

報道解禁時間 (テレビ、ラジオ、Web) : 平成 29 年 10 月 16 日 (月) 23 時
報道解禁時間 (新聞) : 平成 29 年 10 月 17 日 (火) 付け朝刊

2017年10月13日

報道関係者各位

甲南大学

重力波天体が放つ光を初観測

～日本の望遠鏡群が捉えた重元素の誕生の現場～

<本研究成果のポイント>

- ・ アインシュタインが 1916 年に予言した重力波は Advanced LIGO によって 2015 年に初めて直接観測された。しかし、重力波観測だけでは重力波を放った天体が宇宙のどこにいるのかを正確に特定することができない、という問題があった。
- ・ 今回、2017 年 8 月 17 日に発見された重力波源 GW170817 について、すばる望遠鏡などを用いた光赤外線追跡観測を行い、重力波源の光赤外線対応天体を初めて捉え、その明るさの時間変化を追跡することに成功した。
- ・ この観測結果は、金やプラチナ、レアメタルなどを合成する過程の一つである「r プロセス」を伴うキロノバ放射の理論予測とよく一致しており、宇宙における r プロセス元素合成現場を捉えたことを強く示唆するものである。

甲南大学工学部の富永望教授が参加する日本の重力波追跡観測チーム J-GEM は、重力波源 GW170817 の光赤外線追跡観測を行い、重力波源の光赤外線対応天体を捉え、その明るさの時間変化を追跡することに成功しました。今回の観測結果は、重力波源において金やプラチナなどの元素が合成されていることを示しており、宇宙におけるこれらの元素の合成現場を捉えたことを強く示唆するものです。これは、重力波と光赤外線の観測が協調した「マルチメッセンジャー天文学」およびシミュレーションによって実現した重要な研究成果です。この研究成果は、10 月 16 日に「Publications of the Astronomical Society of Japan」に掲載されました。

【研究の背景】

重力波は、今から約 100 年前にアインシュタインが自らの打ち立てた一般相対性理論に基づいてその存在を予言した、重力による空間の歪みが光速で伝わる現象です。以来、人類は長らくこの現象の直接観測を目指してきました。そして 2015 年 9 月 14 日、アメリカの重力波望遠鏡 Advanced LIGO が、遂に人類初の重力波直接検出に成功しました。2017 年ノーベル物理学賞はこれらの功績に贈られました。これは、まさに「重力波天文学」が誕生した瞬間でした。

しかしながら「重力波天文学」には課題が残されていました。それは、重力波望遠鏡だけでは重力波を放った天体が宇宙のどこにいるのかを正確に特定することができない、という点です。そのため、重力波源を電磁波で特定し、どの場所で発生したのかを明らかにすることが求められていました。そこで期待されていたのが、中性子星（注1）の合体による重力波の検出です。中性子星同士が合体すると強い重力波が放射されるとともに、中性子星の一部が高速で宇宙空間に放出されると考えられています。この高速の放出物中では速い中性子捕獲反応「rプロセス」（注2）が起き、金やプラチナなどの元素が合成されることが予想されていました。

「rプロセス」で作られた元素は放射性崩壊を起こすため、そのエネルギーによって光赤外線を中心とした電磁波が放射され、「キロノバ (kilonova)」と呼ばれる現象として観測されると考えられていました。つまり、中性子星合体からの重力波を検出し、それを電磁波で観測することができれば、重力波源の居場所を特定できるだけでなく、rプロセスの現場を捉え、金やプラチナなどの元素の起源を解明できるかもしれないのです。

【研究の内容・成果】

2017年8月17日、Advanced LIGOとヨーロッパの重力波望遠鏡 Advanced Virgo の両望遠鏡が遂に中性子星同士の合体による重力波を観測することに成功しました。この情報は即時に世界中の電磁波観測グループに伝えられ、各地で即時追跡観測が開始されました。その結果、重力波検出からおよそ11時間後に、複数の望遠鏡がこの重力波に対応すると思われる天体 SSS17a (別名 DLT17ck) を独立に発見しました。

富永教授が参加する日本の重力波追跡観測チーム J-GEM (Japanese collaboration of Gravitational wave Electro-Magnetic follow-up) は、重力波検出から約17時間後にすばる望遠鏡の超広視野主焦点カメラ HSC (Hyper Suprime-Cam) で重力波到来方向の半分以上の領域をカバーする広域追跡観測を行ったのを皮切りに、名古屋大学と大阪大学がニュージーランドで運用する口径1.8メートル望遠鏡 MOA-II 及びカンタベリー大学が運用する B&C 望遠鏡、名古屋大学と鹿児島大学が運用する南アフリカの1.4メートル望遠鏡 IRSF、国内の望遠鏡群を駆使して光赤外追跡観測を実施しました。

J-GEMによる観測では、すでに報告のあった光赤外対応候補天体 SSS17a を可視光から近赤外線にかけての広い波長域で明瞭に捉え(図1)、明るさの時間変化を追跡することに成功しました(図2)。また、富永教授はすばる望遠鏡 HSC で取得した広域追跡観測のデータを甲南大学の計算機にダウンロードし即時解析を行い、重力波到来方向の中に SSS17a の他に重力波に対応する可能性が高い天体は存在しないことを明らかにしました。富永教授は「いつか見つかるだろうと思ってはいましたが、これほどすぐ見つかるとは期待していませんでした。しかも、最初にこれだけ明るい天体ははっきりと発見されるというのは想定外です。」と当時の興奮を語ります。

これらの観測データを国立天文台のスーパーコンピュータ「アテルイ」を使ったキロノバの理論計算と比較したところ、重力波源 GW170817 では、金やプラチナなどのrプロセス元素を含む物質が地球質量の約10,000倍程度放出されていることが示唆されました。また、放出物質中の中性子の割合に幅広い分布があると理論計算と観測がよく一致し(図3)、多くの種類のrプロセス元素が合成されていたことが分かりました。

富永教授は「いよいよ、重力波天文学および重力波・光赤外線の観測によるマルチメッセンジャー天文学が現実となりました。今後重力波検出器はより感度の向上が期待されています。これから、多数の中性子星合体が重力波によって発見されるはずで、我々も電磁波による追観測を継続し、中性子星の物理状態やrプロセス元素の起源を明らかにしたいと考えています。」と期待を語っています。

注 1) 中性子星：太陽ほどの質量を持ちながら、半径が 10 キロメートル程度の高密度天体。その密度は 1 立方センチメートルあたり 10 億トンにもなります。

注 2) 中性子捕獲反応：鉄などの原子核に中性子が捕獲されて鉄よりも重い原子核が形成される反応を中性子捕獲反応と呼びます。中性子捕獲反応はその反応の速さによって二種類に分けられ、ゆっくり進む反応が「s プロセス」、素早く進む反応が「r プロセス」と呼ばれています。s プロセスは主に年老いた恒星の内部で起こるといことが分かっており、バリウムや鉛などの元素を効率よく合成します。一方で、r プロセスは金やプラチナなどの元素を合成しますが、宇宙のどこで起こっているのか分かっていませんでした。

2017.08.18-19

2017.08.24-25

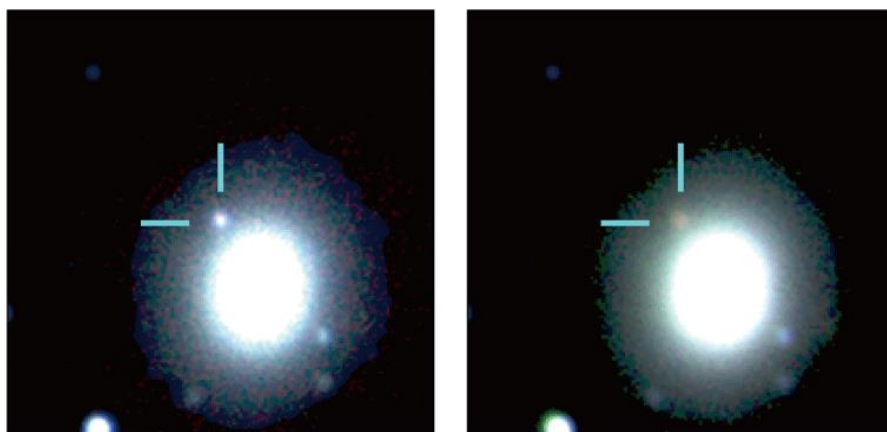


図1 日本の重力波追跡観測チーム J-GEM が撮影した重力波源 GW170817。ハワイのすばる望遠鏡 Hyper Suprime-Cam による可視光観測（z バンド：波長 0.9 ミクロン）と、名古屋大学が運用する南アフリカの IRSF 望遠鏡 SIRIUS による近赤外観測（H バンド：波長 1.6 ミクロン, Ks バンド：波長 2.2 ミクロン）を3色合成したもの（青：z バンド, 緑：H バンド, 赤：Ks バンド）。2017年8月24-25日の観測では天体が減光するとともに赤い色を示していることがわかる。

クレジット：国立天文台/名古屋大学

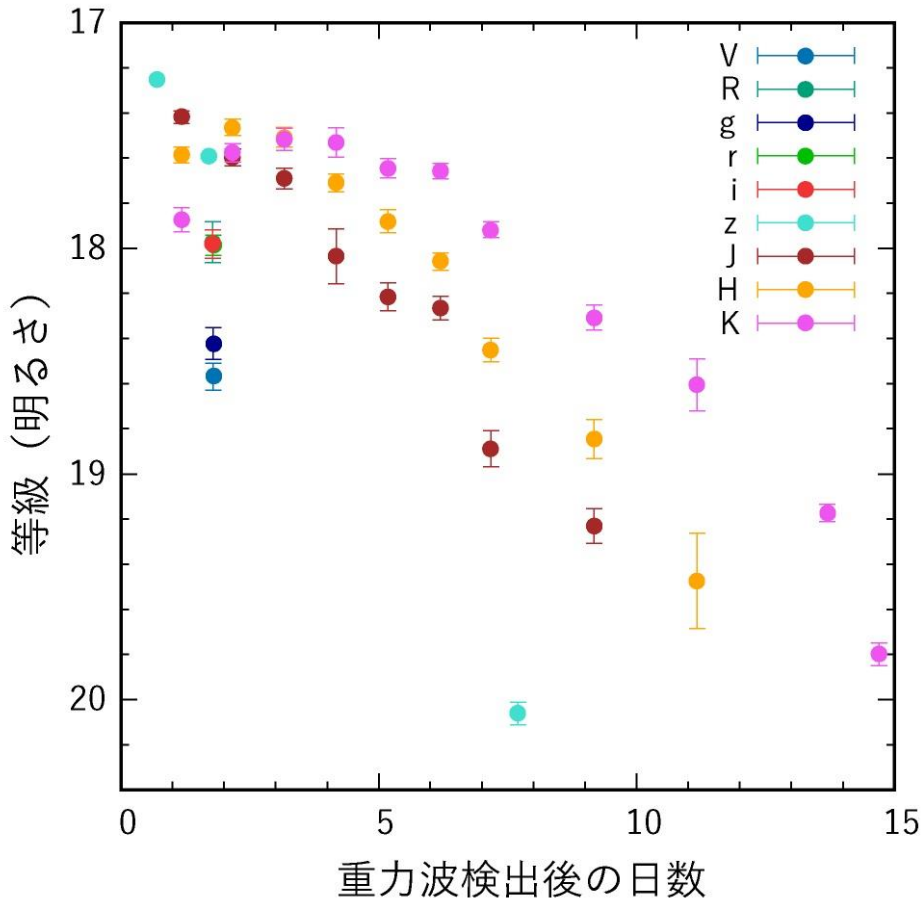


図2 J-GEMの観測によって得られた、GW170817の光度曲線。VRgrizが可視光、JHKが近赤外線の観測。可視光では早く減光するが、近赤外線ではゆっくりと減光している様子がわかる。
クレジット：国立天文台

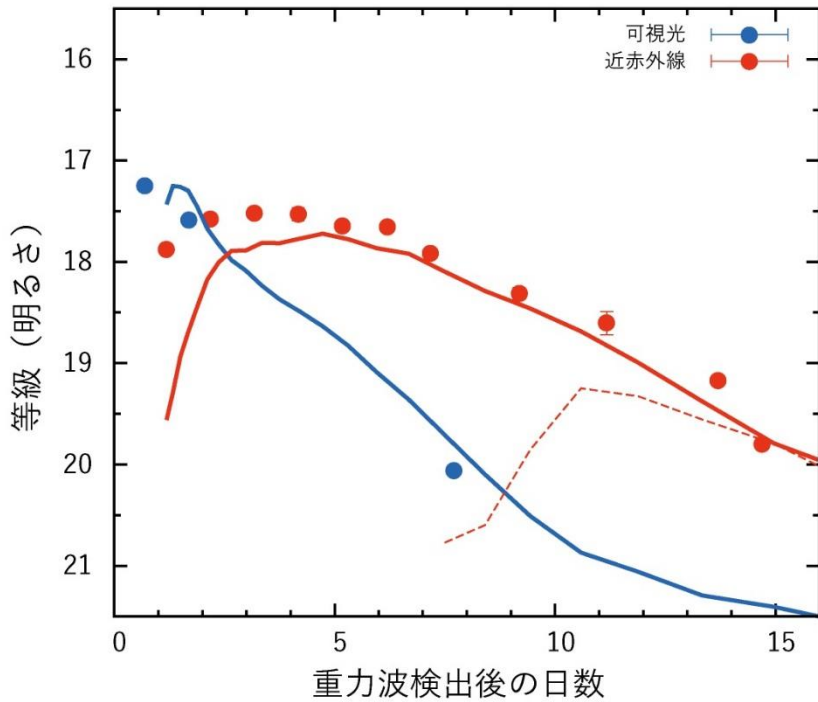


図3 重力波源 GW170817 で実際に観測された光度変化(●)と、シミュレーション(実線・破線)の比較。青が可視光、赤が近赤外線を表している。実線は r プロセスが起こる場合、破線は r プロセスが起こらない場合に予測される光度変化をあらわしている。実線が観測とよく一致している。
クレジット: 国立天文台

【論文情報】

掲載誌: Publications of the Astronomical Society of Japan 2017年10月16日公開

論文タイトル: J-GEM observations of an electromagnetic counterpart to the neutron star merger GW170817

著者: Yousuke UTSUMI, Masaomi TANAKA, Nozomu TOMINAGA, Michitoshi YOSHIDA, Sudhanshu BARWAY, Takahiro NAGAYAMA, Tetsuya ZENKO, Kentaro AOKI, Takuya FUJIYOSHI, Hisanori FURUSAWA, Koji S. KAWABATA, Shintaro KOSHIDA, Chien-Hsiu LEE, Tomoki MOROKUMA, Kentaro MOTOHARA, Fumiaki NAKATA, Ryou OHSAWA, Kouji OHTA, Hirofumi OKITA, Akito TAJITSU, Ichi TANAKA, Tsuyoshi TERAJ, Naoki YASUDA, Fumio ABE, Yuichiro ASAKURA, Ian A. BOND, Shota MIYAZAKI, Takahiro SUMI, Paul J. TRISTRAM, Satoshi HONDA, Ryosuke ITOH, Youichi ITOH, Miho KAWABATA, Kumiko MORIHANA, Hiroki NAGASHIMA, Tatsuya NAKAOKA, Tomohito OHSHIMA, Jun TAKAHASHI, Masaki TAKAYAMA, Wako AOKI, Stefan BAAR, Mamoru DOI, Francois FINET, Nobuyuki KANDA, Ji Hoon KIM, Daisuke KURODA, Wei LIU, Kazuya MATSUBAYASHI, Katsuhiko L. MURATA, Hiroshi NAGAI, Tomoki SAITO, Yoshihiko SAITO, Shigeyuki SAKO, Yuichiro SEKIGUCHI, Yoichi TAMURA, Masayuki TANAKA, Makoto UEMURA, Masaki S. YAMAGUCHI, and the J-GEM collaboration

論文タイトル: Kilonova from Post-Merger Ejecta as an Optical and Near-Infrared Counterpart of GW170817

著者: Masaomi TANAKA, Yousuke UTSUMI, Paolo A. MAZZALI, Nozomu TOMINAGA, Michitoshi YOSHIDA, Yuichiro SEKIGUCHI, Tomoki MOROKUMA, Kentaro MOTOHARA, Kouji OHTA, Koji S. KAWABATA, Fumio ABE, Kentaro AOKI, Yuichiro ASAKURA, Stefan BAAR, Sudhanshu BARWAY, Ian A. BOND, Mamoru DOI, Takuya FUJIYOSHI, Hisanori FURUSAWA, Satoshi HONDA, Youichi ITOH, Miho KAWABATA, Ji Hoon KIM, Chien-Hsiu LEE, Shota MIYAZAKI, Kumiko MORIHANA, Hiroki NAGASHIMA, Takahiro NAGAYAMA, Tatsuya NAKAOKA, Fumiaki NAKATA, Ryou OHSAWA, Tomohito OHSHIMA, Hirofumi OKITA, Tomoki SAITO, Takahiro SUMI, Akito TAJITSU, Jun TAKAHASHI, Masaki TAKAYAMA, Ichi TANAKA, Paul J. TRISTRAM, Tsuyoshi TERAJ, Naoki YASUDA, and Tetsuya ZENKO

【研究サポート】

本研究は、科学研究費助成事業 新学術領域研究「重力波天体の多様な観測による宇宙物理学の新展開」、および同「重力波物理学・天文学：創世記」の全面的な支援の下で行われました。また、以下の事業・機関からもサポートを受けています。「大学間連携による光・赤外線天文学研究教育拠点のネットワーク構築事業」、トヨタ財団 (D11-R-0830)、三菱財団、山田科学財団、井上科学振興財団、大学共同利用機関法人自然科学研究機構 若手研究者による分野間連携研究プロジェクト、the National Research Foundation of South Africa、科学研究費補助金 (JP17H06363, JP15H00788,

JP24103003, JP10147214, JP10147207, JP16H02183, JP15H02075,
JP15H02069, JP26800103, JP25800103)。

*Embargo (発表禁止期間) の遵守をお願い申し上げます。

報道解禁時間：米国東部時間 10月16日14時 (日本時間16日23時、新聞は17日付朝刊)

《本プレスリリース全体に関するお問い合わせ先》

甲南学園広報部 担当：羽田

〒658-8501 神戸市東灘区岡本 8-9-1

電話 078-435-2314 FAX 078-435-2546

Email: kouhou@adm.konan-u.ac.jp

《研究内容に関するお問い合わせ先》

甲南大学理工学部物理学科 担当：富永望 教授

Email: tominaga@konan-u.ac.jp