



防衛装備庁

モード群速度の推定方法の比較

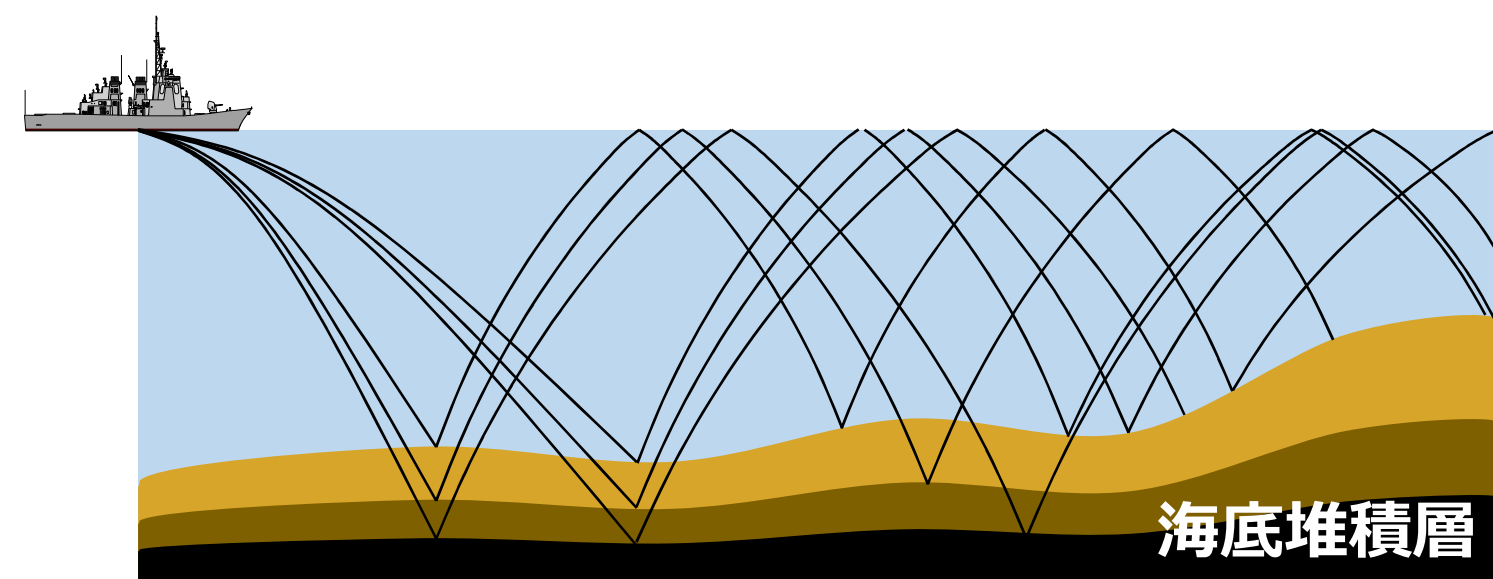
(1 / 2)

艦艇装備研究所 海洋戦技術研究部 海洋環境研究室

背景

水測予察の精度向上と海底音響特性

- ◆ 水測予察精度向上には海中音波伝搬特性（水温分布、塩分濃度分布、海底地形、海底地質等）の把握が必要である。
- ◆ 特に浅海域においては、音波は海面と海底との多重反射により伝搬するため、海底地形のみならず海底地質および構造等に依存する海底音響特性（音速、密度、減衰係数）の把握が重要である。



浅海域における音波伝搬のイメージ

海底音響特性の推定における音波伝搬特性の計測

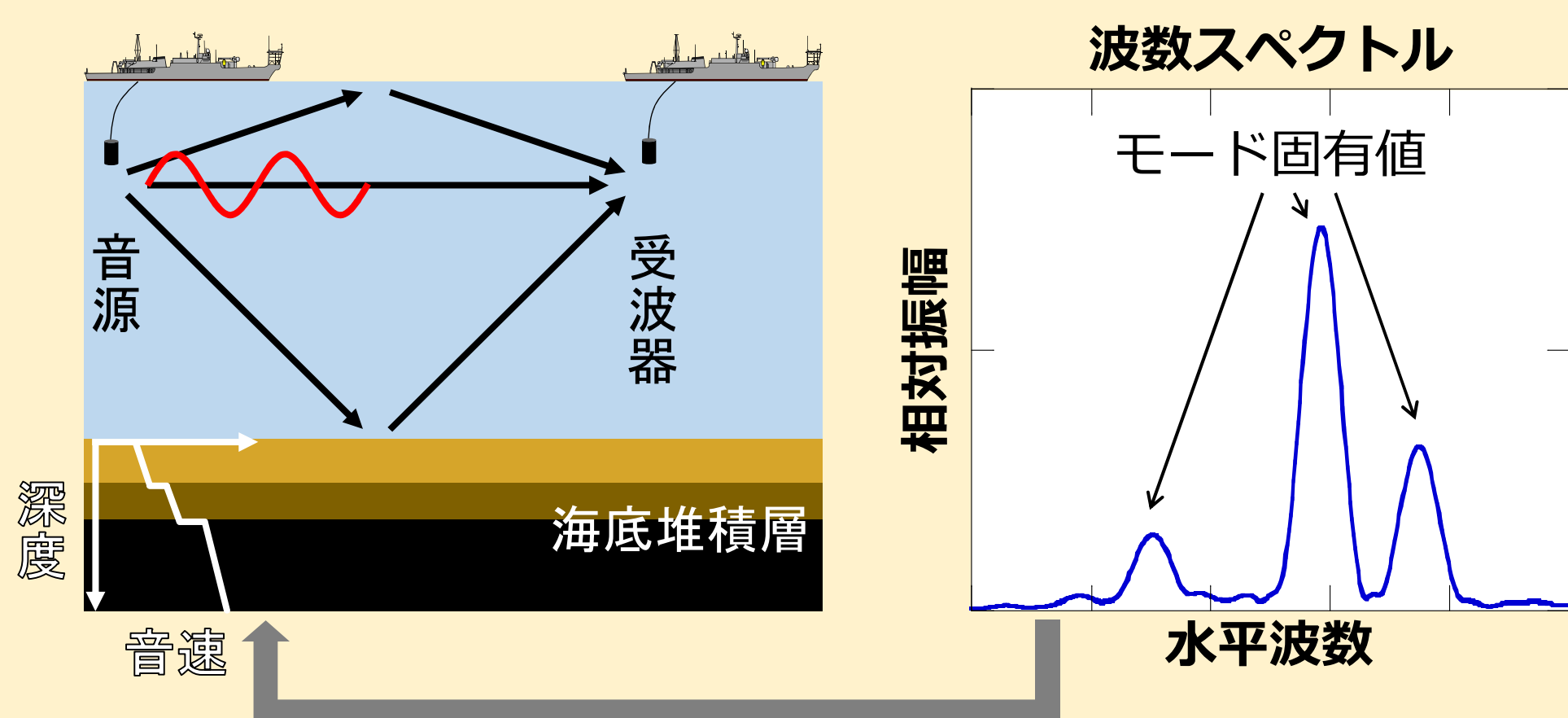
海底音響特性は直接測定が困難であるため、海中の音波伝搬特性の計測結果から推定したモード固有値を用い、音波伝搬の逆問題を解くことで推定するモードインバース法が実用化されている。

海中音波伝搬特性の計測には以下の①連続波法と②パルス波法が存在する。

① 連続波法（実用化済）

- ◆ 複数の狭帯域の連続波を送波し受波器で計測
- ◆ 計測データの波数スペクトルからモード固有値を求めモードインバース法で推定

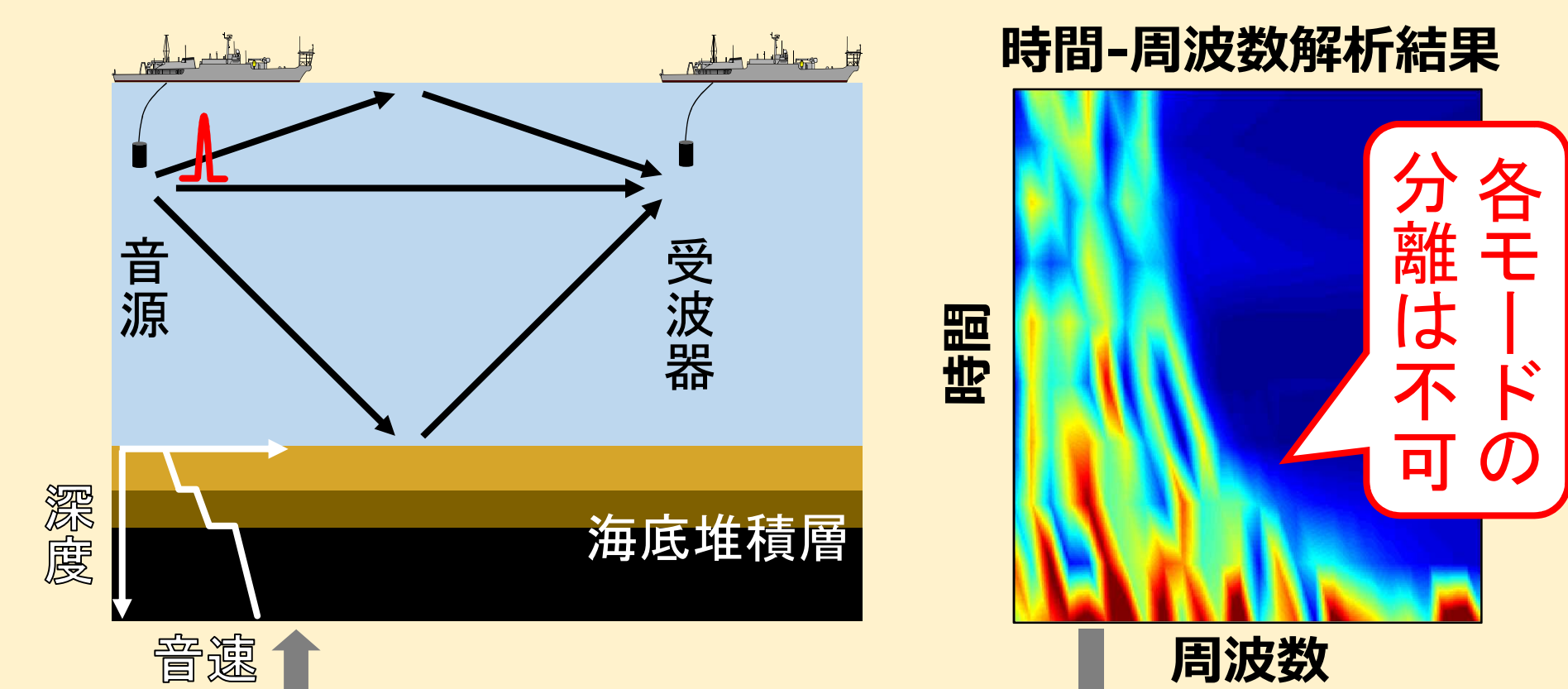
特徴：高精度に推定できるが計測に時間を要する



② パルス波法

- ◆ 広帯域のパルス波を送波し受波器で計測
- ◆ 計測データの時間－周波数解析によって求めた群速度分散特性からモード群速度を求めモードインバース法で推定

特徴：計測時間は短いが高精度な推定が困難



本研究では、パルス波法の課題であるモード群速度の推定精度を向上させることで計測効率・推定精度の両立を目指す。

パルス波法の課題

モード群速度の高精度な推定

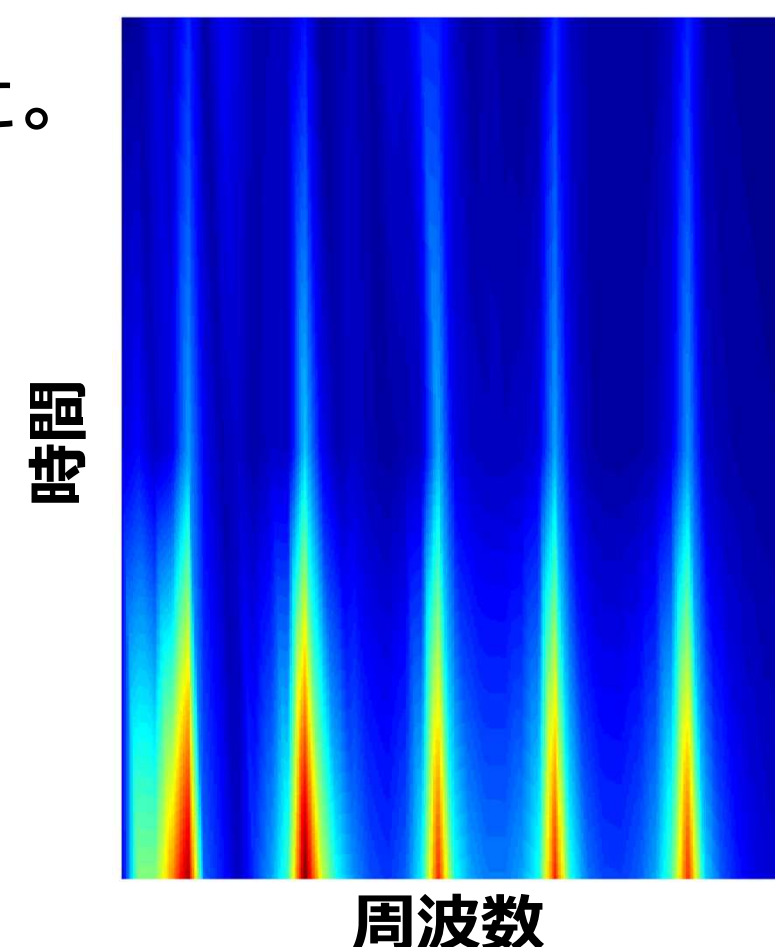
- ◆ 近年、タイムフープ変調が開発され、パルス波の受波波形を変調することにより、時間－周波数解析結果において従来は分離不可能だった各モードの分離が可能になった。

$$t' = \sqrt{t^2 - \left(\frac{L}{c}\right)^2} \quad \begin{pmatrix} t': \text{変調後の時間軸} \\ t: \text{元の時間軸} \\ L: \text{送受波器間距離} \\ c: \text{水中の音速} \end{pmatrix}$$

- ◆ しかし、モード群速度の推定精度は時間－周波数解析の手法によって左右される。本研究では、一般的に使用される二つの手法の推定精度の比較を実施した。

各モードの分離が可能

時間-周波数解析結果





防衛装備庁

モード群速度の推定方法の比較

(2 / 2)

艦艇装備研究所 海洋戦技術研究部 海洋環境研究室

本研究の実施内容

1. シミュレーションによってパルス波の受信波形を生成
(最も単純なモデルで比較を行うために海底を完全反射する剛体と設定)
2. 受信波形をタイムワープ変調
3. 変調後の波形に対し以下の時間－周波数解析を実施
①短時間窓フーリエ変換 ②ウェーブレット変換
4. バンドパスフィルタで各モードに分離
5. 分離波形を復調し群速度分散特性を計算
6. 両手法による時間－周波数波形から求めた群速度分散特性をノーマルモード理論値と比較し評価

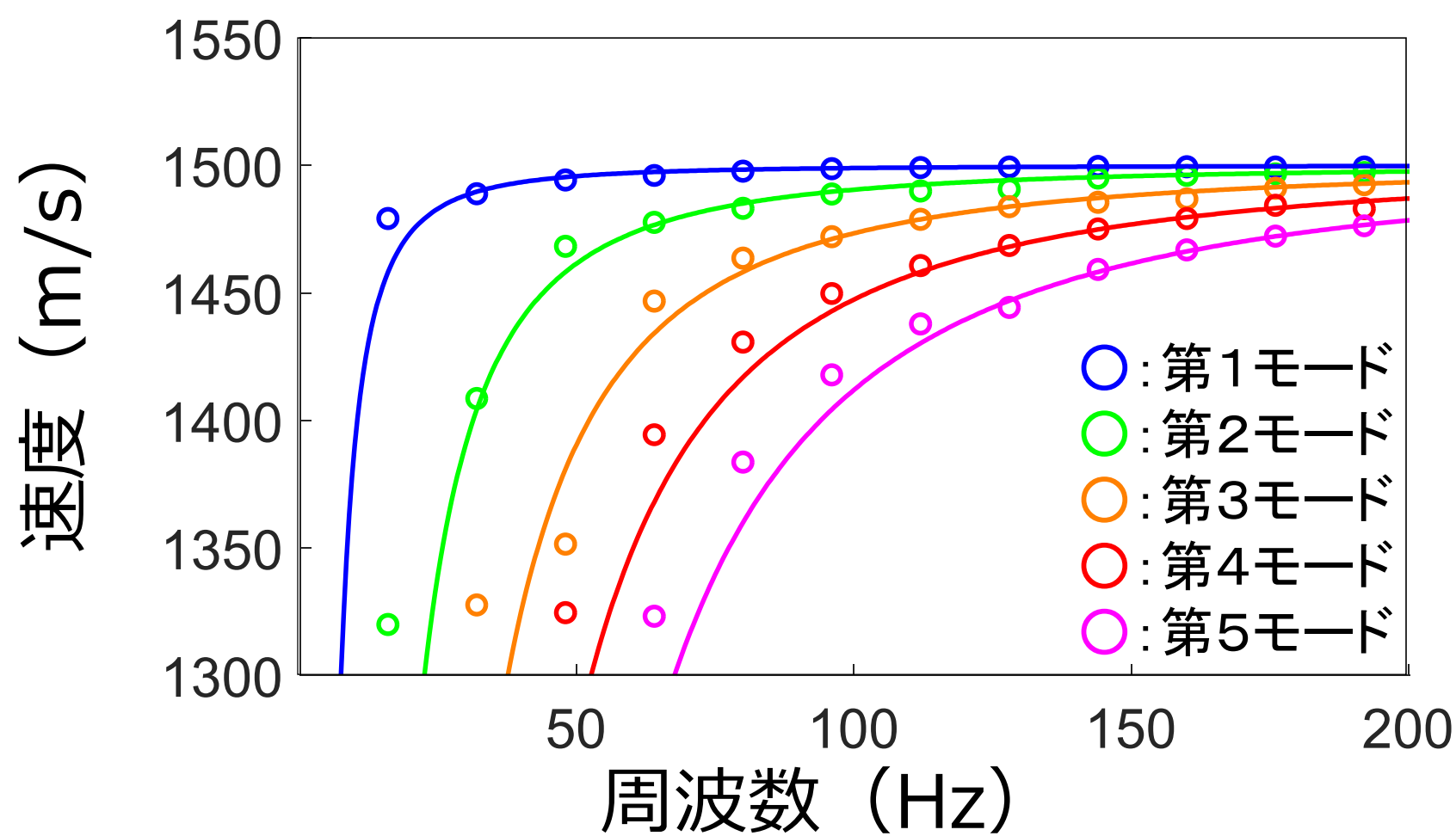
シミュレーション実施条件



結果

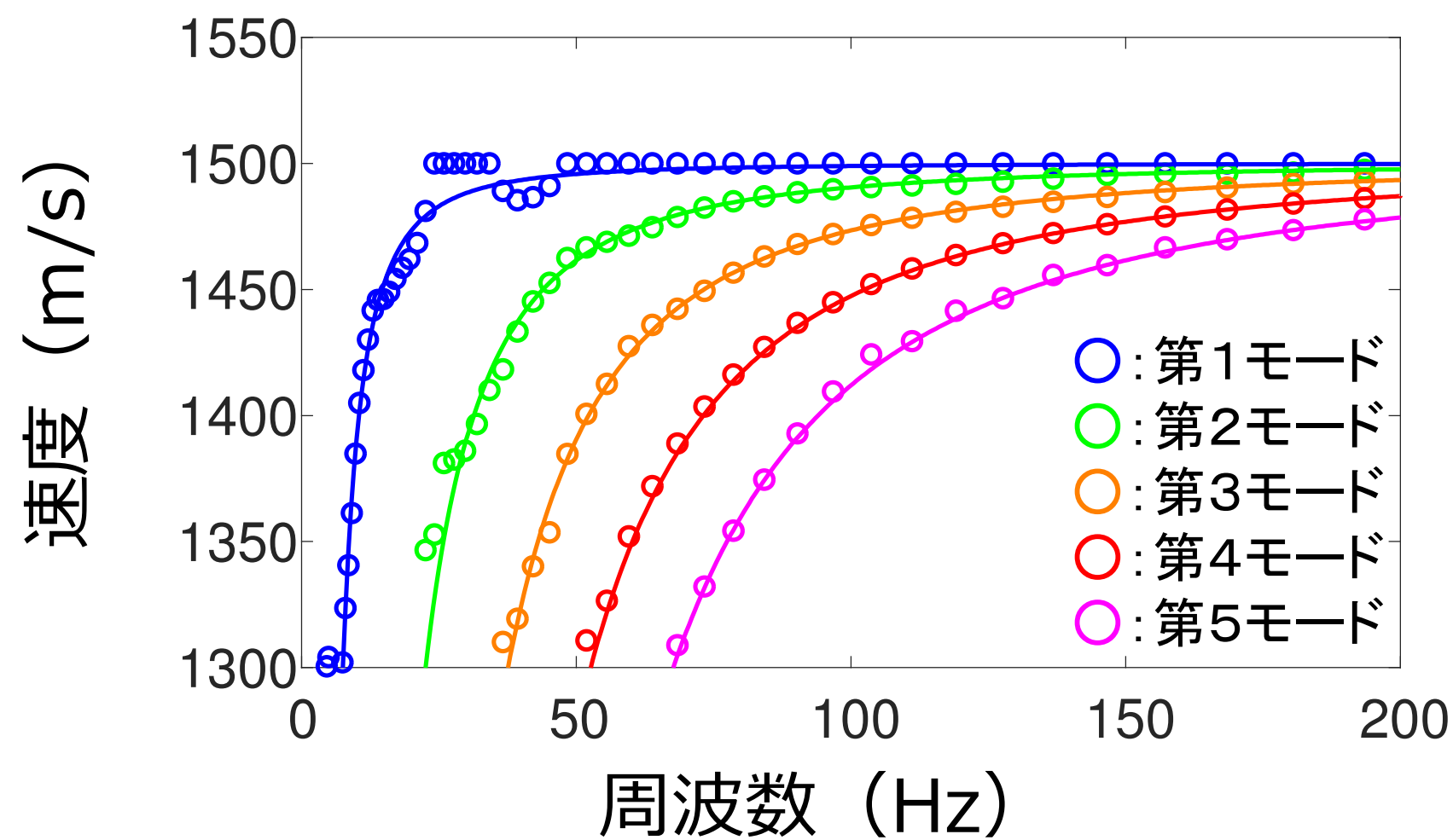
①短時間フーリエ変換および②ウェーブレット変換による時間－周波数解析結果から求めた群速度分散特性を以下に示す（実線は理論値）。

① 短時間窓フーリエ変換



- 全モードにおいて連続波法の精度（誤差1m/s以下）を下回っている。
- 原因は、本手法は時間と周波数の精度がトレードオフ関係にあり両立できないためである。

② ウェーブレット変換



- 全モードにおいて50Hz以下を除き連続波法の精度（誤差1m/s以下）と同等である。
- 原因は、本手法は低周波領域で時間分解能が低くなるためである。

まとめ

- ◆ 短時間窓フーリエ変換による群速度分散特性は、全モードにおいて実用化されている連続波法を下回る精度を示しており、海底音響特性の推定に用いるには不十分であることがわかった。
- ◆ ウェーブレット変換による群速度分散特性は、ごく一部の低周波領域以外では連続波法と同等の精度を示しており、海底音響特性の推定に有効であると考えられる。
- ◆ 今後は両手法において精度が不十分となる低周波領域の精度の向上を目的とし、他の時間－周波数解析手法についても検討を実施する予定である。