

平成 21 年度共同利用実施報告書(研究実績報告書)

1. 共同利用種目 (該当種目にチェック)

- 特定共同研究(A) 特定共同研究(B) 特定共同研究(C) 一般共同研究
 地震・火山噴火予知研究 施設・実験装置・観測機器等の利用
 データ・資料等の利用 研究集会

2. 課題番号または共同利用コード 2009-G-25

3. プロジェクト名、研究課題、集会名、または利用施設・装置・機器・データ等の名称

和文: Hilbert-Huang 変換を用いた神岡レーザー伸縮計データ解析法の研究英文: Possibility of Applying Hilbert-Huang Transform to Data Analysis
for Laser Strainmeter4. 研究代表者所属・氏名 長岡技術科学大学 工学部 経営情報系・高橋 弘毅
(地震研究所担当教員名) 東京大学 地震研究所 地球計測部門・新谷 昌人

5. 利用者・参加者の詳細 (研究代表者を含む。必要に応じ行を追加すること)

氏名	所属・職名	利用・参加内容または 施設,装置,機器,データ	利用・参加期間	日 数	旅費 支給
高橋 弘毅	長岡技術科学大学工学部・助教	神岡レーザー伸縮系デー タ、解析手法の検討	H.21.4.1～ H22.3.31	10	無

6. 研究内容 (コンマ区切りで3つ以上のキーワードおよび400字程度の成果概要を記入)

キーワード: データ解析手法、Hilbert-Huang 変換、レーザー伸縮計

Hilbert-Huang 変換は、時系列データ解析手法の新しいアプローチであり、この変換は、固定された基底セットをデータに課さない適応型の時間-周波数分解を用いるため、フーリエ変換やウェーブレット変換などに比べ、高い周波数分解能をもつことが知られている。新たな手法として、高い周波数分解能で解析できる Hilbert-Huang 変換を、神岡レーザー伸縮計データの解析に取り入れることを本研究の第一の目的とした。

Hilbert-Huang 変換を用いたデータ解析法は、まだ行われている例が非常に少ないため、本研究では、データ解析工程の設計からコード開発を重点的に行なった。

今後の課題としては、実データに適用する事により起こりうる問題を洗い出し、その問題解決に対する手法を開発して行く事に重点を移して行く。具体的には、開発したコードを用いて、レーザー伸縮計のシミュレートデータを用いた解析コードの妥当性の評価や、レーザー伸縮計のデータを実際に用いての統計処理方法の研究等を順次進める予定である。さらには、世界の地震観測ネットワークに貢献し、本研究の大きな目的を達成したい。

7. 研究実績報告（公表された成果のリスト*¹または 2000～3000 字の報告書）

(*¹論文タイトル、雑誌・学会・セミナー等の名称、謝辞への記載の有無、ポイント数、電子ファイル添付のこと)

材料損傷検出や生体モニタリングの分野において用いられている Hilbert-Huang 変換は、時系列データの解析手法の新しいアプローチであり、この変換は、固定された基底セットをデータに課さない適応型の時間-周波数分解を用いるため、フーリエ変換やウェーブレット変換などに比べ、高い周波数分解能をもつことが知られている。この手法は、レーザー伸縮系などのデータが示す、突発的な振る舞いや非線形な振る舞いを調べるのに有効な方法である。

そこで、本研究では、神岡レーザー伸縮計データの解析に取り入れることを第一の目的とし、Hilbert-Huang 変換を用いたデータ解析工程の設計からコード開発に重点をおき進めた。

Hilbert-Huang 変換を用いたデータ解析工程は、大きく分けて以下の経験的モード分解 (EMD; Empirical Mode Decomposition) を行う部分、および、Instantaneous Frequency と Instantaneous Amplitude を求める部分の 2 つのステップで構成しコードの開発を進めた。

A. Empirical Mode Decomposition

経験的モード分解 (EMD; Empirical Mode Decomposition) は、時系列データを固有モード関数 (IMF; Intrinsic Mode Function) と呼ばれる狭帯域の信号の和に分解する手法である [1][2]。EMD は、信号 $s(t)$ を

$$s(t) = \sum_{i=0}^N c_i(t) + r(t) \quad (1)$$

のように、IMF と呼ばれる狭帯域かつトレンド成分を持たない信号 $c_i(t)$ とトレンド成分 $r(t)$ に分解する。このとき、 $c_i(t)$ は信号を構成する信号成分の周波数帯域に対応し、添字 i の小さいものほど高周波数帯域の信号成分に対応する。

EMD 分解を行う際、信号が狭帯域かつトレンド成分を持たないことの基準を、

- 信号の極値の数が零交差数と同じであるか、その差が 1 であること
 - 信号の極大値を結ぶエンベロープと、極小値を結ぶエンベロープの平均値が、任意の点において 0 であること
- と定義する。

データ $u(t)$ から IMF は下記のように求めることができる [a]。

- IMF の添字の集合 $I = \phi$ (空集合) とおく。
- $\left(u - \sum_{i \in I} c_i \right)$ の極値がなくなるまで下記を繰り返す。
 - $h = u - \sum_{i \in I} c_i$ とおく。
 - h が IMF になるまで下記の作業をくり返す。
 - 極大値、極小値を探し出し、それぞれを三次のスプライン曲線で結び包絡線を求める。
 m, l をそれぞれの包絡線とする。
 - $h \leftarrow h - 1/2(m+l)$ とする。
 - h を IMF の集合に加える。

IMF は、高周波の成分から順に求まり、最後に残った信号 $r(t)$ は最も低い周波数を持つ。

このプロセスを具体的に、図 1 に示す。図 1 は、ある時系列データ $u(t)$ を、4 つの IMF $c_1(t)-c_4(t)$ に分解した事を示している。

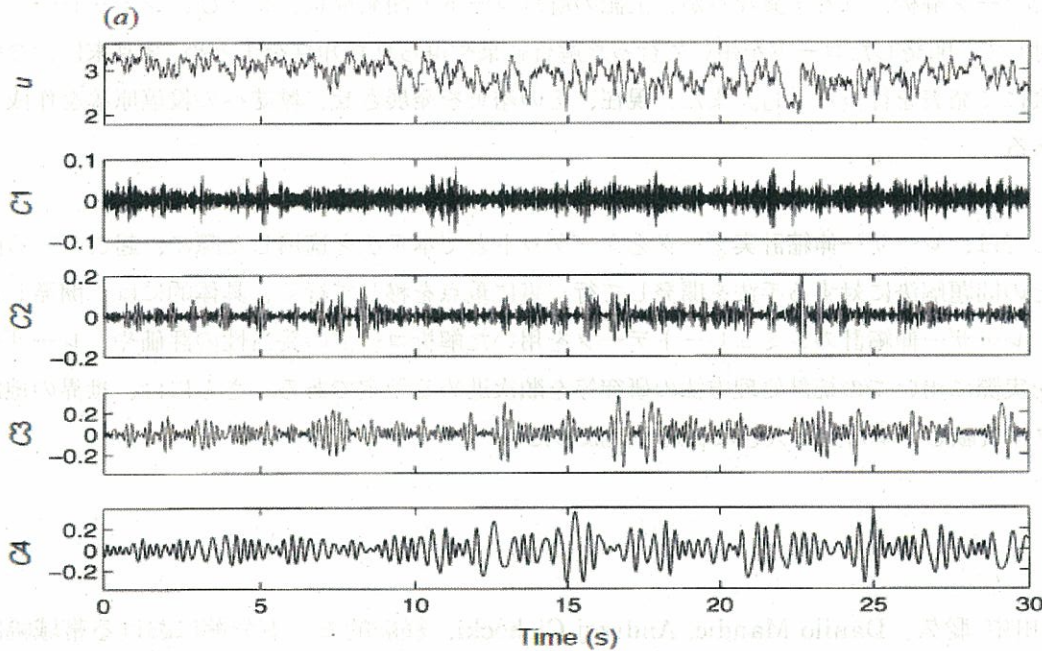


図 1. 時系列データ $u(t)$ を 4 つの IMF $c_1(t)-c_4(t)$ に分解した例。参考文献 [b] より引用。

B. Instantaneous Frequency and Instantaneous Amplitude

ある時刻において、単一の周波数しか持たない信号に対し、Hilbert 変換を用いて振幅と位相を表現することが出来る。単一の周波数を持つ信号 $x(t)$ に対し、Hilbert 変換 $y(t)$ は、

$$y(t) = \frac{1}{\pi} P \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x(t')}{t-t'} dt' \quad (2)$$

で定義される。ここで P は Cauchy の主値である。複素信号 $z(t)$ を

$$z(t) = x(t) + iy(t) = a(t)e^{i\theta(t)} \quad (3)$$

とするとき、振幅 $a(t)$ と位相 $\theta(t)$ は、 $a(t) = |z(t)|$, $\theta(t) = \arg(z(t))$ で表され、時刻 $t = t'$ での Instantaneous Frequency (IF) $\omega(t')$ および Instantaneous Amplitude (IA) $a(t')$ は、

$$\omega(t') = \left. \frac{d\theta(t)}{dt} \right|_{t=t'}, \quad a(t') = a(t) \Big|_{t=t'} \quad (4)$$

で表すことができる。IMF $c_j(t)$ ($j=1, \dots, N$) に対応する IA、IF をそれぞれ a_j, ω_j とおくと、

$$x(t) = \sum_{j=1}^N c_j(t) + r(t) = \text{Re} \left[\sum_{j=1}^N a_j(t) \exp(i \int \omega_j(t) dt) \right] + r(t) \quad (5)$$

と表される。

本研究では、以上の A,B のステップに対応した解析工程の設計からコード開発を重点的に行い、ほぼ完了した。

しかし、いくつかテクニカルな問題点を発見し、現在解決に向けて研究を進めているところである。その一例としてあげられるのは、経験的モード分解 (EMD) を行う際に、極大値、極小値を探し出し、それぞれを三次のスプライン曲線で結び包絡線を求める作業をしているが、信号 $s(t)$ の変動が激しい場合などには Instantaneous Frequency $\omega(t')$ が負になるなどの問題がある。従って、レーザー伸縮計のデータを扱

う際に、三次のスプラインを用いるのが適当なのか、それとも他の補完法を用いるのが適当なのかどうか検討する必要がある。

レーザー伸縮計データ解析とは若干異なるが、上記の解析コードの開発現状、および、シミュレートした重力波信号に対して、開発したコードを用いて行った解析結果や得られた知見をまとめ、3月末に行なわれた日本物理学会にて発表を行った [1]。また、現在、その結果を発展させ、雑誌への投稿原稿を作成しているところである。

今後の課題としては、レーザー伸縮計実データをターゲットとして本手法を適用した際に、起こりうる問題を洗い出し、その問題解決に対する手法を開発して行く事に重点を移して行く。具体的には、開発したコードを用いて、レーザー伸縮計のシミュレートデータを用いた解析コードの妥当性の評価や、レーザー伸縮計のデータを実際に用いての統計処理方法の研究等を順次進める予定である。さらには、世界の地震観測ネットワークに貢献し、本研究の大きな目的を達成したい。

参考文献

[a] 鷺沢 嘉一、田中 聡久、Danilo Mandic, Andrzej Cichocki, 経験的モード分解における帯域幅制御、第 21 回信号処理シンポジウム 講演論文集、A9-4 (2006).

[b] N. Huang, et al., Proc. Roy. Soc. Lond. **454**, 903 (1998).

学会発表

[1] 平沼悠太、齊藤真、齋藤眞朋、大原謙一、高橋弘毅、「Hilbert-Huang 変換を用いた重力波解析の検討」、日本物理学会第 65 回年次大会 (岡山大学) (謝辞への記載なし、2 ポイント)