



Title	Study on Generation Mechanism of Rogue Wave Phenomenon in Optical Fiber Based on Soliton's Eigenvalue
Author(s)	Weerasekara, R.W.M.G.K.B.
Citation	大阪大学, 2017, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/61750
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名	(RAMBUKWELLE WEERASEKARA MUDIYANSELAGE GIHAN KANISHKA BANDARA WEERASEKARA)
論文題名	Study on Generation Mechanism of Rogue Wave Phenomenon in Optical Fiber Based on Soliton's Eigenvalue (ソリトンの固有値解析に基づく光ファイバ中におけるローグウェーブ現象の発生機構に関する研究)
論文内容の要旨	
<p>Randomly generated extraordinary amplitude nonlinear wave in fluid dynamics can be characterized by rogue waves. An optical analog of oceanic rogue waves, so-called optical rogue waves, were firstly observed inside optical fibers in 2007. Since the publication of a pioneering paper by Solli <i>et al.</i> in 2007, investigations of optical rogue waves have become increasingly common and have formed the basis for a new subfield in optics. In practical situations, large undesired fluctuations have been found in case of generating optical rogue waves, which are quite difficult to suppress using external means. Optical rogue waves are characterized by their “L-shaped” statistics, reflecting the fact that most waves have low amplitudes, but high-amplitude waves can also form with low probability.</p> <p>Because of the nonlinear process called modulational instability (MI), a perturbed continuous wave (CW) is divided into a pulse train containing higher-order solitons while propagating inside anomalous dispersion fiber. Moreover, when third-order dispersion (TOD) exists, generated higher-order solitons split into quasi-solitons, which correspond to the multiple eigenvalues of the higher-order soliton and dispersive waves. Quantitative description has been undertaken in this study for generating optical rogue waves from soliton collision and fusion.</p> <p>This dissertation presents a study of optical rogue wave phenomena generated in optical fiber using soliton's eigenvalues. The thesis contents are based on research the author conducted during a doctoral course at the Department of Electrical, Electronic and Information Engineering, Osaka University, Japan. This dissertation is organized as explained below.</p> <p>Chapter 1 presents a general introduction of the dissertation, with explanation of the background and the purpose of this study. In recent years, research on rogue wave has been conducted actively in various fields including light waves other than hydrodynamic context. In this framework, the motivation of this work is clarified. The aim of the research is also explained.</p> <p>In Chapter 2, the fundamental concepts related to optical rogue waves are presented. Concepts of optical solitons such as fundamental and higher-order soliton solutions are discussed at the beginning of this chapter. MI is discussed as a main nonlinear phenomenon initiating optical rare and strong events inside optical fiber. Soliton fission, fusion, and collision processes are described to inspire ideas of such concepts. An eigenvalue equation associated with nonlinear Schrödinger equation (NLSE) is discussed as an evaluation method for optical rogue wave generation.</p> <p>Chapter 3 is devoted to characterization of optical rogue waves for an NLSE-based model. After brief discussion of the generation of optical rogue waves in the NLSE-based model, effects of TOD for optical rogue wave generation are demonstrated numerically. The optical rogue wave generation mechanism for the NLSE-based model is evaluated by using the eigenvalues of the solitons. Finally, the stability of solitons against TOD is demonstrated numerically as a proof-of-evaluation.</p> <p>In Chapter 4, soliton collision generated optical rogue waves for a higher-order NLSE (HNLSE) based model is demonstrated. TOD can be considered within an integrable framework for this model. An eigenvalue equation associated with HNLSE is solved to evaluate the soliton collision behavior. Numerical demonstrations of the effects of TOD on optical rogue wave generation for the HNLSE-based model are conducted using the achieved numerical peak power calculations and eigenvalue evaluations. Generation mechanisms of optical rogue waves for a wider TOD parameter range are demonstrated for the HNLSE-based model. Numerical demonstrations of</p>	

the stability of solitons for the HNLSE-based model are conducted at the end of this chapter. Chapter 5 examines the concept of soliton fusion phenomenon and discusses the dependency on the initial soliton pulse parameters. After introducing the fundamental concepts, the effects of temporal spacing and frequency separation for soliton fusion are demonstrated. Next, the effects of frequency separation and phase difference for soliton fusion are demonstrated. Fusion events for different soliton parameters are presented to inspire brief ideas. The authenticity assessment of numerical simulation results is discussed before the conclusion. Finally, the achieved soliton parameter range for soliton fusion phenomena is summarized.

Finally, Chapter 6 presents conclusions reached from the results and implications of the entire thesis, with a summary of all results.

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (Rambukwelle Weerasekara Mudiyansele Gihan Kanishka Bandara Weerasekara)			
論文審査担当者	(職)	氏	名
	主 査	教授	丸田 章博
	副 査	教授	井上 恭
	副 査	准教授	牛尾 知雄
	副 査	教授	滝根 哲哉
	副 査	教授	馬場口 登
	副 査	教授	三瓶 政一
	副 査	教授	宮地 充子
	副 査	教授	鷲尾 隆

論文審査の結果の要旨

異常に振幅の大きな孤立波が稀に発生し、大洋を航行中の船舶に大きな損傷を与える現象が観測されており、ログウェーブ現象と呼ばれている。これは海洋波動の非線形性に起因する現象であり、2007 年には、スーパーコンティニューム光の発生実験に際して、光ファイバ中においても同様の現象が発生することが報告された。その後、光ファイバ中で発生するログウェーブ現象についての実験的観測や数値シミュレーションによる発生機構の予測などがなされたが、発生機構の理論的解明には至っていなかった。本学位論文は、可積分な非線形偏微分方程式の初期値問題の厳密解法である逆散乱変換での、散乱の順問題を解く際に用いられる随伴固有値方程式の固有値を調べることで、ソリトン衝突やソリトン融合現象がログウェーブの発生機構であることを理論的に明らかにしている。

本論文では、可積分な非線形偏微分方程式の随伴固有値方程式の固有値に基づく、ログウェーブの発生機構の理論的解明に関して得られた三つの研究成果をまとめている。

- (1) 三次分散を表す項を加えた非線形シュレディンガー方程式は可積分ではないが、三次分散の係数が十分小さいとして、近似的に可積分な方程式と見なし、その随伴固有値方程式の固有値を調べることで、持続時間の短いログウェーブがほぼ値の等しい二つのソリトンの衝突によって発生することを示している。また、ソリトン衝突によってログウェーブが発生する三次分散の係数の大きさを調べ、その範囲は三次分散の影響がある場合のソリトンの安定性に関わっていることを数値シミュレーションによって示している。
- (2) 三次分散を表す項と、それとバランスする非線形項を含む可積分な高次の非線形シュレディンガー方程式が知られている。この可積分な方程式の随伴固有値方程式の固有値を調べることで、持続時間の短いログウェーブがほぼ値の等しい二つのソリトンの衝突によって発生することを示している。この場合、可積分な方程式に基づいて解析を行っているので、(1) の結果に比べて三次分散の係数の大きさが約 5 倍の範囲までログウェーブの発生機構を説明することができている。
- (3) スーパーコンティニューム光発生の数値シミュレーションにおいて、その振幅が非常に大きく、かつ、長時間にわたって安定に伝搬するログウェーブが観測されている。これは、振幅の小さなソリトンが次々と融合する現象、すなわち、ソリトン融合現象によって発生したものと考えられる。非線形シュレディンガー方

程式の随伴固有値方程式の固有値を調べることで、2つの隣接したソリトン状のパルスの間隔、周波数差、位相差がソリトン融合にどのように影響するのかについて詳細に調査している。

以上のように、本論文は可積分な非線形偏微分方程式の初期値問題の厳密解法である逆散乱変換での、散乱の順問題を解く際に用いられる随伴固有値方程式の固有値を調べることで、ソリトン衝突やソリトン融合現象がローグウェーブの発生機構であることを理論的に明らかにしている。これらの成果は大容量光ファイバ通信システムや高出力光ファイバ応用装置の発展に大きく貢献するものであり、工学的な見地から非常に意義が深い。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。