

# 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

中性子星は、恒星が進化の末に起こす超新星爆発の後に残る天体であり、主に中性子から成る巨大原子核のような星である。中性子星は宇宙 X 線により詳細観測が可能で、宇宙における極限現象を研究する上でまたとない環境を提供してきた。中性子星は、自転に伴い電波や X 線を周期的に発するパルサーとして多数観測されている。X 線衛星を用いた研究は RXTE (米国、1995 年)、チャンドラ (米国、1999 年)、XMM ニュートン (欧州、1999 年)、すざく (日本、2005 年) などの打ち上げにより十年ほどの間に大きく進歩した。しかし中性子星の核物質が従う状態方程式(EOS)は未だ不明である。その内部の構造や核物質の性質ばかりか、中性子星の半径と質量の関係さえ決定されていない。

これまでの観測によって多数の中性子星の質量が精密に測定されているが、半径については、X 線の絶対光度と温度の測定や、X 線バーストの観測を用いて試みられているものの信頼性ある測定例はほとんどない。質量と半径を精度よく測定できれば、EOS に対してきわめて強い制限を与えられるが、そのような観測はきわめて難しい状況にある。中性子星表面からの放射は、理論的に予想される黒体放射スペクトルと異なり、質量・半径に制限をつけるためには広帯域観測により黒体放射によるものを抜き出す必要がある。また、放射スペクトル中の吸収線の重力赤方偏移は、その存在と重要性とが示唆されてから長年たつもの観測に適した検出器がなく未開拓のままである。

## 2. 研究の目的

中性子星の半径と質量の関係は EOS を定めれば一意的に決まるため、半径と質量の観測値から EOS に厳しい制限がつけられる。本研究では、X 線衛星を用いて、観測による距離によらない中性子星半径の精密決定を目指した研究を行う。X 線の黒体放射スペクトルの測定から半径を求める方法の精度を向上させる。中性子星表面で発生する X 線バーストの中の吸収線の重力赤方偏移の測定や、X 線強度の準周期的振動(QPO)の測定から、より信頼性の高い半径の導出を行う。そのため、運用中の X 線衛星に加え、2014 年に打ち上げ予定の X 線天文衛星 ASTRO-H を用いて、X 線バースト中の高いフラックスの下での観測を実現することで、中性子星の観測的研究を行う。さらに、中性子星の EOS に制限を加えるための偏光観測や、大面積のスペクトル・タイミング観測など、新しいミッションの検討や、そのための新型 X 線・ $\gamma$ 線検出器の開発を行う。

## 3. 研究の方法

ASTRO-H 衛星には、5 eV から 7 eV (FWHM)という非常に高いエネルギー分解能を持つ軟 X 線分光装置(マイクロカロリメータ)が搭載される。また、硬 X 線望遠鏡/撮像システムを加えた広帯域観測により、X 線の黒体放射スペクトルの測定から半径を求める方法の精度の格段の向上がみこまれる。本研究では、これらの装置を中性子星観測、特に、X 線バースト中の高いフラックスの下でも最大限その性能を発揮できるように各観測装置に改良を施し、十分なキャリブレーションを実施する。また、性能評価やキャリブレーションのための地上試験モデルの製作を行う。特に、マイクロカロリメータが高フラックス下でも動作するように、読み出し回路を中心に耐高計数率化の実現が必要であり、それを実施する。

「すざく」等の既存の衛星を用いた観測を進め、その観測結果をもとに、適切な天体を事前を選定する。並行して、理論予測に基づき、観測天体選定や解析に必要なソフトウェアを整備する。さらに打ち上げ前の試験やキャリブレーションを実施する。打ち上げ後は、衛星の性能を最大限に発揮させ、本研究に資するように望遠鏡の較正を行う。あわせて、これらの衛星の成果を生かし、将来ミッションに搭載する事をめざした次世代型検出器開発を行なう。特に上述の(3)に対しては、X 線領域において大面積の望遠鏡あるいは検出器を有するミッションが最終的には必要となる。本研究では、国内外の新しいミッション提案に積極的に参加し、その実現をはかる。

上述の(1)-(3)の観測と相補的なものに、X 線偏光観測がある。本研究では、NASA の X 線偏光観測専用衛星 GEMS を用いた中性子星の観測をめざす。提案時は 2014 年打ち上げの予定であったが、NASA のその後の予定変更があり、製造フェーズに進んでいない。本研究を通じて、NASA への再提案の作業を行う。そのため、本研究において、国内外の X 線天文学、あるいは原子核の研究者との議論や共同研究を積極的に行う。

科学衛星を用いて中性子星課題にとりくむためには、搭載検出器や X 線望遠鏡の解析ソフトウェア、検出器の応答関数を構築するためのシミュレーションソフトウェアの他、中性子星における極限環境の物理現象のモデル化が必要である。本研究では、高温プラズマからの様々な輝線の定量的評価を行うためのアトミックコードの他、磁場やアウトフロー、降着円盤からの放射、さらに、X 線偏光などを取りこんだシミュ

レーションコードの整備を行い、それを用いた天体解析を実施する。

#### 4. 研究成果

ASTRO-H (ひとみ) 衛星を用いて中性子星の半径に制限を加えるために、観測装置の試験・改良を行った。打ち上げ後、マイクロカロリメータでは、有効面積、エネルギー分解能の両面でそれぞれ従来の10倍以上の改善が実現されるなど、目的の性能が達成された。処理機器の高速化によって、中性子星観測のように高いカウントレートでも性能を発揮できる回路を実現した。X線バーストを検出し、その減光時スペクトルに特徴的構造を検出し、中性子星表面の重力赤方偏移を推定する新手法を提示するなど、X線・ガンマ線衛星を用いた中性子星の研究成果を得た。新しい半導体センサーや偏光観測装置など、将来に向けた検出器技術を進展させた。ASTRO-Hは運用を短期間で停止する状況になったが、今後の観測で半径が精密に測定され、EOSが直接検証できる見通しを得た。

##### (1) ASTRO-H 衛星による中性子星観測に向けた研究

ASTRO-Hを用いて中性子星を観測し、中性子星の半径に制限を加えるために、軟X線分光装置(マイクロカロリメータ)の波形処理機器の高速化などの機器の試験・改良、地上試験装置の整備などを行い、また観測すべき候補天体をシミュレーションと既存衛星データの再解析によって検討した。

デジタル波形処理機器は、ASTRO-H衛星搭載の精密軟X線分光装置において、衛星上で入射光子のエネルギーを精密測定する装置の心臓部の一つであり、その高速化が本研究の鍵をにぎる。耐高計数率化を可能とする回路方式の検討を行った。従来のソフトウェア制御による収集方式に代替可能なハードウェアとして、SpaceWireインターフェースによるデータ収集の高速化を行った。従来の回路構成では、CPUの負荷が高く、大量のデータ送信においてDMA転送が効率的ではなかった。SpaceWireのルーティングの最適化と同時にRMAPと呼ばれるアクセスでブロック転送を行うなどの工夫を回路として実装し、効率的な大量のデータ送信を可能とした。

0.5 keV から 12 keV のエネルギー範囲で観測を行う ASTRO-H 衛星搭載 X 線 CCD カメラの較正実験を行った。特に軟 X 線帯での性能に着目し、通常の観測モードのみならず、明るい天体用の特殊観測モードでも較正用のデータを取得した。

ASTRO-H 衛星では、5 keV から 80 keV の範囲では硬 X 線望遠鏡の焦点面検出器とし

て Si と CdTe のイメージング素子を複数層に重ねたハイブリッド型検出器(硬 X 線イメージング検出器)を用いる。本研究では、明るい天体を考慮し、読み出し用の多チャンネル低雑音 ASIC の動作条件の最適化を行った。検出器の応答が複雑であるため、X線 CCD と組み合わせて広い範囲で正確なスペクトルを保証するためには、打ち上げ前に素子毎のキャリブレーションを行い、応答関数を構築することが必要である。そのために、本研究において、地上試験用の装置の組み上げを行い、それを完成させた。軟ガンマ線検出器の地上試験装置を用い、偏光観測に対する性能評価のため、SPRing-8 で実験を行った。

検出器の有効面積や、エネルギーの応答関数、さらに望遠鏡の有効面積や Point Spread Functionなどを考慮して、初期観測に適切なターゲットを探した。中性子星の回転が早いと、吸収線の幅が広がってしまう。また、X線バーストが適切なタイミング、適切な頻度で発生するという条件も重要である。これらの検討の結果2つの中性子星(Terzan 5 X2 と Ser X-1)を選択した。

中性子星の解析では、放射領域の非対称な形状や光子の複数回反応を考慮したより精密な X 線放射のモデルが必要である。そのため、本研究では、高温プラズマからの様々な輝線の定量的評価のためのアトミックコードの他、磁場やアウトフロー、降着円盤からの放射、X線偏光などの物理素過程とともに、解析的に取り扱うことが難しいようなジオメトリを入力として与えることのできる新しいシミュレーションコードの開発をおこなった(MONACO)。

##### (2) ASTRO-H 衛星打ち上げとその後の成果

ASTRO-H (ひとみ) は短期間で運用停止となり、実際の中性子星の観測はできなかった。一方で、ASTRO-H 打ち上げ後、検出器の性能をペルセウス銀河団や Crab の観測で実証した。マイクロカロリメータは「すざく」の CCD を約 30 倍上回る分解能(4.9 eV FWHM) を軌道上で達成した。

従来の方法であれば、低質量 X 線連星の観測に適した 2 keV 以上において、吸収線の検出は極めて困難であった。カロリメータが実現したことで、有効面積、エネルギー分解能の両面でそれぞれ 10 倍以上の改善が実現し、1%の統計精度で重力赤方偏移が求まることとなった。質量の誤差をないものとする半径は 0.3km の精度で決まる。もし別の方法で、0.1 太陽質量程度に質量が決定できれば 0.7km 程度で半径が決定できることになる。本研究によって、カロリメータが中性子星観測のように高いカウン

トレートでも性能を発揮できる回路が実現され、宇宙実証を行うことができた。

### (3)すざく衛星のデータ等を用いた中性子星の研究

GRS1747-312 と呼ばれる低質量X線連星から「すざく」衛星でX線バーストを検出し、その減光時スペクトルに特徴的構造を検出し、中性子星表面の重力赤方偏移を推定する新手法を提示した。X線バーストのエネルギースペクトルは、通常黒体放射で良く表せるものの、GRS1747-312のX線バーストでは、減光時のエネルギースペクトルに鈍った吸収端状の構造が検出された。X線バーストでこのような構造が見られたことはこれまでなく、様々な可能性を比較検討した結果、降着円盤による反射構造、降着円盤外縁による部分吸収、中性子星のスピんで鈍った吸収端の3つの可能性があることがわかった。このうち、データを最も良く再現できるのが中性子星のスピんで鈍った吸収端であり、この解釈が正しければ、吸収端はバーストの生成物である鉄と亜鉛によるもので、重力赤方偏移は $1.56 \pm 0.03$ と推定される。この重力赤方偏移は比較的大きく、GRS1747-312も太陽の2倍程度の質量を持つ中性子星である可能性が考えられる。

中性子星大気モデルを整備し、ASTRO-H衛星の観測候補天体であったSerX-1のChandra衛星による長期観測のデータの解析を行い、精密なスペクトル解析を実施し、はじめて吸収線の上限値を求めた。現在の中性子星大気モデルから予想される強度の吸収線は観測されず、中性子星表面の温度や熱伝導度に制限をつけることができた。強磁場を持つ降着中性子星からのX線放射は理解が進んでおらず、激しい時間変動の原因も未解明である。この放射の物理モデルを構築するために、降着プラズマからの逆コンプトン散乱をモンテカルロ法により計算するコードMONACOを開発した。計算と観測との比較により、降着柱の物理状態を議論し、スペクトルの形成には熱電子による散乱が重要な役割をになうこと、質量降着率と降着プラズマの光学的厚さに自然な正の相関があることを明らかにした。

「すざく」アーカイブデータを用いて、降着駆動型中性子星連星ヘラクレス座 X-1の0.4-100 keV 広帯域スペクトル解析をおこない、6.5 keV 付近に中心を持ち、5-9 keVに広がるハンプ状の構造を発見した。その起源について考察し、中性子星表面に落ち込む鉄の輝線がドップラー偏移で広がったものか、降着円盤上のブロッブ状の物質で鉄の輝線がコンプトン散乱されたもので説

明できることがわかった。もし前者であれば、中性子星表面に近いところを探る新たな手段を手に入れたことになる。

宇宙ステーション搭載のX線全天モニターMAXIで捉えた、低質量X線連星系におけるX線バーストを系統的に解析し、その特徴などをまとめた。

フェルミ衛星によるガンマ線観測のデータを詳細に解析し、その結果、N157Bのガンマ線スペクトルは他のパルサー星雲とは異なる成分を持つことを発見し、それがパルサー風の熱的成分による逆コンプトン散乱であるという可能性を指摘した。さらに、中性子星の慣性モーメントを制限する新しい手法を示した。また、フェルミ・コラボレーションでの共同研究により銀河系外パルサーからのガンマ線を初めて検出し、サイエンス誌に発表した。その追加観測ガンマ線解析を行った。

### (4) 将来の衛星搭載のための開発研究

中性子星からのX線偏光は、その磁場構造と強くカップルしており、回転位相毎の偏光の変化を見ることで、磁軸、回転軸と視線方向の配位に制限を与えることができ、中性子星核物質のEOSを観測する上で相補的な情報を提供してくれる。我々はNASAのX線偏光観測衛星に搭載するために、マイクロパターンガス検出器を応用した偏光計の製作を行った。その高度化として、コアデバイスであるガス電子増幅フォイルの絶縁体材質を、世界で初めてテフロンに替えることに成功した。実際に放電の加速実験をおこなったところ、どのような過酷な条件でも、ガス電子増幅フォイルを壊すことができなかった。今後、様々な分野での応用が見込める。米国NASAと共同申請していたX線偏光観測衛星PRAXySが、概念設計フェーズに選定された。残念ながら、最終選考には進むことができなかったが、次世代の中性子星観測装置として、X線偏光計開発を主導し、系統誤差などの特性調査を米国と共同で実施した。

将来の観測に向けて、NICERやLOFT衛星計画などの国際衛星計画提案に参加した。これらの計画では、中性子星からのX線放射を回転位相毎に分け、その光度曲線から重力赤方偏移の影響を求め、ドップラーシフトから半径を推定することができるので、この二つの情報から、中性子星の質量と半径の関係を精度よく決めることができる。本研究を通じて、Science Working Groupへの参加、理研が運用するMAXIとの協力など、具体的な協力を進めた。大面積X線検出器衛星LOFTのメンバーとしてコリメータ部の検討をおこない、日本のマイクロチ

チャンネルプレートによる微細コリメータを提案し、ベースラインとして採用された。現在、計画は、ヨーロッパ、中国などの国際協力としての実現が検討されている。

将来ミッションへの搭載を目的として両面のCdTeストリップ検出器の改良やビーム試験、ADC内蔵のピクセル検出器用低雑音多チャンネルASICの開発を行なった。ASTRO-Hに搭載された硬X線検出器と同程度のエネルギー分解能を持ちと電子飛跡追跡を可能とするSi-CMOSハイブリッド素子の開発を行い、特許を出願した。電子飛跡追跡型のSi/CdTeコンプトンガンマ線カメラが実現し、将来の高感度での電子陽電子消滅線観測への適用が期待される。

両面CdTeストリップ検出器にコンパクトな読み出し回路、冷却装置を作りこんだ可搬型のシステムを開発し、JPARCなどの加速器を用い、高計数率化でのイメージング性能の試験を行い、性能を確認した。本研究でのCdTeセンサーの成果を生かし、ロケット実験FOXSI-3(米国との共同実験)を実施中である。また、硬X線観測を中心とした将来の小型衛星計画、FORCEやPHOENIXの立案に参加している。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 49 件)

1. M. Iwai, T. Dotani, M. Ozaki, Y. Maeda, H. Mori, S. Saji, “A Broad Spectral Feature Detected during the Cooling Phase of a Type I X-Ray Burst from GRS1747-312 with Suzaku”, PASJ, (2017) in press.
2. Hitomi Collaboration, F. Aharonian et al. (Including T. Dotani, T. Takahashi, T. Tamagawa, M. Tsujimoto, Y. Uchiyama), “Hitomi Constraints on the 3.5 keV Line in the Perseus Galaxy Cluster”, *Astrophys. J.* **837**, L15 (2017) (10.3847/2041-8213/aa61fa)
3. W. Iwakiri, T. Tamagawa et al., “Performance of the PRAXyS X-ray polarimeter”, *Nucl. Instr. Meth. A* **838**, 89-95 (2016) (10.1016/j.nima.2016.09.024)
4. K. Hagino, H. Odaka, C. Done, R. Tomaru, S. Watanabe, T. Takahashi, “A disk wind interpretation of the strong Fe K $\alpha$  features in 1H 0707-495”, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **461**, 3954-3963 (2016)(10.1093/mnras/stw1579)
5. Hitomi Collaboration, F. Aharonian et al. (Including T. Dotani, T. Takahashi, T. Tamagawa, M. Tsujimoto, Y. Uchiyama), “The quiescent intracluster medium in the core of the Perseus cluster”, *Nature*, **535**, 117-121(2016) (10.1038/nature18627)
6. T. Takahashi, T. Dotani, T. Tamagawa, M. Tsujimoto, Y. Uchiyama et al., “The ASTRO-H (Hitomi) X-ray astronomy satellite”, *Proc. of SPIE*, 9905, 27 (2016) (10.1117/12.2232379)
7. G. Sato, T. Takahashi et al., “The Si/CdTe semiconductor camera of the ASTRO-H Hard X-ray Imager (HXI)”, *Nucl. Instr. Meth. A* **831**, 235-241 (2016) (10.1016/j.nima.2016.03.038)
8. H. Odaka, T. Takahashi et al., “Sensitivity of the Fe K $\alpha$  Compton shoulder to the geometry and variability of the X-ray illumination of cosmic objects”, *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* **462**, 2366-2381 (2016) (10.1093/mnras/stw1764)
9. Y. Ichinohe, T. Takahashi et al., “The first demonstration of the concept of Narrow-FOV Si/CdTe semiconductor Compton camera”, *Nucl. Instr. Meth. A* **806**, 5-13 (2016) (10.1016/j.nima.2015.09.081)
10. M. Mizumoto, K. Ebisawa, M. Tsujimoto, H. Inoue “Origin of the X-ray broad iron spectral feature in GRS-1915+105”, *PASJ* (2016) 1-14 (10.1093/pasj/psv125)
11. M. Serino, W. Iwakiri, T. Tamagawa, T. Sakamoto, S. Nakahira, M. Matsuoka, K. Yamaoka, H. Negoro, “MAXI observations of long X-ray bursts”, *PASJ*, **68**, 95-115 (2016) (10.1093/pasj/psw086)
12. M. Ackermann et al. (Including T. Takahashi, Y. Uchiyama), “An Extremely Bright Gamma-ray Pulsar in the Large Magellanic Cloud”, *Science*, **350**, 801-805 (2015) (10.1126/science.aac7400)
13. S. Watanabe, T. Takahashi et al., “The Si/CdTe semiconductor Compton camera of the ASTRO-H Soft Gamma-ray Detector (SGD)”, *Nucl. Instr. Meth. A* **765** 192-201 (2014) (10.1016/j.nima.2014.05.127)
14. M. Wakabayashi, K. Komiya, T. Tamagawa, Y. Takeuchi, K. Aoki, A. Taketani, H. Hamagaki, “Development of a Diehard GEM using PTFE insulator substrate”, *Journal of Instrumentation* **9**, C03043 (2014) (10.1088/1748-0221/9/03/C03043)
15. Y. Takeuchi et al. (Including T. Tamagawa), “Property of LCP-GEM in Pure Dimethyl Ether at Low Pressure”,

- Journal of Instrumentation, 9, C01002 (2014) (10.1088/1748-0221/9/01/C01002)
16. F. Asami, T. Enoto, W. Iwakiri, S. Yamada, T. Tamagawa, T. Mihara, F. Nagase, “Broad-band spectroscopy of Hercules X-1 with Suzaku”, PASJ, 66, 44 (2014) (10.1093/pasj/psu005)
  17. D. Takei, M. Tsujimoto, J.J. Drake, S. Kitamoto, “X-ray Development of the Classical Nova V2672 Ophiuchi with Suzaku”, PASJ, 66, 37 (2013) (10.1093/pasj/psu019)
  18. Q. Wada, M. Tsujimoto, K. Ebisawa, E.D. Miller, “Detection of a 522s Pulsation from the Transient X-ray Source Suzaku J0102.8-7204 (SXP 522) in the Small Magellanic Cloud, PASJ, 65, L2-5 (2013) (10.1093/pasj/65.2.L2)
  19. K. Morihana, M. Tsujimoto, K. Ebisawa, T. Yoshida, “X-ray Point Source Populations Constituting the Galactic Ridge X-ray Emission”, ApJ, 766 (2013) (10.1093/pasj/65.5.L10)
  20. H. Odaka, D. Khangulyan, Y.T. Tanaka, S. Watanabe, T. Takahashi, “Short term variability of X-rays from accreting neutron star Vela X-1: Monte Carlo modeling”, Astrophys. J. 780, 38 (2013) (10.1088/0004-637X/780/1/38)
  21. S. Yamada et al. (Including T. Dotani, M. Tsujimoto), “Data Oriented Diagnostics of Pileup Effects on the Suzaku XIS”, PASJ, 64 (2013) 53-64 (10.1093/pasj/64.3.53)
  22. T. Iwahashi, T. Enoto, S. Yamada, H. Nishioka, K. Nakazawa, T. Tamagawa, K. Makishima, “Suzaku Follow-Up Observation of the Activated Magnetar 1E 1547.0-5408”, Publications of the Astronomical Society of Japan 65, 12 (2013)(10.1093/pasj/65.3.52)
  23. H. Seto, M. Tsujimoto et al. “Development of the onboard digital processing system for the soft x-ray spectrometer of ASTRO-H: performance in the engineering model tests”, Proc. of the SPIE, 8443, 84435D (2012) (10.1117/12.924638)
  24. M. Feroci et al. (including T. Takahashi), LOFT : the Large Observatory for X-ray Timing, Proc. of the SPIE, 8443, 84432D (2012) (10.1117/12.926310)
  25. K. Hagino et al. (Including T. Takahashi), “Imaging and Spectral Performance of CdTe double-sided strip detectors for the hard X-ray Imager onboard ASTRO-H” Proc. of the SPIE, 8443 (2012) (10.1117/12.926052)

[学会発表] (計 54 件)

1. T. Takahashi, “The ASTRO-H X-ray Observatory toward the next 50 years of X-ray Astronomy”, The 1st COSPAR Symposium (招待講演), 2013,11/11-15, Bangkok, Thailand
2. T. Dotani, “What ASTROSAT and ASTRO-H together can do to understand accreting neutron stars and blackholes?”, 39<sup>th</sup> COSPAR Scientific Assembly (招待講演) (2012 July) Mysore India
3. M. Tsujimoto, “Status and Prospects of the X-ray astronomy satellite ASTRO-H”, Marcel Grossman Meeting 13 (招待講演), (2012 July) Stockholm, Sweden

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称：放射線測定装置及び放射線測定方法  
 発明者：松浦大介, 高橋忠幸 他 (全9名)  
 権利者：三菱重工株式会社, 宇宙航空研究開発機構, 浜松ホトニクス株式会社  
 種類：特許  
 番号：特願 2015-147025  
 出願年月日：2015年07月24日  
 国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 忠幸 (TAKAHASHI Tadayuki,)

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・教授

(研究者番号: 50183851)

(2) 研究分担者

堂谷 忠靖 (DOTANI Tadayasu)

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・教授

(研究者番号: 30211410)

辻本 匡弘 (TSUJIMOTO Masahiro)

国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・助教

(研究者番号: 10528178)

玉川 徹 (TAMAGAWA Toru)

国立研究開発法人理化学研究所・玉川高エネルギー宇宙物理研究室・准主任研究員

(研究者番号: 20333312)

内山 泰伸 (UCHIYAMA Yasunobu)

立教大学・理学部・教授

(研究者番号: 00435801)

(平成 27 年度より研究分担者)

(3) 研究協力者

Chris Done

Dmitry Khangulyan

小高 裕和 (Hirokazu Odaka)

佐藤 悟朗 (Goro Sato)

榎戸 輝揚 (Teruaki Enoto)

斎藤 新也 (Shinya Saito)

萩野 浩一 (Koichi Hagino) 他