

氏 名	渡部 伸一
学位（専攻分野）	博士（統計科学）
学位記番号	総研大甲第 854 号
学位授与の日付	平成 17 年 3 月 24 日
学位授与の要件	複合科学研究科 統計科学専攻 学位規則第 6 条第 1 項該当
学位論文題目	Principal Component Analysis and Local Regression Analysis on Acoustic Logging Data
論文審査員	主 査 教授 中野 純司 教授 江口 真透 助教授 南 美穂子 助教授 藤澤 洋徳 教授 在原 典男（早稲田大学）

## 論文内容の要旨

In the oil/gas related geophysical processing domains we deal with data obtained mainly from geophysical measurements that are utilized to find evidence of hydrocarbon in the underground. For such data various analysis methods are applied and new processing techniques are also attempted in our industry domain.

This thesis focuses on statistical approaches to mainly single-well acoustic imaging data for (1) analyzing characteristics of these data and (2) denoising. Single-well acoustic imaging is a generic name to imply both data acquisition by hardware and data processing by software in order for delineating geological structural features or subsurface bedding boundaries in the vicinity of wellbores.

Chapter 1 is intended to introduce background of single-well acoustic imaging and notations. This includes introducing sonic logging tool and concepts of single-well acoustic imaging. Our target data domain is also defined. The importance of single-well acoustic imaging is explained in terms of a resolution gap that lies in between seismic method and borehole logs. Key oilfield related terminologies are described for self-completeness.

Chapter 2 attempts to study Principal Component Analysis (PCA) and its related techniques such as PCA on-line and local PCA. We studied these techniques on both synthetic and single-well acoustic data to observe functional features. Specifically we use local PCA for migrated images from single-well acoustic data and found that crisscross like patterns or annoying noises on the migrated images are effectively eliminated.

The core methodology of this thesis, local likelihood regression, appears in Chapter 3. We intend to (1) formulate our model and estimation methods; and to (2) present their applicability to single-well acoustic data. Therefore, we first formulate the local regression model, whose predictor variable is a scalar and response variables have a vector shape, in the 2-d (space, time) domain. An optimal parameter selection is also dealt. In our model we consider polynomial models up to the cubic order. In order to measure the performance of model fitting we introduce the leave-one-out cross validation (CV) criteria. Then we apply our local regression model to the real data and present estimate results. The use of CV is attempted to identify an optimal parameter, which defines a degree of locality in the selected model. This single bandwidth selection is then extended to multiple bandwidth selection that takes into account the variant locality over the time domain. Our results demonstrate that the

applied method successfully achieved: (1) identification of continuous reflectors, and (2) suppression of random noise in the data processed.

In Chapter 4 local approaches are attempted in another geophysical analysis domain. It is spatial interpolation named kriging. Both local constant and local linear regressions are considered between a scalar predictor variable and scalar response variable. This Chapter concentrates on the semi-variogram cloud from the porosity data with local regression approaches. This cloud indicates the dissimilarities against the spatial separation of sample pairs and is important when determining a sequence of average dissimilarities over the lateral direction. Normally this sequence is fitted with a theoretical curve, however this process may be practically difficult because a wrong model selection falls away from key features embraced by the original data. This local regression approach facilitates easy computation for forming an appropriate sequence of average dissimilarities with no worry about selecting an optimal model from theoretical models such as exponential, Gaussian, spherical and so on. We have demonstrated that the local regression approach produces reasonable kriged maps under an optimal locality and regression model.

Lastly conclusive remarks are stated in Conclusion. Single-well acoustic imaging is still emerging technology. On this technically new field what we have contributed can be re-phrased as follows:

- Local analysis of PCA is found to be effective for removing crisscross like patterns on migrated images from single-well acoustic imaging.
- Local regression approach is introduced on the single-well acoustic data mainly for denoising.
- The vector-valued response variable is considered for a scalar predictor in the local regression approach.
- Visualization of local regression results is made.
- The bandwidth selection is made along the depth axis.
- The cross validation is used for selecting an optimal bandwidth.
- Multiple bandwidth selection is proposed by additionally taking account for the time axis.

Generated Matlab codes are listed in this thesis.

## 論文の審査結果の要旨

本審査委員会は渡部伸一君の博士申請論文の審査を行った。

### 1. 論文の概要および貢献点

渡部君により提出された博士論文は5章からなる。

第1章では、物理検層の一つである音波検層データに関するデータ解析の問題意識と目的について、本論文の構成と数学的な記号の準備が与えられる。

第2章では、主成分分析のアプローチから地層の音波検層データが解析される。そして地層ごとの情報を有効に取り出すために、局所主成分分析を提案している。これは観測点の深さ  $d$  に対して重み関数  $K(\cdot, d)$  を定義して、それを用いて計算した共分散を用いるものである。2, 3 の数値実験でその基本的な性質が調べられ、それによって得られた知見の下で、実際の坑井の音波検層データに対してそれを適用し解析結果を得ている。その結果、この方法の利点と限界について興味深い知見が得られた。この結果は、次章へ進む動機を与えている。

第3章は、観測点の深さに対する多項式回帰モデルを基本的に考える。これは2章で行った局所主成分のアプローチが地層毎の局所的な情報を取り出すことに対しては必ずしもシャープな結果を生まなかったことが動機となっている。すなわち、局所主成分分析に必要な中心化のために、求められた局所平均ベクトルが、地層の深さ  $d$  に対して柔軟に推定され、局所構造が既に局所平均ベクトルによって把握されていること、また、この局所平均ベクトルは形式的には、Nadaraya-Watson 推定量に一致していることが判明した。これにより、多項式回帰モデルを局所的に適用しモデルフィッティングを行うことが示唆された。そして、この手法がより明確に地層の情報を表示できることが示された。さらに、深さだけではなく、時間に関しても局所化を行う手法が提案され、それにより、さらに明確に情報提示がなされること、時間に関するバンド幅が有用な情報を与えることが示された。

第4章では、クリギングの問題についても局所尤度法を適用することが提案される。そして、実データへの適用を通して、その利点および欠点が検討された。

第5章では、主成分分析、多項式回帰分析の局所化の手法による音波検層データの解析方法としての有効性が論じられる。

なお、本論文の内容は1編の英文論文として発表されている。

### 2. 審議結果

本論文の主要な貢献は、「局所尤度」という統計的な方法論を音波検層データ解析に適用し、総合的な見地から、重み関数  $K(\cdot, d)$  のバンド幅のベクトル選択など幾つかの局所尤度の改良が提案され、その有効性が示されたことである。これは統計学に深く関連する重要な問題にチャレンジし、顕著な結果を得たものと評価される。したがって審査委員会は、本論文が複合科学研究科における博士授与の基準に十分達していると判断した。