる。本講演では曲率半径のそれぞれ異なる曲げ Si で得られた X 線反射率について発表する。

## すざく衛星搭載 XIS1 の機上較正

機器  
16b

轟 章太郎 (立教大学 M1)  
8月3日 12:15 B会場

2005 年 7 月に打ち上げられた日本の X 線天文衛星「すざく」では、現在 XIS0,1,3 (軟 X 線検出器) の 3 台が稼働中である。XIS0,3 のカメラには表面照射型 CCD が、XIS1 のカメラには裏面照射型 CCD が搭載されている。一般に CCD は可視光にも感度があり信号を出してしまうので、OBF(可視光遮断フィルター) を取り付けている。OBF として 1000 Å のポリイミドの両面に、合計 1200 Å のアルミニウムを蒸着したものを使用している。また OBF には経年につれて HCO が主成分のコンタミネーション (汚染物質) が積載していくため、特に低エネルギー側の X 線強度に影響を及ぼすことが知られている。

昨年末に XIS1 に非常に小さな隕石が衝突し OBF に穴が空いてしまった。X 線観測に影響を及ぼす可能性が

ある。そのため可視光では暗く、X線のスペクトルが非常に低エネルギー側に偏った天体である「RXJ1856.5-3754」の穴が空く前後のデータを比較することで、コンタミネーションとOBFによる吸収量の変化を調査した。その結果穴が小さいため穴の位置で天体を観測しても影響はなく、コンタミネーションの量も現在のところほとんど変化していないことが判明した。

機器  
17b

### 薄膜フィルムをコーティングした新型 X 線 CCD の研究開発

河合 耕平 (工学院大学 M1)  
8月3日 12:18 B会場

2014年度打ち上げ予定の X 線天文衛星 Astro-H は、新型の国産の X 線 CCD を搭載する。搭載する X 線 CCD は裏面照射型であるため、X 線に加えて可視光、紫外線と幅広い帯域で高い感度を有する。衛星搭載用として観測範囲を X 線に絞るため、CCD 表面をアルミニウムの間にポリイミドを挟んだ構造のフィルム、OBL (Optical Blocking Layer の略称) をコートするデザインの検討を行っている。アルミニウムで可視光を、ポリイミドで紫外線を遮光することができる。各透過率の目標として、可視光では  $10^{-5}$  以下、紫外線では  $10^{-2}$  以下と設定している。我々は OBL の実用化に向け、OBL コーティングした裏面照射型 CCD に、20~80 eV の帯域の紫外線照射実験と、5000~9000 Å の可視光を照射して紫外線と可視光の遮断効果の実証実験を行った。可視光の遮断効果の実証実験では OBL コーティングした CCD とコーティングしていない CCD を用いて撮像を行い、得られて強度から可視光透過率を算出した。結果として、OBL に可視光を透過させたときの透過率は、 $10^{-5}$  程度とわかった。今回の報告では、OBL の開発現状について報告する。

機器  
18b

### 人工衛星搭載を目指した簡易校正線源の開発実験

八木橋 伸佳 (立教大学 M1)  
8月3日 12:21 B会場

衛星に載せた CCD カメラ等は宇宙からの放射線によって、損傷を受ける。そのため天体からの X 線を観測するとき、入射 X 線のエネルギーと検出器の信号の関係とばらつきが生じてくる。そこで、人工衛星を打ち上げ後も波高や分解能を常にモニタするために校正線源を搭載する。2013年度打ち上げ予定の Astro-H 衛星に搭載するマイクロカロリメーターは、温度に大変敏感である。今は、数分に 1 回の頻度で校正したいと考えており、そのために紫外線 LED と光電面を使い、光電効果で電子を放出させ、その電子を高電圧で加速して陽極に当て、X 線を発生させる新しいタイプの X 線発生装置を提案している。この新しいタイプの X 線発生装置の性質を理解し、性能を向上させるために実験を進めている。

機器  
19c

### 日本における重力波観測のこれから

陳 たん (東京大学 M1)  
ポスター発表 (口頭なし)

重力波とは、質量を持った物体の運動によって生じ

る、時空の変化が波として空間を伝わる現象である。重力波と物質の相互作用は非常に小さく、いまだに直接観測がされていない。重力波は透過性が高いため、電磁波では観測ができない初期宇宙の観測や超新星爆発のメカニズムの解明などが期待されている。

重力波の観測は主にレーザー干渉計を用いた手法が取られ、現在世界中で数 km 級のレーザー干渉計による観測が試みられている。日本にも 100m を超える干渉計が二台 (TAMA300 と CLIO) あり、現在 3km の干渉計 (LCGT) や、DECIGO と呼ばれる宇宙空間での重力波観測の計画が進められている。LCGT は、TAMA300 によって培われた地面震動を抑えるための SAS の開発技術と、CLIO によって培われた鏡の雑音を抑えるための低温化技術を取り入れ、レーザー干渉計の規模も大きくした重力波観測装置である。LCGT は重力波イベントの観測を年に数回行えると期待されている。DECIGO は、地面震動のない宇宙空間で重力波を狙う検出器で、その最大の目的は、重力波による、インフレーションの直接観測である。これ以外にも宇宙の膨張加速度の計測によるダークエネルギーの性質の解明や、銀河の中心に存在する巨大ブラックホール形成の観測も期待されている。

重力波観測チームでは現在、干渉計内での重力波信号のキャンセルを低減するための RSE 干渉計の実験や、鏡の振動と重力波信号の切り離しを行う変位雑音のキャンセル実験、量子雑音を観測する QND 実験、DECIGO で必要な技術を宇宙空間で実証するための試験衛星 DPF の開発などが行われている。

本ポスターでは LCGT や DECIGO について述べ、私が携わる観測装置の開発について触れる。

機器  
20a

### 重力波検出器における低周波防振

関口 貴令 (東京大学 M1)  
8月3日 15:30 B会場

重力波は、Einstein の一般相対性理論によって存在が予言されている波動現象である。これまでに直接検出された例はなく、世界中の研究機関がその初検出を目指して装置の開発に取り組んでいる。重力波は 2 物体間の距離を変化させるため、微小な距離変化を測定することのできるマイケルソン干渉計が重力波観測装置として使われる。現在日本でも、神岡鉱山の地下に 3 km の腕を持つマイケルソン干渉計を作る LCGT (Large-scale Cryogenic Gravitational wave Telescope) 計画が推進されている。しかし重力波による距離の変動は非常に小さいため、重力波を検出できるだけの感度を得るためには熱雑音や光の散乱雑音といったさまざまな雑音を取り除いてやる必要がある。特に地上観測における雑音源の一つとして地面振動があり、重力波を検出するにはこの地面振動から装置を守ってやらなければならない。地面振動のエネルギーは周波数成分で見ると主に低周波 (< 10 Hz) 領域に集中している。このような低周波領域の防振を実現する装置として、倒立振り子を用いた SAS (Seismic Attenuation System) がある。本研究ではこの SAS に関するシミュレーション等を行う。

## ASTE 搭載用多色 TES ボロメータ カメラの開発

機器  
21a

長勢 晃一 (総合研究大学院大学 M1)  
8月3日 15:45 B会場

ミリ波サブミリ波帯での多色多画素カメラの重要性が近年高まっている。本発表では現在開発中の ASTE 搭載用ミリ波サブミリ波多色 TES ボロメータカメラについて開発状況と目的について紹介する。TES ボロメータは APEX-SZ や SPT など、世界でも多くの実績のある方式のカメラであり、TES は低インピーダンスで動作する温度計のため、読み出し回路に高感度な磁束計である SQUID を用いることができ、SQUID によるマルチプレックス読み出しが可能である。遠方サブミリ波銀河の距離測定やダスト減光の不定性を除いた星形成史の解明、銀河団における Sunyaev-Zel'dovich 効果 (SZ 効果) を用いた高温ガスの温度・密度の推定といった重要な課題で、我々のカメラは十分に活躍するだろう。

## 遠赤外線 Ge:Ga 接合素子の評価

機器  
22a

桐山 雄一 (名古屋大学 M1)  
8月3日 16:00 B会場

これまでのスペース赤外線天文学において、観測波長 100-200 $\mu\text{m}$  の遠赤外線を観測する際は、圧縮型 Ge:Ga 検出器が用いられていた。しかし、宇宙放射線の衝突により感度が変化し、また、過渡応答が緩慢であるという問題を抱える。さらに、波長感度を長波長側に伸ばすために、Ge:Ga 素子に破壊限界の半分という高い圧力を加えなければならず、そのために大きな加圧機構が必要となり、大規模アレイ化は困難である。そこで、これらの問題点を解決するものとして BIB(Blocked Impurity Band) 型検出器が挙げられる。BIB 型検出器は、不純物を高濃度でドーピングした受光層と、受光層に形成される不純物バンドに起因する暗電流を抑えるための高純度ブロック層から成る。高ドーピング受光層の厚みは 10 $\mu\text{m}$  程度に薄くできるため、小型化が可能で、宇宙放射線のヒットレートを下げることができる。また、理論上、複雑な過渡応答が現れないことが期待されている。さらに、高濃度で不純物をドーピングすることにより、加圧しなくても波長感度が長波長側に伸びるので大規模アレイ化が可能である。この BIB 型構造を実現する方法の一つとして、我々は、表面活性法による常温ウェハ接合技術を提案しており、その適用可能性を調べた。実験の結果、接合面が光感度には深刻な影響を及ぼさないことが分かった。その上で、我々は引き続き、BIB 型構造の素子の電流-電圧特性、波長感度特性、光感度特性を詳細に調べた。その結果、BIB 型構造に起因する非対称な電流-電圧特性を示し、波長感度は長波長側に伸び、光感度も悪化しないという結論を得た。本講演では、これらの試験結果について報告する。

## アタカマ 1 m 望遠鏡中間赤外線カメラ MAX38 による 30 $\mu\text{m}$ 帯 sky の観測

機器  
23a

内山 瑞穂 (東京大学 M1)  
8月3日 16:15 B会場

東京大学は現在東大アタカマ 6.5 m 赤外線望遠鏡 (TAO) 計画にて、初めて地上から 30  $\mu\text{m}$  帯を含む中

間赤外線装置の開発及び運用を行う。この 30  $\mu\text{m}$  帯が地上で観測できるのは地上にある可視赤外線望遠鏡では世界最高高度である 5640m のアタカマサイトのみであり、それゆえ、この波長帯での観測条件は今現在にはわからない状態である。更に、中間赤外線では天体以上に sky が明るいため、これを可能な限り chopping 等で除去しなければならない。そのため、現地の 30  $\mu\text{m}$  帯 sky の詳細な観測データと解析情報が必要である。こうしたデータを TAO 建設及び装置開発の参考情報として得るために、今回我々は現地パイロット望遠鏡アタカマ 1 m 望遠鏡 (miniTAO) に搭載された自作中間赤外線カメラ MAX38 を用いて、地上初の 30  $\mu\text{m}$  帯を含む観測を行った。

今回の発表では、その際の観測データを用いた 30  $\mu\text{m}$  帯 sky の明るさの主要因の特定と、最適 chopping 周波数の算出について講演する。

[1] Absil, O., Bakker, E. J., Schoeller, M. & Gondoin, P. A., 2004, Proceedings of the SPIE, 5491, 1320

[2] Kaeufel, H. U., Bouchet, P., van Dijsseldonk, A. & Weilenmann, U., 1991, Experimental Astronomy, 2, 115

[3] Lord, S. D., 1992, Technical report, NASA Technical Memorandum.

## 「あかり」InSb 検出器の昇温時における動作の理解と地上実験による検証

機器  
24a

森 達哉 (名古屋大学 M1)  
8月3日 16:30 B会場

赤外線天文衛星「あかり」は、2006 年の 2 月 22 日に打ち上げられた日本初の本格的な赤外線天文衛星である。赤外線は 3000 ~ 10 K の黒体放射のピークに相当する。そのため、観測器自体の熱放射によるノイズを防ぐため、望遠鏡、検出器などは全て液体ヘリウムと冷凍機で 6 K に冷却して使用していた。2007 年 8 月に冷媒の液体ヘリウムが枯渇し、その後は冷凍機による冷却で焦点面を 40 ~ 50 K に保ち、近赤外線観測を続けている。とくに、波長 2-5  $\mu\text{m}$  で連続した分光機能は、地上・宇宙望遠鏡を含めても現在「あかり」だけが有するもので、その科学的価値は高い。

「あかり」の近赤外線チャンネル (NIR/IRC) には、512 $\times$ 412 素子の 2 次元センサアレイ (Raytheon 社製 InSb/SBRC-189) を使用している。これは、検出素子である InSb ダイオードに極低温用 CMOS 回路をハイブリッドした source follower per detector 型である。このアレイの最適動作温度は ~ 10 K であるため、冷媒が枯渇し焦点面温度が 40 K を越えた現在、暗電流量やホットピクセル数の増加、相対感度低下等の観測性能劣化が見られる。

本研究では、実際の「あかり」衛星の液体ヘリウム枯渇前後での取得データの比較解析と、衛星搭載アレイと同等品の地上での 10 ~ 50 K での昇温動作実験の結果を合わせて、InSb 検出器の性能 (暗電流・読み出し雑音・ホットピクセル数・相対感度) の温度依存性を評価し、その物理状態を考察を行った。本発表では、これらの結果を報告するとともに、この解析・実験結果のデータの解析へのフィードバックと、今後、冷凍機の停止によりさらに温度上昇した場合の観測運用の可能性について、技術的な面からの考察も行いたい。

機器  
25a

京大岡山 3.8m 望遠鏡の概要とシャックハルトマンカメラの動作試験  
伏見 直茂 (京都大学 M1)  
8月3日 16:45 B会場

本講演では、京大岡山 3.8m 望遠鏡の概要と、シャックハルトマンカメラの動作試験について述べる。

現在、世界最大の望遠鏡は口径 8~10m クラスであるが、次世代の望遠鏡としては口径 30m クラスのものが検討され、既に建設が計画されている。それらの超巨大望遠鏡では、すばる望遠鏡のように単一鏡の主鏡をつくるのは不可能で、1m サイズの鏡(セグメント)を nm 単位で制御し巨大な一枚の主鏡のように動かせる、分割鏡式の採用が必要となる。

京大岡山 3.8m 望遠鏡(以下岡山望遠鏡)は、京都大学理学研究科、国立天文台岡山天体物理観測所、名古屋大学 7 研、(株)ナノオプトニクス・エナジーが協力して現在建設計画中であるが、主鏡が 18 枚の分割鏡で構成されている。出来上がれば、日本で初めての分割鏡の望遠鏡となる。これは、次世代の巨大望遠鏡のための技術の開発を目的にしている。

今回の発表では、京大岡山望遠鏡について述べ、岡山望遠鏡のためのシャックハルトマンカメラを試作したことについて述べる。シャックハルトマンカメラとは、望遠鏡の主鏡形状を調べるためのカメラであり、岡山望遠鏡では各セグメントの向きを調べるために用いる。このシャックハルトマンカメラは、18 枚のレンズアレイが使われており、カメラの画像では、それぞれのレンズから結像した 18 点の位置が映る。各々の点は対応するセグメントからの光が結像する点であり、その位置が正確な箇所よりずれていれば、対応するセグメントの向きがずれていることを示す。

我々はこのシャックハルトマンカメラの制作および動作試験を行った。動作試験は 1) 大気揺らぎを検出できるか 2) レンズの収差を検出できるかを調べ、定性的な考察を行った。1) でははんだごてを使って温度による大気揺らぎを作り出し、2) では光学系に市販のレンズを挿入し、像の変化を調べた。講演ではこれらの実験について紹介する。

機器  
26a

ガンマ線バースト偏光検出器のシミュレータ開発と応答確認  
森原 良行 (金沢大学 M1)  
8月3日 18:00 B会場

ガンマ線バースト (GRB) は数十秒の間に大量のガンマ線を放射する宇宙最大規模の爆発現象です。GRB の放射機構は理論的には予測されていますが、実際の観測により確かめられたことはありません。予想されている放射機構ではガンマ線は偏光していると考えられています。GRB が放射するガンマ線の偏光を測定できれば GRB の放射機構解明の大きな手がかりになります。

私たちの研究室では GRB 偏光検出器 (Gamma-ray burst Polarimeter:GAP) を開発し、今年の 5 月 21 日に H2A ロケットで打ち上げられた小型ソーラー電力セイル実証機 IKAROS に搭載しました。GAP を用いて世界で初めてとなる GRB の偏光測定を目指しています。GAP はコンプトン散乱の散乱異方性により偏光を測定する、散乱型の検出器です。その為、検出器の応答は大

変複雑になります。GRB の偏光度や偏光方向を求めるためには、様々な条件でのシミュレーションと実際の観測データとを照らし合わせて検出器の応答を確認することが必要になります。本研究では、GAP のシミュレータ開発を行い様々なエネルギースペクトル、偏光度、偏光方向をもつガンマ線に対しての応答を調べました。シミュレーションで得られた GAP の応答から GRB の偏光度、偏光方向を測定する方法を述べます。

機器  
27a

小型衛星搭載用の新型偏光検出器の開発  
菊池 将太 (金沢大学 M1)  
8月3日 18:15 B会場

ガンマ線バースト (GRB: Gamma-Ray Burst) とは、非常に短い時間変動を伴うガンマ線が、宇宙の遠方から突発的に飛来する天体現象である。これは宇宙で最大の爆発現象と言われている。我々の研究室では、この GRB をテーマにして幾つかの開発を行っている。一つは、GRB の偏光観測により、GRB の放射機構や磁場構造を解明することであり、もう一つは、GRB の距離を決めて、宇宙の一番星をみつけて宇宙初期の状態を探ることである。ガンマ線は大気の吸収により地上には届かず、人工衛星を用いた観測が必要になる。既に我々は、小型ソーラー電力セイル実証機「IKAROS」に GRB 偏光検出器を搭載し、観測を始めている。

次なる目標として、計画中の小型衛星 PolariS (Polarimetry Satellite) への検出器搭載を目指しているが、そのためには、更に高性能な偏光検出器が必要である。それらを視野に入れて、MPPC (Multi Pixel Photon Counter)、CdTe 検出器などの開発を始めている。今回は、その中でも複数の APD からなる新型光子検出器 MPPC を紹介する。MPPC は、小型・軽量・耐衝撃性を満たす検出器であるが、まだ衛星に搭載されたことはない。我々は MPPC で多チャンネル読み出し型検出器を開発し PolariS 搭載を目指す。

機器  
28a

ISAS 1.3m 可視・赤外線望遠鏡用多色ガンマ線バースト観測システムの開発  
儀間 啓 (金沢大学 M1)  
8月3日 18:30 B会場

ガンマ線バースト (Gamma-Ray Burst: GRB) とは、激しい時間変動を伴うガンマ線が宇宙遠方から短時間の間に突発的に降り注ぐ現象である。この現象は 1 日に約 1 回程度の頻度で発生している。発生源での総エネルギーは  $10^{52}$  erg にも達し、宇宙最大の爆発である。GRB には、ガンマ線放射のあとに数日間にわたり X 線や可視光の残光がある。残光は明るく、地上の中小望遠鏡でも観測が可能であり、早期残光を使って粗い距離の同定が期待されている。GRB では既に  $z \sim 8.2$  (UKIRT) が見つかっており、目標は  $z \sim 10$  (約 132 億光年) で発生する GRB を即時・多波長測光において観測することである。宇宙の一番星を捉えることは、初期宇宙の構造や宇宙の成り立ちを理解する情報になる。

当研究室では、宇宙科学研究所 (ISAS) 屋上に設置されている 1.3 m $\phi$  光学赤外線望遠鏡と金沢大学理学部屋上に設置した口径 40 cm $\phi$  鏡を用いて、GRB の観測を行っている。GRB の即時・多波長観測を行うために

日々システムの改修作業を行っている。昨年度には、高速導入を実現し、可視・赤外線同時観測システムをほぼ完成させた。ただ、赤外線検出器 (CdHgTe) の素子劣化が進行し、新たな赤外線検出器 (InGaAs) を導入して新たな可視光・赤外線観測システムを構築している。

本講演では、今までの改修作業の概要について紹介し、新しい観測システムの性能評価について述べる。 $z \sim 10$  の GRB の発生期待値は、これからの 5 年から 10 年に 1 回と言われる。観測条件を考えると難しい観測でもある。

機器  
29a

### 超広視野可視光望遠鏡 WIDGET-2 における画像処理のパイプライン化

高原 一紀 (埼玉大学 M1)

8月3日 18:45 B会場

GRB (ガンマ線バースト) は、宇宙のどこからか前触れもなく起こる最大規模の爆発現象である。起源については、大質量星の爆発、中性子星とブラックホールの合体などがあり、またその放射機構についての様々な説があるが、未だに謎の多い天体である。

我々の超広視野可視光望遠鏡 WIDGET ( WIDe-field telescope for GRB Early Timing ) は、この GRB の発生起源解明のため開発された。 $62^\circ \times 62^\circ$  の視野と 1- で 13.9 等の限界等級を持ち、現在東京大学木曾観測所において完全リモート操作による運用を行っている。GRB は全天で突発的に発生するため、GRB 探知衛星の Swift は常に広視野を観測している。しかし、この Swift が GRB を発見してからバーストの位置情報を地上に送るまでには数十秒のタイムラグがあり、GRB 発生前後の可視光観測は非常に困難である。そこで WIDGET が Swift の視野を追尾同時観測することで、発生前後の可視光観測を可能にしている。

また、WIDGET は Swift の視野を追尾しながら一晩のうち何回も視野を変えるため、結果として北天を広く、ほぼランダムにサーベイしている。このことを利用して、GRB 以外にも超新星や変光星などの探査に役立つデータベース化も期待される。そこで、観測と並行して、データベース化に向けた画像処理を自動で行うパイプラインも考案した。具体的には、まず画像上に含まれる雲や月、小屋の屋根等が写っているデータを判断し取り除く。続いて CCD のノイズやレンズの周辺減光及びムラなどの影響を差し引く「一次処理」を行ったうえで、撮像された星を用い、画像ごとに正確な位置情報を与える「位置決定」を行う。本講演では、GRB 観測や WIDGET の現状と、このパイプライン化について紹介する。

機器  
30a

### 導電性プラスチックを電極に応用した ガス電子増幅フォイルの研究開発

吉川 瑛文 (東京理科大学 M1)

8月3日 19:00 B会場

NASA が 2014 年に打ち上げを計画している世界ではじめての X 線偏向観測衛星 GEMS に、我々が理研で開発しているガス電子増幅フォイル (Gas Electron Multiplier; GEM) が搭載される。このデバイスは、2 次元のイメージを保ったまま電子増幅することができるマイクロパターンガス検出器である。X 線と検出器ガスとが光電効果を起こすと、光電子は X 線の電場ベクトル

方向に放出されやすい性質がある。GEMS の X 線偏向計では GEM を利用して、偏向 X 線による光電子の飛跡をイメージとして追跡することで X 線の偏向を検出する。GEM は F.Sauli によって CERN で 1996 年に開発された。50 ~ 100  $\mu\text{m}$  厚みの絶縁体を 8  $\mu\text{m}$  銅板で狭んだシートに均一に直径 100  $\mu\text{m}$  程度の穴を開けた構造をしている。検出器ガスのなかで GEM の銅板の電極間に電圧をかけることで、電子を増幅させている。穴の中に強い電場が生じることで、電子が穴のなかで電子雪崩を起こし増幅される。GEM の両電極に大きな電圧をかけた状態で、電極間に放電が発生すると、電極間の絶縁体が導通してしまい、GEM は電子を増幅しなくなるという問題がある。

この解決法として、電気抵抗が高い導電性プラスチックを電極に利用することが提案された。電気抵抗が高い電極を利用すれば、放電が発生した時に放電箇所への電荷の流入量を制限することができるので、絶縁体が導通する確率を下げる。私は電極を高抵抗の電極に置き換えたガス電子増幅フォイル (Resistive-GEM) を世界ではじめて作成して、電子の増幅の様子を確認した。放電に対して耐性が強い Resistive-GEM の開発に成功すれば、今後の高エネルギー宇宙観測に利用されていくだろう。

[1] Sauli, F., et al., 1997, Nucl. Instr. and Meth., A 386, 531

[2] Tamagawa, T., et al., 2006, Nucl. Instr. and Meth., A 560, 418

[3] Tamagawa, T., et al., 2009, Nucl. Instr. and Meth., A 608, 390

機器  
31a

### $\mu$ -PIC を用いた MeV 線コンプトン カメラの開発

松岡 佳大 (京都大学 M1)

8月3日 19:15 B会場

sub-MeV から数十 MeV 領域の線は、超新星残骸の元素合成による放射性同位体からの放射や、ブラックホールの降着円盤内側での  $\pi^0$  崩壊からの放射などが考えられ、いまだ解明されていない天体現象の鍵となる。しかし、可視光・X 線に比べ光子数が少ないこと、バックグラウンドが多いこと、大気によって吸収されてしまうことなどから観測が難しい。当研究室では、 $\mu$ -PIC というピクセル型ガス検出器と、シンチレータを組み合わせた新型 MeV 線カメラの開発を行っている。線の sub-MeV ~ MeV 領域での主な反応であるコンプトン散乱であり、この検出器はコンプトン散乱の反跳電子の三次元軌跡とエネルギー、反跳 MeV 線の検出点とエネルギーの取得が同時に行うことができ、コンプトン散乱を 1 光子ごとに再現可能である。これにより、MeV 線の到来方向を一意に決定できる。ここで大気による線の吸収を避けるため、検出器を上空に上げる必要がある。当研究室では、人工衛星搭載を目標に、現在、開発した検出器を用いて気球実験を行っている。2006 年にはプロトタイプによる気球実験を行い、大気線と宇宙拡散線の観測に成功した。2012 年には天体観測を目的とした次期気球実験を予定しており、現在、検出器の大型化による検出感度の向上、封入ガスの種類による検出効率・位置分解能の向上、長期フライトに向けた装置の省電力化のための機器の開発等、改良を行っている。本講演では、我々の検出器の原理の説明と次期気球実験に向けた開発の現状を紹介する。

- [1] 上野一樹, 2006, 修士論文 (京都大学)
- [2] 高田淳史, 2007, 博士論文 (京都大学)
- [3] 高橋慶在, 2009, 修士論文 (京都大学)

次世代 X 線天文衛星搭載へ向けた  
TES 型 X 線マイクロカロリメータ  
の開発

機器  
32a

大石 詩穂子 (首都大学東京 M1)  
8月4日 9:00 B会場

宇宙の進化や大規模構造などを解明していく上で、宇宙の高エネルギー現象をとらえる事は重要である。そのために X 線輝線や吸収線を用いた詳細な分光は必須である。我々はダークバリオン探査を目的とした次世代 X 線天文衛星 DIOS 搭載へ向けた、X 線分光器 TES (Transition Edge Sensor) 型マイクロカロリメータの開発を行っている。TES カロリメータは入射した X 線光子のエネルギーによる素子の微小な温度上昇を、超伝導遷移端における急激な抵抗変化を利用して測る検出器である。これまでの CCD などの半導体検出器に比べ 1 桁以上優れた分光能力を持ち、100 mK 程度の極低温で動作させることで数 eV という高いエネルギー分解能を達成することが可能である。TES の遷移温度は、冷凍機の能力内で良いエネルギー分解能を得るために 100 ~ 120 mK の範囲が望ましく、我々のグループでは TES 温度計に超伝導金属 (Ti) と常伝導金属 (Au) の二層薄膜を使用することで、近接効果を利用して遷移温度をコントロールしている。これまでにチーム内で自作した単素子で 5.9 keV (Mn-K ) の X 線に対し 2.8 eV (半値幅) を実現している (Akamatsu et al. 2009)。これは NASA のもつ世界最高性能 1.8 eV @ 5.9 keV に迫る性能である。

衛星搭載を実現するためには、16 × 16 ピクセル以上のアレイ素子全体で良い性能を得る必要がある。現在は数ピクセルで 4.4 eV を得ているが、このような密集した大規模ピクセルの実現には、基板上的配線スペースや、ピクセル間のクロストークが問題となってくる。そこで我々は ~10 μ m 幅の Al や Nb の配線を酸化膜の絶縁体を挟んで重ね合わせた超伝導積層配線の試作を行った。3.5 cm 角の基板上に 20 × 20 の 400 ピクセル分の配線を形成し、下部配線に Al (厚み 100 nm)、上部配線に Nb または Al (厚み 50 nm または 100 nm) を使用した。現在は Al-Al の積層配線の上に 20 × 20 TES アレイの作り込みを行っている (大石, 応用物理学会 2010 発表予定)。本講演では、こうした TES カロリメータアレイの開発状況を報告し、DIOS 衛星の見通しについて述べる。

- [1] Ohashi, T., et al., 2006, Proceedings of the SPIE, 6266, 62660G
- [2] Akamatsu, H., et al., 2009, LTD-13, AIP conf. proc., 1185, 195
- [3] 江副, 篠崎, 竹井, 2009, 日本物理学会誌, 64, 611

TES 型 X 線マイクロカロリメータ  
を用いた電荷交換反応機構の解明

機器  
33a

榎 崇利 (首都大学東京 M1)  
8月4日 9:15 B会場

X 線天文学において軟 X 線背景放射の主成分は、太陽系近傍で発生した超新星爆発のなごりに起因するもの

と考えられてきた。近年の研究により、太陽風に含まれる高電離イオン ( $C^{n+}$ ,  $N^{n+}$ ,  $O^{n+}$ , ...) と地球近傍の中性の星間物質 (H, He,  $H_2O$ , ...) との間で起こる電荷交換反応により発生する X 線が確認された (Fujimoto et al. 2007)。その放射は、軟 X 線背景放射に対し無視できない割合を占めている可能性が示唆されている。しかし、現存する X 線天文衛星搭載の検出器では、分光性能や量子効率の問題から、電荷交換反応による輝線と高温プラズマからの放射を区別するのが困難である。

我々は、高分光性能、高量子効率の TES 型 X 線マイクロカロリメータ (TES カロリメータ) を用いて、太陽風と地球近傍の中性の星間物質間で起こる電荷交換反応機構を解明するため地上実験を進めている。TES カロリメータとは、極低温 (~100 mK) で動作し、X 線入射時に起きる素子の温度上昇を利用して分光を行う精密 X 線分光装置 ( $\Delta E = 2.8 \text{ eV} @ 5.9 \text{ keV}$ 、大石講演参照) である。

本研究では、電荷交換反応を首都大学東京原子物理研究室が所有する多価イオン源と多価イオン衝突装置によって実現する。2010 年度末を目処に、電荷交換反応からの輝線を TES カロリメータで分光観測することを目指している。2011 年には多素子の TES カロリメータと減速装置を導入し、実際に宇宙で起きている電荷交換反応を分光観測する。現在、TES カロリメータを極低温に冷却するための断熱消磁冷凍機の開発、半導体検出器を用いた電荷交換反応輝線の観測を進めている。半導体検出器による観測では、酸素イオン  $O^{7+}$  と中性 He 原子間の電荷交換反応からの輝線を確認している。本講演では、実験計画の概要と現在までの進捗状況、今後の見通しを報告する。

- [1] Snowden, S. L., et al. 1998, ApJ, 493, 715
- [2] Fujimoto, R., et al., 2007, PASJ, 59, 133
- [3] Akamatsu, H., et al., 2009, LTD-13, AIP conf. proc., 1185, 195

X 線マイクロカロリメータ動作のための断熱消磁冷凍機の開発

機器  
34a

谷津 貴裕 (金沢大学 M1)  
8月4日 9:30 B会場

我々は、宇宙における物質の三次元マップを作成し、宇宙の構造と進化を観測的に明らかにすることを目的とした次世代 X 線天文衛星への搭載をめざし、超伝導遷移端を利用した TES 型 X 線マイクロカロリメータの開発を ISAS/JAXA、首都大学東京とともにすすめている。

X 線マイクロカロリメータは入射 X 線光子一つのエネルギーを素子の温度上昇として測定する検出器である。0.1 K 以下の極低温で動作させることで、 $E/\Delta E > 1000$  の分解能を実現する。断熱消磁冷凍機 (ADR) は冷媒である磁性体に対し、印加磁場を制御しエントロピー操作をおこなうことで極低温を実現するため、微小重力下でこのような極低温環境を作り出す冷凍機として不可欠である。

我々が開発を進めている ADR 用クライオスタットでは、ガラスエポキシ容器を用いて自作した鉄ミョウバン磁性体カプセルを使って冷却試験を行い、断熱消磁冷凍機として動作することを確認した。またクライオスタットの高温側から液体 He タンク (4 K) への放射対策として、多層断熱材 (MLI: Multi-Layer Insulation) を装着し、熱流入を低減した。これにより液体 He の保持時間は装着前の約 2 倍の約 48 時間となった。現在は極低

温環境の整備を進め、較正温度計の導入と2素子までのTES型X線マイクロカロリメータのR-T測定が可能である。現在までの冷却試験結果から、磁性体カプセルへ約 $10\mu\text{W}$ の流入熱の存在が最低到達温度が制限していることが明らかになった。我々は熱流入源の追求をし、より低い到達温度を目指すため鉄ミョウバン結晶を用いた新しい磁性体カプセルの設計と製作を進めている。本講演では、ADRの原理について説明を行い、冷凍機内部の熱環境の解析結果と新しい磁性体カプセルの製作と評価について設計の考え方と合わせて、最新の研究成果を報告する。

機器  
35a

### ASTRO-H 衛星搭載 HXI/SGD 用 高電圧電源部の開発

小山 志勇 (埼玉大学 M1)  
8月5日 9:15 B会場

2014年頭に打ち上げ予定の次期X線観測衛星ASTRO-Hには、10keVから80keVの帯域での撮像観測を行う硬X線撮像検出器(HXI)と、40keVから600keVの帯域で最高感度の観測が期待される軟線検出器(SGD)が搭載される。X線の検出部では光子一粒ずつのエネルギーを測定することで分光観測を行う。光子のエネルギーは、光電効果によって変換された電子の電荷量で測定される。これらの電子を効率良く収集するため、検出部には典型的に500V程度の高電圧をかけて電場をつくる。HXIとSGDでは、シリコン(Si)、テルル化カドミウム(CdTe)の半導体検出器とアバランシェフォトダイオード(APD)が用いられる。現在の設計では、それぞれ、Si-200V、CdTe-500V、APD-400Vの高電圧を印加するので、最大定格500Vと1500V、二種類の高電圧電源の開発を予定している。高電圧電源の特性が検出器の性能を直に左右する。その特性として、APDのgain変動を10%以内にするため3V以内の高圧出力の変動、0.2V以下の高周波ノイズ、という要求が課せられている。さらに衛星搭載品としての特有の環境条件があり、真空・宇宙放射線耐性、長期信頼性、打ち上げ時の振動耐性、衛星全体の熱・構造設計からの条件、0.1W以下の消費電力、などといった厳しい要求が課せられている。我々は試作基板を製作し、その性能評価試験を行っている。今回行った試験項目は、(1)高圧出力の比例線形性、(2)高周波ノイズ、(3)消費電力、(4)高圧出力の長期安定性、(5)高圧出力の温度安定性の測定である。その結果、(3)を除いた全ての試験項目で要求を満たしており、消費電力については今後の開発課題となることが分かった。本講演では、以上の高電圧電源の性能評価試験について報告する。

機器  
36a

### ASTRO-H 衛星組込みネットワーク SpaceWire における時刻付け方法の検証

岩瀬 かほり (埼玉大学 M1)  
8月5日 9:30 B会場

X線帯域における天体観測では入射してくるX線光子一つ一つに対して時刻というタグをつける。これを時刻付けという。パルサーやブラックホールなどの早い時間変動をするX線天体を観測するためには、高い時刻精度での時刻付けを行う必要がある。2013年度打ち上げ予定のX線天文衛星ASTRO-Hでは、時刻情報の細か

さを示す時間分解能は~10マイクロ秒、世界標準時とのズレを表す絶対時刻精度は~30マイクロ秒が要求されている。ASTRO-Hでは衛星時刻として、衛星組み込みネットワークの世界標準のひとつであるSpaceWire(SpW)を通じて、衛星に搭載したGPSと同期した15.6ミリ秒分解能の時刻が衛星内の各機器に配信される。しかし、この衛星時刻だけでは要求時刻性能を達成することができない。そこで我々は、X線を検出するセンサーにおいて、衛星時刻と非同期ながら、より細かい時間刻みの補助カウンターを用意し、両者の時刻を組み合わせ、光子の到来時刻を求めるといふ、新しい手法を提案した。さらに我々は、この新しい方式が、ASTRO-Hに要求される時刻精度を満たすのか、を検証した。その道具として、SpWを介さずにGPSと同期した高分解能な1つの時刻を別に作り、新手法でつけた時刻と比較し、両者の間の時刻情報のズレを測定した。本講演では、この実験の結果を報告する。

- [1] 岩瀬かほり, 2010, 卒業論文 (埼玉大学)
- [2] 神頭知美, 2010, 修士論文 (埼玉大学)

機器  
37a

### 次期 X 線天文衛星 ASTRO-H 搭載 X 線 CCD カメラのデジタルエレクトロニクス開発

小松 聖児 (大阪大学 M1)  
8月5日 9:45 B会場

我々は2014年打ち上げ予定のX線天文衛星「ASTRO-H」に搭載するX線CCDカメラ(Soft X-ray Imager: SXI)の開発を行っている。ASTRO-Hでは宇宙機用ネットワーク規格「SpaceWire」に基づく情報ネットワークが採用されており、SXIを含む4種の搭載観測装置も同様にSpaceWireを採用している。搭載観測装置が個別のハードウェアを持っていると衛星の開発が困難になる。SpaceWireインターフェイスを衛星の共通のコンポーネントとして開発することで、開発の初期段階から完成までスムーズに移行でき、衛星の開発期間、コストの削減、信頼性が向上される。SXIのデジタルエレクトロニクスは、SpaceWireインターフェイスを備えたASTRO-HデジタルI/Oボード「Mission I/O (MIO) ボード」及び、SpaceWireインターフェイスを備えたCPUボード「Mission DE (MDE) ボード」で構成される。MIOと民生品のSpaceWireインターフェイスを用いた組み込みコンピュータでX線CCDカメラ地上試験システムは完成した。現在はMDEを含めたデータ取得システムの開発を進めている。SpaceWire機器の動作試験を効率よくするために、SpaceWireの通信を監視するためのデバッグツールも平行して開発している。本講演では、SpaceWireを用いたSXIデジタルエレクトロニクス開発の現状を発表する。

機器  
38a

### ASTRO-H 搭載軟 X 線カメラ SXI 用 CCD 素子の開発

上田 周太郎 (大阪大学 M2)  
8月5日 10:00 B会場

ASTRO-Hは2010年代に計画されている唯一の大型X線天文衛星である。究極のエネルギー分解能をもつX線マイクロカロリメータ、10keV以上の領域での初めての撮像観測をめざす硬X線望遠鏡+検出器に加えて、軟X線望遠鏡の焦点面に軟X線CCDカメラ:

SXI (Soft X-ray Imager) が搭載される。SXI の特徴はすざく衛星のおよそ4倍の広い視野と低いバックグラウンドである。これを活かして銀河団のピリアル半径を越えて高温ガスからの X 線放射を観測し、カロリメータの観測結果とあわせて、より正確なダークマターの質量測定が可能となる。様々な距離の銀河団を観測することで、ダークマターの宇宙論的進化を明らかにする。SXI では、従来まで広く使われていた Nch-CCD ではなく Pch-CCD、しかも裏面照射型を採用する。Pch 素子は Nch 素子に比べて厚い空乏層 (目標 200  $\mu\text{m}$ ) を実現し、高エネルギー側の高い感度を達成できる。また、裏面照射型で、低エネルギー側の感度も高く、有効な観測エネルギー範囲を広くとれる。

私は、SXI 搭載用大面積裏面照射 Pch-CCD 素子の開発の一貫で、プロトモデル素子の性能評価を行っている。まず、1keV 以下の軟 X 線領域での応答関数を調べるために、酸素、フッ素などの蛍光 X 線を照射する実験を行った。低エネルギー側に伸びるテール成分が無視できない強度で存在することがわかり、現在、表面構造の見直しをするきっかけとなった。改良した素子の性能評価試験を現在予定している。この実験と並行して、宇宙空間において CCD の放射線損傷によるエネルギー分解能の悪化を補償するための電荷注入の方式を最適化する実験を行っている。これまでのところ試した DC 法と呼ばれる電荷注入方式では、各コラムへの注入電荷量のバラツキが大きいことを見出した。

機器  
39a

### レプリカ反射鏡の結像性能の向上

加藤 大佳 (名古屋大学 M1)

8月5日 11:30 B会場

現在、我々は次期 X 線天文衛星 ASTRO-H に搭載する硬 X 線望遠鏡 (HXT) の開発を行っている。この HXT は 80 keV まで集光撮像が可能である。これにより、シンクロトロン放射や逆コンプトン放射といった非熱的放射の卓越した領域での撮像観測が可能となり、非熱的放射が観測されている超新星残骸や銀河団等における相対論的粒子の加速機構解明等が期待される。硬 X 線領域では天体からの光子統計が極端に低いため、望遠鏡には高い集光効率が必須である。そのため我々は反射鏡の厚さを薄くし、多数枚積層することで開口効率を向上させた多重薄板型光学系を採用している。これはすざく衛星に搭載されている X 線望遠鏡にも採用されているが、Au 単層膜による全反射鏡であるためエネルギーの高い硬 X 線は透過してしまう。そこで考えられたのは、多層膜を用いてブラッグ反射によって硬 X 線を反射することである。しかし周期長が一定の多層膜では反射できるエネルギーの幅が狭くなってしまふ。そこで多層膜の周期長を深さ方向に変化させていくことで、より広い範囲のエネルギーの X 線を反射できるようにしている。これを多層膜スーパーミラーと呼び、HXT には Pt/C 多層膜スーパーミラーを用いている。多重薄板型の望遠鏡は高集光力と引き換えに、反射鏡の薄さゆえ結像性能を犠牲にしている。望遠鏡の結像性能を制限する主な要因は反射鏡の鏡面形状誤差である。我々は反射鏡をレプリカ法と呼ばれる製法を用いて製作しているが、この製法では反射鏡の鏡面形状がレプリカ母型に大きく依存することが分かっている。このため、反射鏡の鏡面形状誤差を低減するためには高形状精度母型が必要となる。そこで形状の良い母型だけを使用して反射鏡を製作し、放射光施設 SPring-8 にて性能測定を行った。本講

演では HXT について説明するとともに、SPring-8 での測定結果を元にその性能予測を行う。

機器  
40a

### 多層膜スーパーミラーの最適化

宮田 裕介 (名古屋大学 M1)

8月5日 11:45 B会場

X 線はその特性から斜入射により反射させることができる。今までの X 線望遠鏡は、密度の高い金やイリジウムといった物質の単層膜鏡による、X 線の全反射を利用した集光光学系であり、観測可能なエネルギー帯域は 0.1 ~ 10keV であった。全反射はエネルギーによって決まる臨界角以下の斜入射によって生じ、その角度は、10keV で約 0.4°、80keV では約 0.06° になる。そのため、10keV 以上の硬 X 線領域においては、全反射による光学系は非現実的であり、この領域における集光撮像光学系はこれまで存在しなかった。しかし、この 10keV 以上の領域における撮像観測の必要性は非常に高い。例えば非熱的粒子の加速機構の起源の解明、活動銀河核のより中心付近の物理状態の解明などが期待されている。

そこで、10keV 以上の硬 X 線領域において全反射光学系に代わり実用的であるのが、多層膜によるブラッグ反射を利用した光学系である。多層膜は深さ方向に数十 Å 程度の周期構造をもたせた光学素子で、臨界角を越えて物質内部に侵入してきた X 線に対しても、各層で反射された X 線がブラッグ条件を満たすときに干渉によって高い反射率が得られる。さらに、多層膜の周期長を深さ方向に変化させた多層膜スーパーミラーを開発することで、硬 X 線領域において広いエネルギーバンドで高い反射率も持つ反射鏡が実現できる。そこで 2013 年度に打ち上げが予定されている日本の X 線天文衛星 ASTRO-H 用の設計、NASA、ESA、JAXA が共同開発中の 2021 年打ち上げ予定の IXO に対しての設計を紹介する。

機器  
41a

### 硬 X 線望遠鏡用光線追跡シミュレータの開発

坂廻邊 果林 (名古屋大学 M1)

8月5日 12:00 B会場

我々の研究室では、2013 年度打ち上げ予定の次期 X 線天文衛星 ASTRO-H 搭載用硬 X 線望遠鏡を開発・製作している。硬 X 線は、超新星残骸、銀河団、活動的銀河核などで重要性を示唆されている、非熱的粒子からの放射を観測することのできる波長である。この非熱的粒子がもつエネルギーの総量は、熱的粒子が持つエネルギーの総量に匹敵するとも言われており、非熱的成分の圧力や磁場の圧力も天体の物理状態に寄与していると考えられる。そのため非熱的粒子の観測は天体の進化を解明する上で重要である。特に、微弱な硬 X 線を高感度でとらえ、なおかつ放射領域を特定できる撮像分光観測は、この研究に不可欠である。

望遠鏡を通して得られた観測データから天体の X 線スペクトルや輝度分布を求めるには、望遠鏡の有効面積と、点光源に対する像の広がり表す Point Spread Function を予め知る必要がある。これらは X 線の入射角、エネルギーに依存した関数 (応答関数) として表される。応答関数を解析的に求めることは難しく、また、地上較正実験において全てのパラメータ空間を埋めることは不可能なため、応答関数の構築には光線追跡シミュ

レータが用いられる。現在軌道上で観測を行っている『すざく』衛星も、応答関数の構築に光線追跡シミュレータを用いているが、このシミュレータには 10keV 以上の硬 X 線で顕著になる物質の透過や散乱、Pt/C 多層膜スーパーミラーによる X 線の反射 (ブラッグ反射) が実装されておらず、硬 X 線望遠鏡に適用することは出来ない。そこで我々は、硬 X 線領域の物理素過程が実装されている Geant4 を利用して、新たにこれらを実装した硬 X 線望遠鏡用光線追跡シミュレータを開発している。今回はこの硬 X 線望遠鏡用光線追跡シミュレータについて報告する。

[1] 波岡武, 山下広順, 1999, 「X 線結像光学」(培風館)

.....

機器  
42a

## マイクロマシン技術を用いた超軽量・高角度分解能 X 線光学系の開発

森山 鉄平 (首都大学東京 M1)

8月5日 12:15 B会場

宇宙から飛来する X 線は地球の大気に吸収されてしまうため、人工衛星で観測する必要がある。衛星の打ち上げには数百万円/kg の費用がかかるため、軽量で有効面積が大きく角度分解能がよい望遠鏡が求められている。X 線の物質に対する屈折率は 1 よりもわずかに小さいため、一般的に宇宙 X 線望遠鏡では全反射を利用した斜入射光学系が用いられている。1 keV での臨界角はわずか数度と非常に小さいので、有効面積を大きくするためには反射鏡を多数配置しなければならない。そのため、望遠鏡の重量化が大きな問題になっている。そこで我々は、マイクロマシン (MEMS) 技術を用いた独自の世界最軽量かつ高角度分解能の X 線光学系の開発を行っている (Ezoe et al. ARXO 2008)。

マイクロマシン技術を用いて、薄さ数百  $\mu\text{m}$  のシリコン基板にスリット穴を数千個開け、この穴の側壁を反射鏡として利用する。反射面が粗いと反射波は大角度に散乱されてしまい、反射率が理想よりも減少するので、反射面の表面粗さを数 nm 以下にしなければならない。さらに平行光を集光するため、シリコン基板を球面状に変形させることにより、世界最軽量・高角度分解能の X 線光学系を実現させる。我々は、この手法で世界で初めて X 線反射・結像を実証した (Ezoe et al. HARMST 2009, Mitsubishi et al. Optical MEMS 2010 発表予定)。本講演では、現在、世界で研究開発されている次世代 X 線光学系についてレビューした後、本光学系について説明する。

[1] 井上一 他, 2007, 「宇宙の観測 III」(日本評論社)

[2] 波岡武, 山下広順, 1999, 「X 線結像光学」(培風館)

.....

その他

他  
01b

平成 22 年度 大学院生出張授業プロジェクト (BAP) の活動報告  
鎌田 耕平 (東京大学 D3)  
8 月 2 日 21:00 ABC 会場

大学院生出張授業プロジェクト (BAP) は、主に東京大学の大学院生からなる学生団体である。大学で生み出された知を社会に還元する活動として、我々は母校での出張授業を希望する大学院生を募り、昨年度約 30 件の出張授業を実施した。今年度も活動を継続し、すでに数件の実施が決まっている。また出張授業を全国に広げるため他大学の大学院生や若手研究者との連携も開始した。本講演ではこれら今年度の活動経過を報告する。

.....