

太陽電波 II 型バーストのスペクトル微細構造の統計的出現特性

Statistical occurrence characteristics of fine spectral structures in solar radio type II bursts

東北大学大学院理学研究科
地球物理学専攻

柏木 啓良

(指導教員：三澤 浩昭 准教授)

平成 27 年

太陽電波 II 型バーストは、コロナ中を伝搬する衝撃波によって加速された非熱的電子がプラズマ不安定を引き起こし放射される電波バーストであり、主にメートル波帯からデカメートル波帯にかけてゆっくりとした負の周波数ドリフトをするスペクトル構造として観測される。II 型バーストの観測周波数は電波放射領域のプラズマ周波数に対応するため、光球面からの高度の関数として表されるコロナ電子密度モデルを仮定することで、ドリフトレートから衝撃波の伝搬速度を概算することが可能である。II 型バーストは発見以来、長く研究されている現象であり、III 型バーストとともに太陽電波バーストの中でも特によく知られたバーストである。しかし、II 型バーストに関する特徴を完全に説明できる理論は確立されておらず、なお議論が続いている現象である。現在の主要な未解決課題の一つは電波放射領域である。前述のように放射域がコロナ衝撃波の近傍であることは広く受け入れられているが、衝撃波の上流なのか下流なのか、あるいは衝撃波面なのか、さらに衝撃波の前面なのか側面なのか、等について議論があり、未だに統一的な理解が成されていない。また、スペクトル微細構造の存在も未解決課題である。II 型バーストの長年の研究で、スペクトル微細構造として特定されているのは herringbone 構造である。herringbone 構造は、衝撃波で加速された電子ビームが、コロナ・惑星間空間へ抜けていく様子が反映されたものと解釈されている。しかし、理論計算によって herringbone 構造を伴った II 型バーストを再現した例はなく、完全な理解には何らかの制約を加える必要が示唆されてきた。一方、この herringbone 構造以外には II 型バーストの微細構造は報告がなかった。しかし、東北大学が所有する太陽電波観測装置 IPRT/AMATERAS によって初めて可能になった電波現象の高時間・高周波数分解能観測による一例の II 型バーストに対する解析により、II 型バーストの特徴であるゆっくりとしたドリフト構造(以下、メイン構造)は herringbone 構造と似たような形状を示すスペクトル微細構造(特性継続時間: 数 100msec)を内包することが示唆された(Sato[2014])。本研究は、AMATERAS のデータを用いた統計的な解析に基づき、II 型バースト中のスペクトル微細構造の普遍性の検証とその出現特性を

明らかにすること、更に、その出現特性に基づき、スペクトル微細構造を伴うⅡ型バーストの放射領域について制約を与えることを目的として行われた。

本研究では、AMATERAS の 2010 年 10 月から 2014 年 9 月までの期間に対するデータベースから 12 例のⅡ型バーストを新たに同定し、先ずメイン構造内部のスペクトル微細構造存否の検証を行った。更に、この 12 例のうち 2013 年 11 月 2 日 4:46UT 頃に C クラスフレアの発生に関連して出現したⅡ型バーストと、2013 年 11 月 7 日 3:40UT 頃に M クラスフレアの発生に関連して出現したⅡ型バーストを対象に、スペクトル微細構造の出現特性の解析と放射起源の考察を行った。このスペクトル微細構造の出現特性の解析では、電波発生過程や発生域の情報を持つ周波数ドリフトレートに着目した。この解析の結果は、以下のようにまとめられる。

1. 先行研究で同定された例も含めて全 13 例のⅡ型バーストは、例外なくメイン構造内部にスペクトル微細構造を伴っており、スペクトル微細構造はⅡ型バーストの一般的な特徴である可能性が高い。
2. メイン構造内部にスペクトル微細構造を伴っていた全 13 例のⅡ型バーストは、それらの発生時のフレアの規模や出現位置、また、メイン構造のドリフト速度について、各バースト間で系統的な出現様相はみられなかった。
3. 2013 年 11 月 2 日と 2013 年 11 月 7 日に観測された、約 200MHz 付近に出現したⅡ型バーストのメイン構造内部にみられたスペクトル微細構造のドリフトレートは、400[MHz/s]から 30[MHz/s]と幅を持っており、メイン構造の周波数範囲やドリフトレートに依らず様々な値を示した。

1, 2の結果は、Ⅱ型バーストは出現に関連すると考えられるコロナ中の現象の特性に特に依存することなくスペクトル微細構造が存在することを示唆する。また、1, 3の結果は、Ⅱ型バーストのメイン構造内部に見られる線状のスペクトル微細構造は、herringbone 構造と同様に電子ビームの挙動を反映した構造である可能性を示唆する。3に関して、定常コロナプラズマ密度モデルを用いて微細構造のドリフトレートから発生に関与した電子ビーム速度を求めた結果、herringbone 構造の発生に関わる電子ビームの速度より大きいことが分かった。この結果はスペクトル微細構造に対応する電子ビームは、定常コロナに比べて密度勾配が急な領域を通過し電波を放射しなければならないことを示している。以上の結果を踏まえ、本研究ではⅡ型バーストのスペクトル微細構造および発生領域の考察を行った。Ⅱ型バーストについての先行研究を踏襲し、フレアあるいは CME に伴って出現する衝撃波の上流で、衝撃波ドリフト加速(SDA)による電子ビームをエネルギー源としてⅡ型バーストが放射されると仮定し、①衝撃波側面、②衝撃波前面、を電波放射域とする場合の可能性を考察した。

①の領域である場合については、SDA により微細構造の正負のドリフトの存在を説明しうるが、発生域は定常コロナ密度分布よりも密度勾配が急であること、また、メイン構造のドリフトが衝撃波前面で発生した場合より遅くなる可能性が示唆された。一方、②の領域である場合については、SDA で微細構造の正負のドリフトを説明するには衝撃波面のプラズマ密度分布に定常コロナ密度分布よりも密度勾配が急であり、且つ、例えば波状の密度分布を持つ等、分布形状に追加条件が必要になる可能性が示唆された。