

学 位 論 文 題 名

# Robust and Exploratory Analysis of Active Mesoscale Tectonic Zones in Japan Utilizing the Nationwide GPS Array

（日本列島 GPS 観測網による中規模活構造帯の  
ロバスト・探索的データ解析）

## 学位論文内容の要旨

A monitoring GPS array recently developed in Japan can yield nationwide maps of active inland tectonic zones (ATZs) or concentrated deformation zones on a mesoscale, approximately 70 to several hundred kilometres in lateral extent. But it has been difficult to characterize ATZs in Japan, as they are in fact operational on multiple scales and our efforts are often hindered by various irregularities in the data. The key to overcome these problems would be to gain as much insight into the available data before any precise kinematic modelling is being performed with indefinite assumptions. In this study, velocity fields, deduced from the nationwide GPS array, were treated with robust smoothing and exploratory data analysis that brought out exceptionally powerful mesoscale ATZs, and made them easier to characterize. The resolved ATZs were then retrospectively monitored to study their regional and temporal variations, with a set of 840 observation stations, approximately 30km apart, for a four-year series of fixed observation time-intervals, 810 days each. Elucidating the geometry of inland ATZs and characterizing them would help improve not only the design of monitoring GPS network, but also tectonic modelling hence the understanding of both intra- and inter-plate tectonics.

The smoothing operation involved three steps: (1) imputation of the velocity fields for the purpose of anti-aliasing, (2) robust smoothing the velocity fields with the median operative, (3) visualization of deformation-rate distributions in several alternative and conventional coordinate independent parameters, and post-filtering. The geometrical resolvability of mesoscale ATZs was confirmed by calibrating the smoothing scheme against synthetic tectonic boundary models before it was applied to the case study in Japan.

ATZs in Japan, which are essentially visible as systematic deviations in the horizontal velocity fields on the International Terrestrial Reference Frame (ITRF) and as strain rate anomalies, were highlighted sharply along some known tectonic zones, chains of active volcanoes, and areas above low seismic velocity anomalies in the crust and upper mantle, all of which generally paralleled the offshore trench axes. The geometrical agreements among the mapped ATZs and the physical anomalies in the crust are presumably due to their common structural weakness on the mesoscale. In the four main islands of Japan, all but 30-40 percent of the strain rate anomalies persisted during the entire six years of the case study period, while the rest sporadically appeared or disappeared in a period from several months to a few years. The transient shifts in the deformation rates were remarkably synchronous with some nearby major tectonic episodes: large earthquakes and slow events. Differential plate coupling strengths along the subduction zones can also be inferred from the persistent pattern of rotational strain rate anomalies forming clockwise and counter-clockwise pairs along the Pacific.

Our empirical observations, with the enhanced views of deformation rate anomalies, suggest that the first-order features of interseismic crustal deformations in Japan can be characterized as collateral processes behaving in response to fluctuations of the tectonic stresses on multiple scales, likely influenced by changes of plate coupling strengths on the contiguous subduction faults.

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 笠 原 稔

副 査 教 授 小 山 順 二

副 査 教 授 日 置 幸 介

## 学 位 論 文 題 名

### Robust and Exploratory Analysis of Active Mesoscale Tectonic Zones in Japan Utilizing the Nationwide GPS Array

(日本列島 GPS 観測網による中規模活構造帯の  
ロバスト・探索的データ解析)

近年、国土地理院により、1995 年以降日本列島全体に展開された GPS 観測網のデータを用いて、日本列島の変動に関する研究は盛んに行われている。しかしながら、その多くは、データ処理に際して時間的・空間的分布の不完全性を内包したままであり、結果に関していくつかの問題点が指摘されていた。本論文では、ロバスト・探索的データ解析を採用して、時間的・空間的補間を実行して、可能な限り一様な現在進行形の日本列島の変位場・ひずみ場を求め、そこから日本列島の中規模以上の活構造帯の位置の確定とその時間変化を明らかにすることを目的とした。

この論文では、国土地理院により日本列島に、1996 年以降、約 1000 点展開された GPS 観測網 (GEONET) による、2003 年 9 月 26 日十勝沖地震までの 6 年間のデータを用いて、日本列島の中規模スケールの活構造帯の抽出を目的とした。まず、時系列データから永年変化分を取り出すために、原データから季節変化と地震や火山活動などによるステップ状の変化を推定し取り除き、さらに、永年変動の時間変化を検討するために、変位速度・変位加速度変化を考慮し、それぞれの時間変動を得た。続いて、観測点密度の不均質をカバーするために、空間的な補間を行う際に、ロバストで探索的なデータ解析手法、中央値による補間、を用い、従来の平均値による補間とは異なる部分的な異常値に影響されにくい方法を採用して、日本列島全体の空間的地殻変動パターンを描き出した。この際には、仮不動点法による変位ベクトルの決定は行わず、汎世界座標系 (ITRF2000) による日本列島の変位ベクトル場を求めた。この方法により、仮不動点の持つあいまいさに影響されない、空間全体として均質な変位分布がえられた。ここでいう活構造帯とは、変位場の急変部として定義できるが、その変化の仕方には伸縮変化と回転変化があり、それぞれの変化率を半径 35km の空間内で数値化を行い、日本列島全体にわたって、20km のグリッド上

での分布図を描くことにより、変動のおおきな場所を見事に示すことに成功している。これを基にした歪み解析結果は、現在、もっともゆがみの少ない歪み変動パターンを示すことになる。歪み場を用いることにより、日本列島内部の中規模以上（70km～1000km）の活構造帯の分布と同時にその特徴を明瞭に示すことに成功している。この結果、従来から知られている構造帯の現在の変動の特徴とその時間変化を明らかにすることができたとともに、過去の変動帯として明瞭でない地域の変動帯も見出され、これらは微小地震活動と密接な関係があることを指摘している。このように、非常に新しい変動帯の発見にも貢献でき、現在進行形の4次元的地殻変動を明らかにできる手法であることを示した。さらに、日本列島のプレートの沈み込みの影響を受けた特徴的な変動パターンを西南日本・東北日本・北海道において見出している。同時に、この期間中に発生した鳥取県西部地震の前後で、日本列島の南西部の圧縮場から伸張場への変化を見事に抽出できている。この手法は、時間的・空間的に不均質なデータからの広域的な特徴を引き出す手法としてほかのデータへの適用も可能で、新たなデータ解析手法の一つとしても注目される。

これを要するに、著者は、観測データの不均一な分布からでも、ロバストで探索的なデータ解析手法を用いることにより、可能な限り一様な変動パターンを抽出する新たな知見を得たものであり、空間的な広がりを持つGPS観測網を用いることにより、変動の時間変化も視野に入れた4次元的地殻変動を明らかにする手法を提示できた。この方法は、日本列島の地球ダイナミクス研究に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士（理学）の学位を授与される資格あるものと認める。