

Title	Emergence of Bulk Geometries from Conformal Field Theory
Author(s)	玉岡, 幸太郎
Citation	大阪大学, 2019, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/72642">https://doi.org/10.18910/72642</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

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

Osaka University

## 論文内容の要旨

氏名 (玉岡 幸太郎)

論文題名

Emergence of Bulk Geometries from Conformal Field Theory  
(共形場理論に基づく時空創発の研究)

## 論文内容の要旨

本博士論文では、エンタングルメント・エントロピー(EE)の混合状態への一つの一般化を定義し、この量のホログラフィーにおける解釈を議論する。

量子重力理論の非摂動的な定式化は、素粒子論における最重要課題の一つである。この文脈において、近年重要視されている考えがホログラフィー原理である。ホログラフィー原理は、 $d+1$ 次元の量子重力理論が、その境界で定義された(重力を含まない) $d$ 次元の量子多体系と等価になるというアイデアである。このような考えを推し進めるためには、まず我々のよく知っている重力の古典極限が、 $d$ 次元の理論でどのように実現するかを理解しなければならない。ホログラフィー原理の具体例であるAdS/CFT対応において、 $d+1$ 次元漸近的AdS時空の境界に端を持つような極小曲面の面積と、 $d$ 次元CFTのEEが等価になることが知られている。このような関係式から、AdS/CFT対応においては、 $d+1$ 次元の古典的な時空の曲がり方(計量)は、 $d$ 次元理論の量子相関の構造で決まることが示唆されている。

ところが、このような関係式で記述できる幾何学量だけでは、漸近的AdS時空全体の曲がり方を調べられないことが分かっている。例えば、混合状態に対応するentanglement wedgeと呼ばれる領域を考えると、この困難は顕著になる。これと対応するように、与えられた一般的な状態の量子相関の構造は、EEだけでは完全に理解することができない。このようなホログラフィー原理及び量子情報理論における問題点から、EEを超えた量子情報量やその重力理論における解釈が重要になっている。

このようなモチベーションに基づき、本論文では量子情報の分野で古くから知られていた部分転置と呼ばれる手法を応用し、EEに類似した量(以下OEEと呼ぶ)を定義した。特に、この量は純粋状態に対しては、通常のEEと等価であることを示せる。この意味で、OEEはEEの混合状態への一般化になっている。本論文の前半では、OEEの定義と一般的な性質について議論する。

本論文の後半では、2次元のCFT、特に重力双対を持つCFTのlarge- $c$ 極限で、このOEEを解析的に評価する。この場合、OEEの計算が共形ブロックと呼ばれる量の解析に帰着できることを示す。さらに、この共形ブロックの積分表示(測地Witten図)を駆使することで、large- $c$ 極限で3次元の時空内部に端を持つような極小曲面(空間的測地線)を記述できることを説明する。結果として、OEEからentanglement wedgeの最小断面積を記述できることを議論する。この量は、境界ではなく時空内部に端を持つ「より一般の極小曲面」になっている。また、副産物として、OEEからこのような特殊なCFTのみならず特別な不等式を得ることができた。

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (玉岡 幸太郎)		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教授 橋本 幸士
	副 査	教授 大野木 哲也
	副 査	准教授 山口 哲
	副 査	准教授 酒井 英明
	副 査	助教 飯塚 則裕
論文審査の結果の要旨		
<p>博士論文「Emergence of Bulk Geometries from Conformal Field Theory」の論文審査の結果の要旨は、下記の通りである。</p> <p>ゲージ重力対応とは、重力を含まない boundary に住む場の理論が、より高次元の bulk に住む量子重力理論と等価であるという非常に驚くべき予想である。ゲージ重力対応に関して、近年 Ryu-Takayanagi により、例えば 2 次元ゲージ理論の Entanglement entropy が、対応する 3 次元重力側では、bulk 時空の測地線に対応するといった関係が明らかにされており、これを引き金にして、時空の構造と場の理論の entanglement との関係が盛んに研究されている。</p> <p>しかしながら今までの研究では場の理論の entanglement に対応する bulk 時空の測地線は、必ずその境界を boundary に持っていないではなかった。bulk の測地線は任意の bulk の 2 点間でも定義することが可能であることから、玉岡は本博士論文でその対応物理量は boundary 理論で何であるか？を明らかにした。彼が明らかにしたことは、twist operator と呼ばれる特殊な演算子の 4 点関数を考えることで、bulk の 2 点間の測地線の情報が得られることを明らかにした。さらに彼は、測地線の幾何学的特性から、対応する boundary の場の理論がどういう特性を持たなければ、重力理論と双対 (= 等価) になれないかという条件式を本博士論文で明らかにした。</p> <p>これらはゲージ重力対応のより深い理解につながる発展に十分貢献しており、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。</p>		