

NEWS RELEASE

平成30年6月22日

【本件リリース先】

文部科学記者会、科学記者会、
広島大学関係報道機関**本件の報道解禁につきましては、平成30年
6月26日(火)0時以降(日本時間)にお願
いいたします。**国立大学法人 広島大学
国立大学法人 東京大学大学院理学系研究科
国立大学法人 名古屋大学
学校法人 早稲田大学

記者説明会（6月25日10時00分・東広島）のご案内

**ブラックホールに吸い込まれる直前 100 km での物質の幾何構造が判明
～偏光 X 線を使った世界初の観測に成功～**

【本研究成果のポイント】

- 世界で初めて 2-18 万電子ボルトの X 線（硬 X 線^{注1}）で、ブラックホール連星系からの偏光^{注2}を高い信頼性で観測することに成功しました。
- ブラックホール連星系「はくちょう座 X-1」^{注3}において精度の良い偏光情報が得られ、30 年以上にわたって論争の続いていたブラックホールに降着し（降り積もり）吸い込まれる直前（ブラックホールから約 100 km というごく近傍）での物質の幾何構造^{注4, 5}を明らかにすることができました。
- 日本とスウェーデンとの国際共同研究により開発した、硬 X 線の偏光観測に特化した検出器で世界最高の感度を達成できたことによって得られた成果です。^{注6, 7}
（YouTube 動画：「PoGO+ Balloon Launch」で検索
<https://www.youtube.com/watch?v=Ooxd9-Wl-Qg>）
- 今回の研究を発端に、偏光 X 線観測が新しい観測手段として確立され、ブラックホールに関する様々な謎の解明が期待されます。

【概要】

このたび、広島大学大学院理学研究科の高橋弘充助教、宇宙科学センターの水野恒史准教授、東京大学大学院理学系研究科 釜江常好名誉教授、名古屋大学宇宙地球環境研究所 田島宏康教授、早稲田大学理工学術院先進理工学研究科 片岡淳教授ら、日本とスウェーデンの PoGO+（ポゴプラス）国際共同研究グループは、ブラックホール連星系である「はくちょう座 X-1」からの硬 X 線放射の偏光観測を実施しました。

この際、これまで技術的に観測が困難とされていた X 線やガンマ線の偏光観測を直径 100m にも膨らむ気球に搭載して実現し、硬 X 線の帯域において世界で初めて信頼性の高い偏光情報を得ることに成功しました。この結果、「はくちょう座 X-1」において、恒星からブラックホールに吸い込まれている物質は相対論的な効果を強く受けておらず、ブラックホールまで約 100 km の位置から内側では広がった幾何構造をしていることが明らかになりました。

従来の測定方法では、物質の幾何学的な構造がブラックホールの近傍では広がっているのか、コンパクトな状態で存在しているのかの判断が困難でしたが、今回の偏光観測という新しい手段によって、前者であることが強く支持されることとなります。

今後は、改良した気球実験や人工衛星の X 線偏光の観測結果、理論研究から、様々な質量のブラックホール（太陽質量の数倍から 100 億倍もの超巨大サイズ）において、ブラックホールに吸い込まれつつある物質が重力の影響をどのように受けている

が明らかにされ、中心に存在するブラックホール特性（自転速度）やブラックホールが及ぼす相対論的な効果（時空のゆがみ）などの理解が進むと期待されます。

本研究は、日本学術振興会・科学研究補助金科研費 JP23740193、JP25302003 などサポートを受けて行われ、また米国 SLAC 国立加速器研究所、東京工業大学、宇宙科学研究所（JAXA）からも多大な支援をいただきました。

本研究成果は、ロンドン時間の 2018 年 6 月 25 日（月）16 時（日本時間：2018 年 6 月 26 日 0 時）に英国科学誌「Nature Astronomy」（オンライン版）で公開されます。

本研究成果につきまして、下記のとおり、記者説明会を開催しご説明いたします。ご多忙とは存じますが、是非ご参加いただきたく、ご案内申し上げます。

日 時：平成 30 年 6 月 25 日（月） 10 時 00 分 ～ 11 時 00 分

場 所：広島大学 東広島キャンパス 法人本部棟 4 階 4 F 会議室

出席者：広島大学大学院理学研究科 助教 高橋 弘充

広島大学 宇宙科学センター 准教授 水野 恒史

広島大学大学院理学研究科 博士課程後期 1 年 内田 和海

【論文情報】

- 掲載雑誌：Nature Astronomy
- URL: <http://dx.doi.org/10.1038/s41550-018-0489-x>
- DOI 番号：10.1038/s41550-018-0489-x
- 論文題目：” Accretion geometry of the black-hole binary Cygnus X-1 from X-ray Polarimetry”
(X 線偏光によるブラックホール連星系「はくちょう座 X-1」の降着物質の幾何構造の解明)
- 著者：M. Chauvin, H.-G. Florén, M. Friis, M. Jackson, T. Kamae, J. Kataoka, T. Kawano, M. Kiss, V. Mikhalev, T. Mizuno, N. Ohashi, T. Stana, H. Tajima, H. Takahashi, N. Uchida, M. Pearce

【背景】

ブラックホールに降着し（降り積もり）吸い込まれる物質は、強い重力によって非常に高温に熱せられ（約 1000 万度）、X 線で明るく輝いています。そのため、X 線観測によって、ブラックホール近傍での降着物質の物理状態を明らかにすることができれば、中心に存在するブラックホール自身の物理量や、強い重力場における一般・特殊相対論的な効果も観測できると期待されています。しかし、これまでの時間変動（測光）やエネルギー（分光）の観測だけでは、降着物質がどのような状態にあるのか長年にわたって議論が平行線をたどっていました（遠方にあるため画像では「点」にしか見えず、構造は調べられていません）。

偏光観測は、画像、時間変動、エネルギーの測定とは異なり、高エネルギー粒子が放射する光子の偏光（電場の振動方向が偏っている）情報から、物質から直接届いたのか、どこかで反射・散乱されてきたのかという幾何構造を推定することができます。電波や可視光では一般的な手法ですが、X 線やガンマ線の帯域では技術的な困難から、これまでに偏光に特化した検出器で精度の高い偏光測定を実施できたのは、1970 年代の OSO-8 衛星だけでした。そのため最近になって、本格的な X 線・ガンマ線偏光検出器の開発が世界中で盛んに行われています。

【研究成果の内容】

今回の研究では、恒星からブラックホールに物質が降着しているブラックホール連

星系「はくちょう座 X-1」を偏光観測することで、ブラックホール近傍の強い重力場で高温に熱せられた物質（コロナ）からの放射が降着円盤でどのくらい反射・散乱されているかを調べ、コロナと降着円盤の幾何学的な構造を調べました。観測に用いたのは、日本とスウェーデンで共同開発した硬 X 線の偏光検出器 PoGO+で、硬 X 線によるブラックホール連星系からの偏光情報の測定は世界初の成果です。

大気球による成層圏からの観測

天体からの X 線やガンマ線は地球の大気で吸収されてしまうため、本研究では直径 100 m にも膨らむ大気球で、上空 40 km の成層圏まで総重量 2 トンもの大型検出器を持ち上げ、観測を実施しています。これまでの 3 回のフライトの中で、信頼性の高い科学的成果の得られた 3 回目では、2016 年 7 月 12 日から 18 日までの 1 週間で、打ち上げ場のスウェーデン・キルナ市にある Esrange 気球実験場から、カナダのピクトリア島までフライトし、研究対象である「はくちょう座 X-1」を毎日 6 時間ずつ計 34 時間にわたって観測することができました。

人工衛星として打ち上げることができれば、より長い観測時間を得ることができそうですが、より高い信頼性・確実性が求められるため、世界初を目指す偏光観測のような野心的な検出器を載せるのは難しく、また開発期間も長くなってしまいます。PoGO+は偏光観測に特化した気球実験として開発したことで、複数回のフライトを重ねることで検出器の性能を向上させ、最先端技術の利用しつつ、総重量 2 トンもの大型の検出器で観測することができました。この結果が、低コストでありながら、他の人工衛星のミッションに先駆けて信頼性の高い硬 X 線の偏光観測へと実を結びました。

観測結果の解釈

PoGO+の観測結果から、「はくちょう座 X-1」の硬 X 線偏光は微弱（8.6%以下）であることが分かりました。ブラックホールの降着物質（コロナと降着円盤）について長年議論されてきた 2 つの幾何構造モデルは、降着物質はブラックホール近傍では広がった構造をもち偏光度は数%と低い、もしくはごく近傍でもコンパクトな構造であり偏光度は 15%と高いかを予想していました。そのため、今回の PoGO+の測定によって、ブラックホールからの相対論的な効果を強く受けるコンパクトな幾何構造モデルは棄却され、偏光度が低い広がった構造モデルを支持することが明らかになりました。この結果は、従来の変動やエネルギーの測定では得られなかった偏光という独立な観測量が得られたことによる世界初の成果です。

【今後の展開】

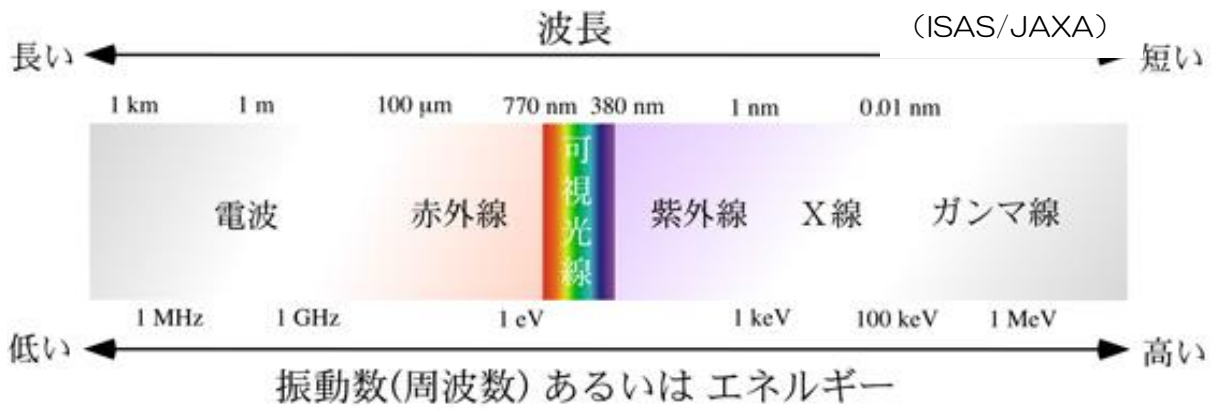
X 線やガンマ線の偏光データがほとんどなかったことから、偏光研究は手つかずの状況です。今回の研究で新しく硬 X 線の偏光情報が加わりました。今後、X 線偏光観測に特化した気球実験や人工衛星も打ち上げられる予定です。これら偏光情報から様々な質量のブラックホールについて、降着物質、ブラックホール自身や相対論的な効果の研究が急速に発展すると期待されます。

PoGO+チームでは、次はアメリカとの国際共同研究により南極から X-Calibur 気球実験を 2018 年 12 月に計画しています。将来は日本の硬 X 線望遠鏡を搭載することなどで、最終的に PoGO+よりも感度を 10 倍向上させ、他のブラックホールの偏光観測を目指しています。

【参考資料】

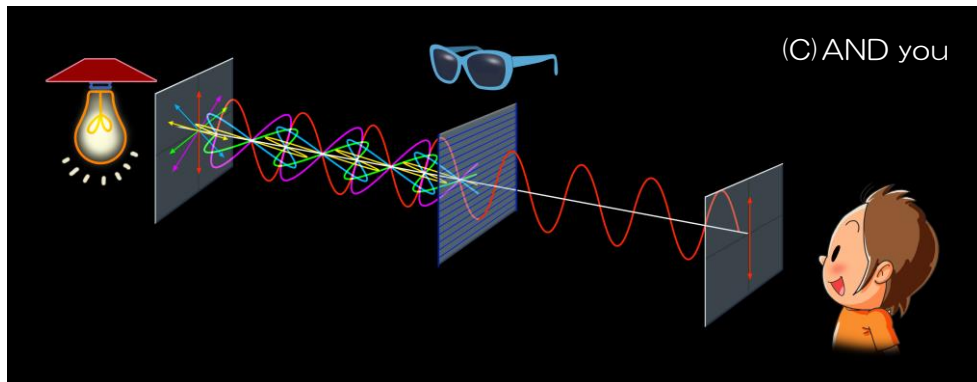
注 1) 硬 X 線：

X 線とガンマ線の間エネルギーをもつ電磁波



注2) 偏光：

通常の光は色んな方向に電場が振動しています。人工的にはサングラス、自然界では水面での反射などにより、ある特定の方向のみに振動している状況を偏光した光と呼びます。

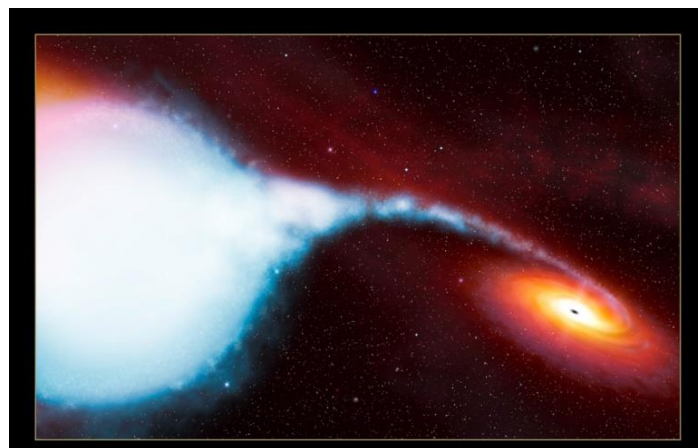


注3) ブラックホール連星系「はくちょう座 X-1」：

宇宙で一番初めにブラックホールの存在が提唱された天体で、地球から約 6000 光年の距離にあります。相手の恒星から、ブラックホール（太陽の約 15 倍の質量）へ物質が降着し（降り積もり）、その際に強い重力によって非常に高温に熱せられ、X線で明るく輝いています。ブラックホールに物質が吸い込まれる直前（ブラックホール周辺の 100 km のサイズ）は、画像では空間分解できません。PoGO+研究チームでは、反射や散乱によって生じる偏光情報から、この構造の推定に成功しました。

はくちょう座 X-1 における 100 km は、600 km 先（広島から名古屋まで）における 1 ナノメートル（原子 1 個）サイズに対応します。

「はくちょう座 X-1」の想像図（ESA より）

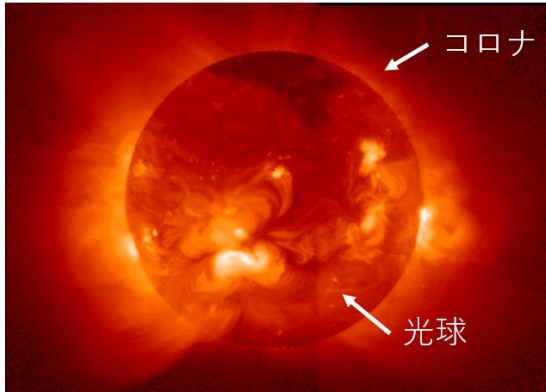


注4) ブラックホール近傍での降着物質の幾何構造（降着円盤とコロナ）：

太陽の光球とコロナのように、ブラックホールに降着する物質も降着円盤とコロナを

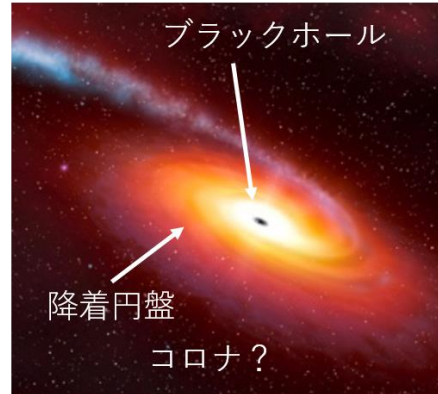
形成していると考えられています。しかし遠方にあるため太陽のように高解像度な画像は撮れず、時間変動（測光）、エネルギー（分光）、偏光観測から、これらの幾何学的な構造を推定する必要があります。世界初の硬X線偏光の観測から、ブラックホールの近傍 100 km あたりで、降着円盤とコロナの幾何学的な構造を明らかにできたことが本研究の成果です。

太陽（実観測）



(宇宙科学研究所より)

ブラックホール連星系（想像図）



注5) 30年来の論争であったブラックホール近傍での降着物質の幾何学的な構造（ハード状態において）:

注4) の想像図におけるブラックホールのごく近傍をポンチ絵にしたもの。

aとbどちらの図においても、中心の黒丸がブラックホール、水平な横線が降着円盤、ブラックホールの上やブラックホールを覆う赤い領域がコロナ、を示しています。矢印はコロナから放射された硬X線放射が検出されるまでの様子。赤：直接に観測者に届く。青：降着円盤で反射・散乱した後に観測される。

a) 広がった構造モデル

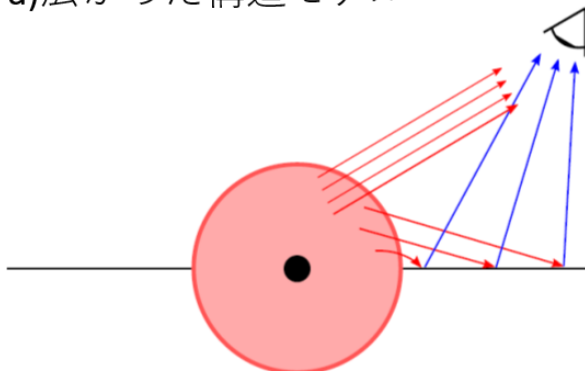
ブラックホール直近（約 50 km）だけでなく、より遠く（約 100 km）まで広がった領域からもコロナが硬X線を放射する。このため、相対論的な効果が弱い成分も含み、偏光度は低いままであることが予想される。

b) コンパクトな構造モデル

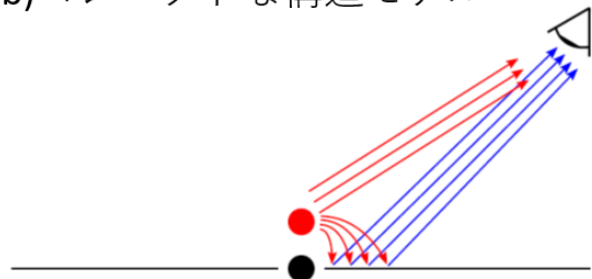
ブラックホール直近のみから硬X線が放射され、これらは相対論的な効果を強く受けているため、反射・散乱される放射の寄与が増し、結果として偏光度が高いことが予想される。

今回の PoGO+ の硬X線偏光観測では、偏光度が微弱であることが明らかになったため、ブラックホール連星系では「a) 広がった構造モデル」が強く支持されることとなります。

a) 広がった構造モデル



b) コンパクトな構造モデル



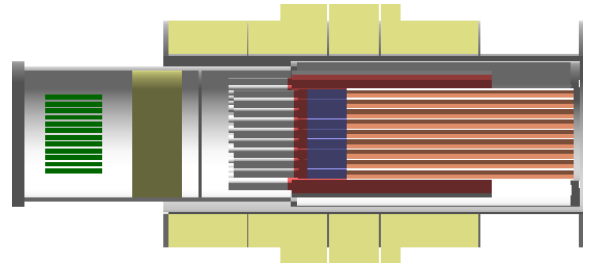
注6) PoGO+気球実験

直径 100mの大気球で北極圏の上空 40 kmから天体観測を実施しました。

ゴンドラの写真



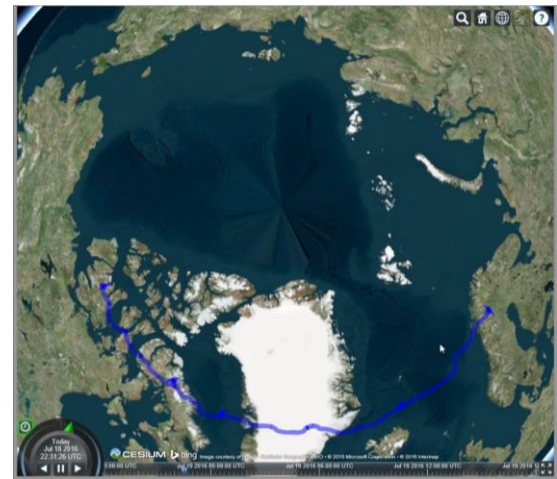
硬 X 線の偏光検出器 (長さ約 1m)



40 km 上空からのカメラ写真



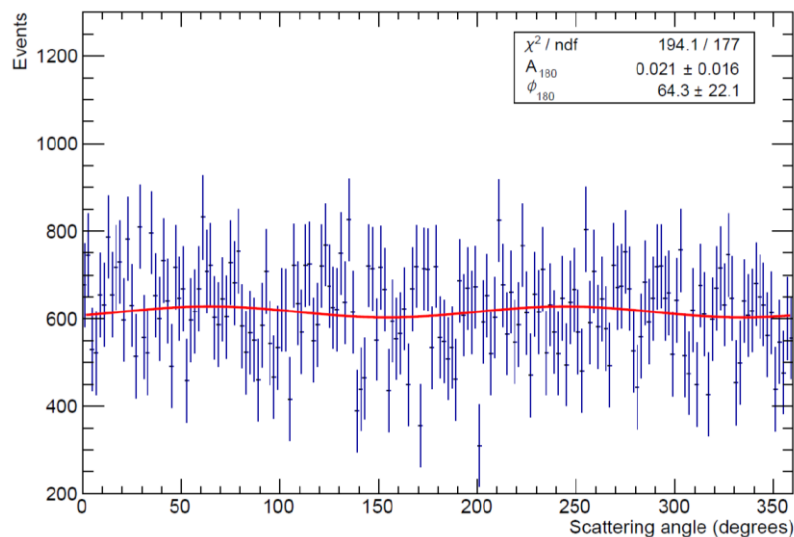
フライトの軌跡 (スウェーデン宇宙公社より)



注7) PoGO+による硬 X 線の偏光観測の結果

横軸：天体信号が観測された角度、縦軸：天体信号を検出した数。

どの角度でも信号がほぼ均一（赤線の振幅がほぼない）に検出されていることから、「はくちょう座 X-1」からの硬 X 線放射は偏光度が 8.6%以下と微弱であることが測定されました。



【内容に関するお問い合わせ先】

広島大学

大学院理学研究科 物理科学専攻 (助教) 高橋 弘充 (タカハシ ヒロミツ)
〒739-8526 広島県東広島市鏡山 1-3-1
Tel: 082-424-7379 (もしくは-7378、-7380) FAX: 082-424-0717
E-mail: hriotaka@astro.hiroshima-u.ac.jp

宇宙科学センター (准教授) 水野 恒史 (ミズノ ツネフミ)
〒739-8526 広島県東広島市鏡山 1-3-1
Tel: 082-424-7379 FAX: 082-424-0717
E-mail: mizuno@astro.hiroshima-u.ac.jp

東京大学

大学院理学系研究科 物理学専攻 (名誉教授) 釜江 常好 (カマエ ツネヨシ)
〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1
Tel: 03-5841-4213 FAX: 03-5841-8308
E-mail: kamae@slac.stanford.edu
E-mail: kono.kuniko@mail.u-tokyo.ac.jp

名古屋大学

宇宙地球環境研究所 (教授) 田島 宏康 (タジマ ヒロヤス)
〒464-8601 名古屋市千種区不老町
Tel: 052-789-4314 FAX: 052-789-4313
E-mail: tajima@isee.nagoya-u.ac.jp

早稲田大学

理工学術院先進理工学研究科・物理学及应用物理学専攻 (教授) 片岡 淳
(カタオカ ジュン)
〒169-8555 東京都新宿区大久保 3-4-1
Tel: 03-5286-3081 FAX: 03-5286-2948
E-mail: kataoka.jun@waseda.jp

【報道（記者説明会）に関するお問い合わせ先】

広島大学 財務・総務室広報部広報グループ

担当: 佐々木 和人 (ささき かずと)
〒739-8511 広島県東広島市鏡山 1-3-2
Tel: 082-424-3749 Fax: 082-424-6040
E-mail: koho@office.hiroshima-u.ac.jp

東京大学 大学院理学系研究科・理学部広報室

〒113-0033 東京都文京区本郷 7-3-1
Tel: 03-5841-0654 Fax: 03-5841-1035
E-mail: kouhou.s@gs.mail.u-tokyo.ac.jp

【FAX返信用紙】

Fax：082-424-6040

広島大学財務・総務室広報部広報グループ 行

記者説明会（6月25日 10時00分・東広島）のご案内

ブラックホールに吸い込まれる直前 100 km での物質の幾何構造が判明
～偏光 X 線を使った世界初の観測に成功～

記

日時：平成30年6月25日（月） 10時00分 ～ 11時00分

場所：広島大学 東広島キャンパス 法人本部棟4階 4F会議室

出席者：広島大学大学院理学研究科 助教 高橋 弘充

広島大学 宇宙科学センター 准教授 水野 恒史

広島大学大学院理学研究科 博士課程後期 1年 内田 和海

ご出席

ご欠席

貴社名 _____

部署名 _____

ご芳名 _____ (計 名)

電話番号 _____

※お手数ですが準備の都合上、出席予定の報道機関の方は上記にご記入頂き、
6月22日（金）17：00までにご連絡ください。

発信枚数：A4版8枚（本票含む）