

宇宙において、様々な突発的高エネルギー現象が、電波からガンマ線にわたる広い波長域で観測されている。その中で、未だ謎が多く注目されている現象・天体として、「高速電波バースト (Fast Radio Burst; FRB)」と「マグネター」がある。本論文は、FRB とマグネターの最新の観測結果に基づいて多波長にわたる電磁波放射機構を理論的に検討し、両者の類似性に注目した上で、それらの起源解明を目指したものである。

本論文は六章および補遺からなる。第一章では、本研究の対象である FRB とマグネターが紹介されている。FRB は 2007 年に初めて報告された現象で、それが大きな分散量度 (dispersion measure) を示すことから、宇宙論的な距離で発生していると思われること、全天で 1 日に 1,000 から 10,000 イベントという高頻度の現象であることなどが述べられている。特に近年、位置と赤方偏移が正確に決定され、同一天体が FRB を繰り返す例が複数発見されてきたことが指摘されている。マグネターに関しては、X 線やガンマ線でフレアが観測されていること、超強磁場を持つ単独中性子星というモデルが主流であること、強磁場を持つ電波パルサーとの関連が示唆されていることなどが述べられている。特に、強磁場電波パルサー PSR J1119-6127 について、X 線で短いバーストが発生したと同時に、1.4 GHz の電波強度が顕著に減少したことが指摘されている。

第二章では、連星中性子星合体による FRB のモデルが検討されている。論文提出者は数値計算に基づいて、合体によって放出される物質の柱密度と中性子星の角速度の時間発展を調べた。今まで、このモデルにおいては、放出物質の柱密度が大きすぎると電波放射が遮られてしまう可能性が指摘されていたが、計算の結果、合体の際に約 1 ミリ秒間、十分に角速度が大きく柱密度が小さい期間が発生することがわかり、これが FRB の継続時間に対応している可能性が指摘された。また、衝突前の二つの中性子星質量が十分小さい場合には、合体後にブラックホールではなく中性子星が形成される可能性がある。そこで論文提出者は、連星中性子星合体によって生成した単独中性子星モデルで、FRB の再帰を説明できないかどうか検討した。その結果、合体から数年後には放出物質の柱密度は十分に下がるので、そこで単独中性子星が突発的に光ったとしたら、再帰現象を説明できることがわかった。また、このモデルでは、再帰する FRB の光度は再帰しないものに比べて系統的に低くなるため、検出感度が上がるにつれ、再帰しない FRB に比して、再帰する FRB の割合が多くなることを予想している。

第三章では、FRB が示す分散量度について考察されている。宇宙赤方偏移と銀河間空間プラズマに起因する分散量度との比例関係から、FRB 発生源の赤方偏移を見積もることができる。しかし、FRB から観測される分散量度は、銀河間空間プラズマに

加えて、母銀河、銀河系ハロー、銀河系内それぞれに起因する分散量度の総和であり、そのうち、特に銀河系ハロープラズマからの寄与はよくわかっていない。そこで論文提出者は、円盤成分に加え球対称成分を考慮した銀河系ハロープラズマの新たなモデルを構築し、それから期待される分散量度を銀緯と銀経の関数として与えることに成功した。また、それが、今までに大マゼラン雲中のパルサーおよび FRB から実際に観測された分散量度と矛盾しないことを確認した。さらに論文提出者は、今後、比較的近傍の FRB の分散量度観測の例が増えてくれば、銀河系ハロープラズマについてより詳しい情報が得られることを指摘している。

第四章では、マグネターの放射機構について考察されている。マグネターが示す X 線・ガンマ線フレアの有力なモデルとして、電子・陽電子プラズマから成る火の玉 (fire ball) モデルがある。このモデルでは、中性子星表面近くから、磁気エネルギーが突然解放されることによって火の玉が相対論的な速度で放出され、それが X 線・ガンマ線を放射する。論文提出者は、このとき火の玉が中性子星表面からの電波放射を遮るとしたら PSR J1119-6127 から観測されたような X 線バーストと電波強度低下の同時性が説明できると考えた。そこで論文提出者は、電子・陽電子プラズマ発生時のプラズマ振動数を中性子星中心からの距離として計算した。その結果、十分遠方でプラズマ振動数が GHz を大きく超えることがわかり、これによって、X 線バーストと同時に電波フラックスが減少することが説明できた。また、論文提出者は、もし FRB がマグネターと同じような火の玉モデルで説明されるとしたら、上記の考察より、その電波放射領域は中性子星から十分遠方でなくてはならないことを指摘した。

第五章では、マグネターが示す X 線フレアのエネルギースペクトルについて考察している。一般に、それは火の玉からの黒体輻射で説明されているが、 $\sim 30$  keV より高エネルギー側に顕著な過剰成分が見られることが知られていた。そこで論文提出者は、黒体放射の光子が強磁場中に束縛された電子との共鳴逆コンプトン散乱の影響を受けるモデルを考慮し、詳細なモンテカルロ計算を行った。その結果、SGR1900+14 から観測された X 線フレアスペクトルの過剰成分をうまく説明することができた。

第六章は結論である。前章までに得られた結果がまとめられ、それを基に、今後期待される観測予想や研究の展望などが述べられている。

以上に述べたように、本論文は、最新の観測結果に基づき、FRB とマグネターの電磁波放射機構を詳細に検討し、その関連性を議論したものとして、高く評価できる。なお、本論文は、榎戸輝揚・木内建太・木坂将大・寺澤敏夫・戸谷友則・Ersin Gogus・Jonathan Granot・Yuri Lyubarsky との共同研究であるが、論文提出者が主体となって解析・結果のまとめを行ったもので、論文提出者の寄与は十分である。

従って、当審査委員会は、本博士論文が博士（理学）の学位に値することを全員一致で認める。

以上