

「富岳」で高速電波バーストの再現に成功

—宇宙最大の電波爆発の起源に迫る—

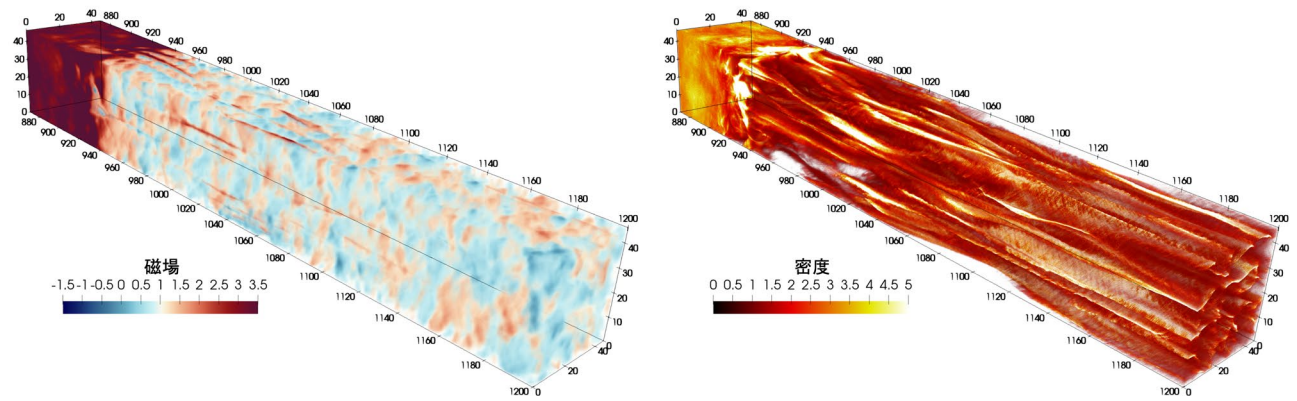
概要

京都大学基礎物理学研究所 岩本昌倫 特任助教、千葉大学国際高等研究基幹 松本洋介 准教授、東京大学大学院理学系研究科 天野孝伸 准教授、星野真弘 教授、九州大学大学院総合理工学研究院 松清修一 教授らの研究グループは、スーパーコンピュータ「富岳」を使い、高速電波バーストの再現に成功しました。

高速電波バーストとは、突如としてごく短時間だけ電波で輝く宇宙最大の電波爆発です。その起源は、マグネターと呼ばれる非常に強い磁場を持った中性子星の周辺に形成される衝撃波であると信じられていますが、これまでは理論的裏付けがありませんでした。今回の「富岳」による衝撃波の超大規模シミュレーションの結果、シミュレーション内の電波はこれまでの観測と矛盾がなく、高速電波バーストを正しく再現できていることを初めて実証しました。

高速電波バーストの電波信号には通過してきた宇宙の情報が刻まれているため、宇宙の進化や構造を探る道具として利用できると考えられています。そのためには高速電波バーストがどこでどのようにして発生しているかを理解することが重要ですが、本研究はその解明に大きく迫り、宇宙論といった別分野にも波及効果をもたらすことが期待されます。

本研究成果は、2024年1月16日に米国の国際学術誌「*Physical Review Letters*」にオンライン掲載されました。



シミュレーション終了時点での衝撃波の構造。左側が磁場を描いており、手前側に向かって電波が放射されている。右側はプラズマ密度であり、細長い構造が電波によって作り出されている。

1. 背景

高速電波バーストとは、突如としてごく短時間だけ電波で輝く天体現象であり、宇宙最大の電波爆発です。その発生源は未解明な部分が多いですが、マグネターと呼ばれる非常に強い磁場を持った中性子星¹から放射されていることが観測から示唆されています。具体的な電波放射機構もよくわかっていませんが、マグネターはその莫大な磁場エネルギーを爆発により解放しており、爆発の際に吹き出した超音速のプラズマが衝撃波を形成して電波を放射するという説が有力候補の1つです。しかしながら、この衝撃波からの電波放射が具体的にどのような特性を持っているかはわかっておらず、高速電波バーストの放射強度や偏光²といった観測値を本当に再現できるかは不明のままです。そのため、放射特性の理論的推定が望まれていましたが、実証には超大規模シミュレーションを実施する必要があり未解決のままです。

2. 研究手法・成果

研究グループは第一原理シミュレーションを行い、衝撃波からの電波放射の特性を世界で初めて明らかにしました。シミュレーションは理化学研究所のスーパーコンピュータ「富岳」で行い、634,800個の演算コアおよび400テラバイトの物理メモリを使用して、10兆個のプラズマ粒子の運動を解きました。「富岳」の計算能力に加えて、「富岳」に特別に最適化された研究グループ独自の計算コードを用いることで、この超大規模シミュレーションが実現可能になりました。このシミュレーションから、電波の放射強度および周波数は観測と整合的であることがわかりました。特に偏光に対しては、これまでのシミュレーション研究とは異なり、観測研究で広く使われている手法を使って定量的に評価しました。その結果、電波は強い直線偏光³をしていること、また偏光面⁴が時間とともに変動することを発見し、これらもまた矛盾なく観測を説明できることがわかりました。今回のシミュレーションは高速電波バーストを正しく再現できており、衝撃波からの電波放射が高速電波バーストの起源であることを裏付ける成果が初めて得られました。

3. 波及効果、今後の予定

高速電波バーストの電波信号には地球に到達するまでに通過してきた宇宙の情報が刻まれており、宇宙の進化や構造を探る道具として利用できると考えられています。そのためには高速電波バーストがどこでどのように発生しているかを理解することが重要ですが、本研究はその解明に大きく迫りました。宇宙の進化や構造を探る学問を宇宙論と呼びますが、今回の成果は宇宙論にも大きな波及効果をもたらすと期待されます。

高速電波バーストの発生源の環境を直接的に観測することはできないため、プラズマの温度など観測から決定できないものはシミュレーション内で仮定していました。今後は異なる条件下で同規模のシミュレーションを繰り返して、仮定の妥当性を検証する必要があると考えています。

4. 研究プロジェクトについて

本研究は、JSPS 科研費 23K03407、20J00280、20KK0064、22H00130 の助成を受けており、また、文部科学省「富岳」成果創出加速プログラム「宇宙の構造形成と進化から惑星表層環境変動までの統一的描像の構築」(JPMXP1020200109)、「シミュレーションとAIの融合で解明する宇宙の構造と進化」(JPMXP1020230406)、および計算基礎科学連携拠点 (JICFuS) の元で実施したものです。

<用語解説>

1. 非常に重たい星(太陽の 10-30 倍)が寿命を迎えて爆発した後に残る、中性子が主成分の星
2. 光が振動する方向が規則的であること
3. 光が一方向にのみ振動していること
4. 光の進行方向と振動電場がなす面

<研究者のコメント>

本研究は 2020 年ごろから本格的にはじまりましたが、「富岳」は始動直後だったためさまざまな技術的トラブルに見舞われ、さらにはコロナウイルス流行による研究環境の変化も相まって、完成に想定よりも遥かに時間がかかってしまいました。こういった困難もあって、研究が無事完成し論文として受理されたときの喜びはひとしおでした。(岩本)

<論文タイトルと著者>

タイトル：Linearly Polarized Coherent Emission from Relativistic Magnetized Ion-Electron Shocks

(相対論的磁化イオン・電子衝撃波からの直線偏光したコヒーレント放射)

著者：M. Iwamoto, Y. Matsumoto, T. Amano, S. Matsukiyo, and M. Hoshino

掲載誌：*Physical Review Letters* DOI：10.1103/PhysRevLett.132.035201