

(続紙 1)

京都大学	博 士（理 学）	氏名	Viana Poveda Brossard
論文題目	Spatiotemporal and Spectral Characteristics of Marine Microseisms in the Caribbean (カリブ海における海洋性脈動の時空間的およびスペクトル的特性)		
(論文内容の要旨)			
Ocean microseisms are continuous seismic background oscillations produced through interactions between the atmosphere, the oceanic waves and the Solid Earth. They dominate the ambient seismic wavefield from 1 to 20 s and can be categorized as primary microseisms (PM), from 10 to 20 s, and secondary microseisms (SM), from 1 to 10 s. The study of microseisms is important for understanding their occurrence mechanisms and improving the ambient noise analyses of crustal structure. Although the characteristics of microseisms are well documented for open oceanic regions with relatively strong microseism sources, the characteristics of ocean microseisms around Cuba have not been explored before. Moreover, microseism activity in semi-enclosed seas (e.g., the Caribbean Sea) has been analyzed only to a limited extent. The current thesis contributes to addressing this research gap by analyzing broadband seismic data in Cuba and neighboring regions in the years 2020 and 2021. Chapter 1 of the thesis is an introduction into the topic of ocean microseisms and their generation mechanism and explains the motivation of the study. Chapter 2 presents the spectral characteristics of microseisms by using power spectral density (PSD) estimations at 13 broadband seismic stations in Cuba. The most notable finding relates to the observation of consistent, albeit relatively weak seasonal variations of microseism intensity. The results indicate a slight increase of PSD levels during the dry season compared to the wet season. In addition, atmospheric disturbances (hurricanes) are found to have only a limited effect on the PSDs. Chapter 3 presents polarization analysis results obtained using data from 25 broadband seismic stations in the Caribbean Sea region. The analysis focuses on both Rayleigh and P waves to investigate the direction from which the SM energy is originating, at three period ranges: 1–2 s, 2–4 s, and 4–8 s. The findings show different directional patterns among the analyzed stations, depending on their location, wave type and wave frequency. For example, the Rayleigh waves at periods of 1–2 s show a strong directionality of sources, while the direction changes with station location for the Rayleigh wave SM sources, at periods in the range of 2–4 s. The P-wave SM sources at periods of 4–8 s show a strong seasonality for most stations in Cuba, reflecting sources originating from the north and south, corresponding to the local winter of the northern and southern hemispheres, respectively. To validate the seasonal and directional variability of microseisms energy, the seismic noise for the Caribbean, estimated from an ocean wave model, is compared with the results obtained in this study from the polarization analysis. The polarization results show a good agreement with the model estimations. Chapter 4 presents a new approach to locate the microseism sources based on their directionality inferred from the polarization analysis and circular statistics. The new method is applied to locate microseism sources excited by hurricane Isaias in 2020. The trajectory of the hurricane agrees with the excited microseism sources at the beginning and end of the hurricane passage nearby Cuba. Chapter 5 presents a general discussion of the main findings of the thesis, as well as directions for future research. It also discusses in detail the uncertainties involved in the microseism source direction estimation and the dispersion of backazimuth values determined by the polarization analysis relative to the yearly mean values. Chapter 6 presents concluding remarks on the performed analysis and the main results of the thesis.			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、広帯域地震観測データを用いた、初めてのキューバ周辺における海洋性脈動の詳細な研究である。また、半閉鎖海における海洋性脈動の特性を分析した数少ない研究の一つでもある。本論文は6章からなる。第1章は序論であり、海洋波浪起源の背景地振動である海洋性脈動に関する既往の観測事実とその励起メカニズムが概観されている。第2章、第3章、第4章では、著者の研究結果が示されており、第5章では、現在の研究の新規性と限界、今後の研究計画を含む一般的な議論が展開されている。論文の主な結論は第6章にまとめられている。

第2章では、キューバ周辺の海洋性脈動のスペクトル特性が紹介されている。著者は、キューバの12の地震観測所で記録された地震データを用いて、統計的検定を含む解析を行っている。乾季と雨季を比較した際に、乾季においてパワースペクトル密度 (PSD) がわずかに増加することを示した。さらに、大気擾乱 (ハリケーン) はPSDに限定的な影響しか与えないことを明らかにした。季節変動の統計的有意性を検証する際、乾季と雨季の差は明確ではないが、分析対象のキューバの地震観測所の多くの観測点で同様の差が確認されたため、季節変動は弱い信頼性が高い結果であると結論付けられている。

第3章では、カリブ海における二次的海洋性脈動源の入射方位角依存性を、レイリー波とP波の両方について、振動方向解析に基づいて議論している。著者は25点の広帯域観測データを使用し、脈動の振動方向特性を、3つの特徴的な周期範囲 (1-2秒、2-4秒、4-8秒) に分類している。多くの観測点は、1-2秒と2-4秒の周期において、レイリー波の入射方位角度分布について強い方向性を示している。4-8秒の周期範囲における入射方位角分布の方向性は、より均一に分布を示している。1-2秒の周期範囲におけるP波脈動の入射方位角依存性については、同じ周期範囲のレイリー波と同様のパターンを示しているが、方向性の強度はより低くなっている。2-4秒の周期範囲では、脈動源はより広範な領域に分布しているが、依然として入射方位角依存性には強い方向性がある。4-8秒の周期範囲では、キューバのほとんどの観測点で脈動P波の入射方位角分布は強い季節変動を示し、北半球と南半球の現地の冬に対応する遠地の脈動源を反映していると考えられる。

第4章では、新たな海洋性脈動の励起源分布の推定方法を提案している。この手法では、複数観測点での振動方向解析と円統計から、最尤法を用いて脈動源の位置を推定している。開発した手法を、2020年のハリケーン・イサイアスによって励起された海洋性脈動に適用した結果、ハリケーンの進路と海洋性脈動源の位置の間に強い関係性があり、特にキューバ近郊の通過開始時と終了時に一致が見られることを明らかにした。最大尤度位置の信頼区間およびブートストラップ法を用いて、震源位置の不確実性を推定している。振動方向解析によって推定された入射方位角分布が、強い方向性を持たず広範囲に分布している場合、推定された励起源が観測点から遠く離れている場合だけでなく、観測点近傍に位置する場合においても不確かさが大きくなることも明らかとなった。

以上のように、本論文で提示された研究結果は、カリブ海地域、特にキューバ周辺における海洋性脈動の励起特性の理解に貴重な貢献をしている。本論文の成果は、今後期待される海洋性脈動を用いたキューバとその周辺における地殻構造探査にも有用である。さらに、本論文は海洋性脈動源の位置特定のための新しい手法を導入しており、将来的な改善が加えられれば、この分野の研究における新たな解析手法となる可能性がある。

よって、本論文は博士 (理学) の学位論文として価値あるものと認める。令和7年7月28日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。