OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Many Faces of Defects in Conformal Field Theories
Author(s)	嶋守, 聡一郎
Citation	大阪大学, 2026, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/105635
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

様式３

論　文　内　容　の　要　旨

氏　名　（　嶋守　聡一郎　）	
論文題名	Many Faces of Defects in Conformal Field Theories (共形場理論における欠陥の諸相)

論文内容の要旨

本論文は、共形場理論（Conformal Field Theory; CFT）における様々な種類の欠陥（defect）の物理的・数理的構造を体系的に研究し、その動力学的性質および普遍的振る舞いを明らかにすることを目的とする。CFT は臨界現象を記述する普遍的枠組みとして重要であるが、実在の物理系には不純物、境界、界面など並進対称性を破る構造が不可避に存在する。これらは欠陥と総称され、赤外極限において新たな普遍性や非自明な臨界挙動をもたらすことが知られている。

第1章では、均一な CFT の基礎から出発し、欠陥の導入によって現れる対称性の破れの構造、演算子スペクトラム、相関関数の制約条件などを一般的にレビューする。以降の章で用いる理論的枠組みと記法を明確にし、欠陥 CFT の基本構造を概説する。

第2章では、$d=4-\epsilon$ 次元における$O(N)$ベクトル模型中の線欠陥を解析し、臨界点における欠陥 CFT データの決定を行う。Wilson-Fisher 固定点において、線欠陥は共形対称性を$SL(2,R)\times SO(d-1)\times O(N-1)$に破り、非自明な欠陥局所演算子を生じる。本研究では Rychkov–Tan による公理的手法と欠陥演算子展開を組み合わせることで、欠陥共形対称性およびバルクのダイナミクスのみから臨界欠陥結合定数が一意に定まることを示した。さらに相関関数の解析性を用いて複合演算子を含む欠陥演算子の異常次元を導出し、従来の摂動計算と完全に一致する結果を得た。

第3章では、低次元部分空間に局在した quenched disorder によって生成される新しいクラスの欠陥を導入する。赤外理論が共形対称性を保つと仮定し、欠陥局所演算子が対数的表現を成す「対数共形欠陥」の一般的枠組みを構築した。対称性と表現論のみに基づき、相関関数、共形ブロック分解、対数的欠陥演算子展開の一般構造を導出した。自由スカラー場および$O(N)$ 模型への応用から、余次元2の欠陥において非自明な対数共形欠陥が実現し、変位演算子や傾き演算子が対数多重項を形成することを示した。

第4章では、欠陥がさらに低次元の欠陥を内包する複合欠陥 CFT を導入し、その一般理論を構築する。残った共形対称性、相関関数、演算子展開および共形ブロックの構造を明確にし、従来のwedge CFTを任意余次元へ拡張した。さらに$d=3-\epsilon$ 次元の$O(N)$ベクトル模型において、面欠陥と線欠陥が同時に非自明な赤外固定点へ流れる具体模型を構成した。バルクが自由理論であっても、局在した繰り込み群流の相互作用により共形複合欠陥が創発することを示し、複数の対称・対称性破れ固定点を同定した。さらに、これらの繰り込み群流はdefect C定理と無矛盾であることも確認した。

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名	（　嶋守　聡一郎　）	
論文審査担当者	（職）	氏　名
	主査　教授	西岡 辰磨
	副査　教授	大野木 哲也
	副査　教授	黒木 和彦
	副査　准教授	山口 哲
	副査　助教	後藤 郁夏人

論文審査の結果の要旨

博士論文「Many Faces of Defects in Conformal Field Theories」の論文審査の結果の要旨は、下記の通りである。

共形場理論は、統計力学の臨界現象や弦理論、量子場理論の基礎を記述する上で、極めて重要な役割を果たす普遍的な枠組みである。しかし、現実の物理系には不純物、境界、あるいは界面といった、並進対称性を破る「欠陥」の存在が不可避である。これらの欠陥は、系全体の赤外領域におけるダイナミクスを本質的に変化させ、新たな普遍的振る舞いを誘起する。本論文は、共形場理論における欠陥の多面的な側面を、その動力学的性質および模型の詳細によらない普遍的構造に重点を置いて探究したものである。

本論文では、欠陥入り共形場理論の一般的枠組みを独自に拡張するとともに、公理的アプローチを用いることで、Wilson-Fisher 固定点における O(N)ベクトル模型の面および線欠陥を特徴付ける臨界的な欠陥結合および欠陥演算子のデータが、欠陥共形対称性のみから完全に決定しうることを示した。また欠陥がさらに低次元の欠陥を内包する「複合欠陥共形場理論」という入れ子状の構造を構築した。具体的な摂動論的模型を用いて、この階層的な構造が新たな普遍性クラスとして実現されることを示し、欠陥が量子場理論のランドスケープをいかに豊かにするかを論じた。

さらに本論文の最大の独創性は、低次元の部分空間に局在した欠陥に対してクエンチされた無秩序（quenched disorder）を導入したときに、これまで未知であった赤外領域において現れる臨界現象を解明するため、新たな理論構造を構築した点にある。特に嶋守氏は、「部分次元 disorder」が、部分空間に局所化されたたくりこみ群の流れの下で、赤外領域では対数的共形欠陥（Logarithmic Conformal Defect）へと流れ得ることを具体例を通して発見した。これは、対数的演算子多重項や新奇な赤外挙動によって特徴づけられる新しいクラスの欠陥であり、従来の局所性を重視した研究では見落とされていた物理を明らかにしたものである。

上記の研究は、物性物理学で古くから重要視されてきた欠陥という対象に対し、素粒子物理学的な場の量子論の文脈から新たな光を当てたものである。従来の手法との比較によりその妥当性を厳密に検証しており、場の量子論をプローブする新しい強力な手法としての価値、および物性物理への応用可能性という二つの側面において極めて高く評価できる。また、本研究で得られた知見は、今後の場の量子論の新たな双対性や一般化対称性の研究への応用も大いに期待される。

嶋守氏の研究は、共形場理論における欠陥の定式化を通じ、欠陥が場の量子論で果たす物理的役割とその重要性を鮮明にした極めて優れた成果である。よって、本論文は博士（理学）の学位論文として十分価値あるものと認める。