

重力波データ解析への応用に向けた Hilbert-Huang 変換における保管法の比較検討

梁取 大貴[†] 酒井 一樹[†]
[†] 長岡工業高等専門学校電子制御工学科

1. 研究背景

2015年, 世界で初めて重力波が検出され, 現在に渡り様々な重力波の検出の報告がされている. 重力波の観測によって, 宇宙誕生直後の状態や中性子星(NS)の内部構造などを知ることができると期待されている.

先行研究 [1] では, Hilbert-Huang 変換(HHT)を用いて, 巨大中性子星による重力波の瞬時周波数の時間評価を行い, 状態方程式(EOS)に関する情報の取得に取り組んでいる. HHT は時間-周波数の不確定性関係に影響されずに解析することができ, 非線形, 非定常なデータに対して, 高い優位性を持つ. しかし, HHT は比較的新しい手法であるため, 更なる性能の向上が期待される. 例えば, 波形の極値と極値を補間し, 包絡線を取得する処理である. 現在使用されている Cubic Spline は, 滑らかな補間を行えるものの, 解析に不必要な振動を含んでしまうという問題がある.

本研究では, HHT の補間処理に着目し, Akima Spline, Steffen 補間の2種類のスプライン補間法を用いた HHT による結果の比較を行う. Cubic Spline の振動の問題点を改善した Akima Spline や Steffen 補間を用いることで HHT の精度の向上を期待できる.

2. 重力波データの解析

一般相対性理論に基づくシミュレーション重力波データを使用する. ここでは, ハイペロンを考慮した EOS(Hyp-EOS)で仮定されたモデル(H135)と, 純粋な核子の EOS(Shen-EOS)で仮定されたモデル(S15)を扱う.

3. 時間-周波数-振幅マップ(T-F-A マップ)

重力波に HHT を適用すると, 瞬時周波数(IF)と瞬時振幅(IA)が得られる. IF, IA を元に作成した T-F-A マップを図1に示す. 図 1 より, どちらのモデルも $t=0$ (合体時)で振幅が最大となっていることが分かる. また, H135 は $t=0$ 以降で周波数が増加するのに対して, S15 は周波数が一定となっていることが読み取れる. 図 1 から, 2つの HHT は, EOS の判別を行えているといえるが, 両者間の性能の差は明確ではない.

4. EOS の統計的判別

瞬時周波数を $IF = \beta_1 + \beta_2 \cdot t$ で近似した線形回帰と, 時間と周波数の共分散を用いて周波数の変化を特徴付ける. H135 と S15 の β_2 の分布, H135 と S15 の共分散の分布をそれぞれ図 3,4 に示す. 図 3,4 から, AS-HHT

に比べ, SI-HHT は分布の重なりがなく, より EOS の判別が正確に行えていることが分かる

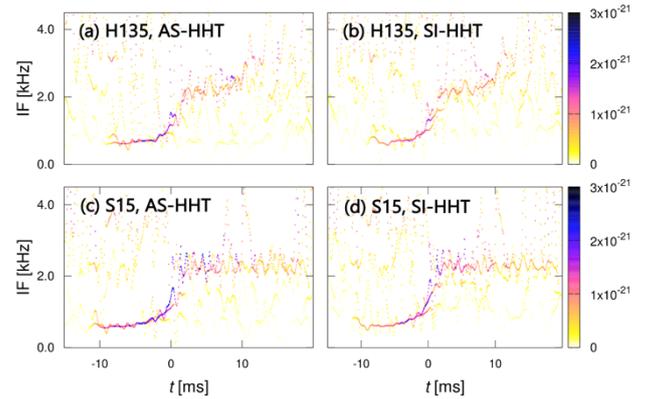


図1:T-F-A マップ

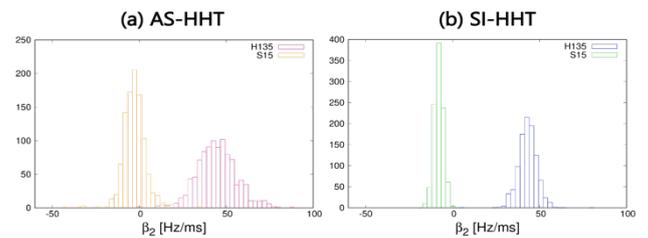


図 2: H135 と S15 の β_2 の分布

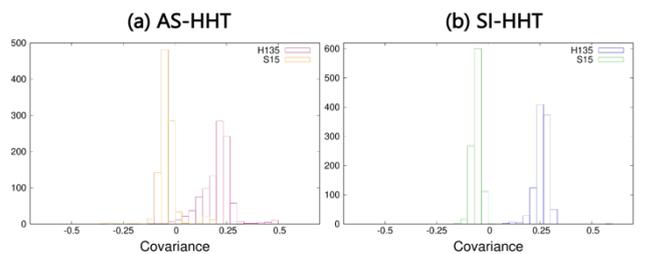


図 3:H135 と S15 の共分散の分布

5. まとめ

波源からの距離が 5Mpc の重力波解析において, Akima Spline より Steffen 補間を用いた方が精度良く EOS の判別ができることが分かった. 今後は検定を利用してどの程度の距離まで精度よく判別できるかを調査していく.

参考文献

- [1] Kaneyama, Masato, *et al*, “Analysis of gravitational waves from binary neutron star merger by Hilbert-Huang transform”, *Phys. Rev. D* 93, 123010(2016).
- [2] M. Steffen, “A simple method for monotonic interpolation in one dimension”, *Astron. Astrophys.* 239, 443 (1990).