

Title	Enhancement of dilepton production rates and associated transport coefficients due to phase transitions in dense QCD
Author(s)	西村, 透
Citation	大阪大学, 2024, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/96387">https://doi.org/10.18910/96387</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 ( 西村透 )

論文題名

Enhancement of dilepton production rates and  
associated transport coefficients  
due to phase transitions in dense QCD  
(高密度QCD相転移に起因するレプトン対生成率及び輸送係数の異常増大)

論文内容の要旨

量子色力学 (QCD) が支配するクォーク多体系には、多様で興味深い相構造が存在することが数々の理論的研究によって予言されている。特に、ハドロン相の低温・高密度領域には一次相転移線とその端点である QCD 臨界点、より高密度領域にはカラー超伝導 (CSC) 相の存在が示唆されている。このような相構造の探索を行える地上で唯一の手段が、重イオン衝突実験である。近年の低エネルギー衝突実験の高精度・高統計化により、高密度クォーク物質探索を目指した実験が可能になってきた。実際、このような目的で行われた米国 RHIC-BES の第二期実験は既に完了し、実験データの解析が行われている。また今後、我が国の J-PARC-HI を含め、様々な衝突エネルギーの実験が世界各地で計画されており、高密度 QCD 相構造に関する理解の飛躍的進展が期待される。このような高密度物質探索の実験的進展の一方で、QCD 臨界点や CSC 相の観測は依然として容易ではない。QCD 臨界点探索のシグナルとして、ゆらぎの高次モーメントや事象毎の保存電荷ゆらぎの測定に関する研究が現在行われているが、未だ臨界点の有無を結論づける実験結果は得られていない。また、CSC 相に関しては観測を目指した実験方法の議論さえほとんど行われてこなかった。

本研究では、QCD 臨界点と CSC 相転移のソフトモードがレプトン対生成率に与える影響を調べることによって、これらの相構造の観測可能性を議論する。ソフトモードとは相転移付近の秩序変数の振幅ゆらぎによって形成される低エネルギーの集団励起モードで、QCD 臨界点や 2-flavor CSC (2SC) 相転移周辺で顕著に発達し様々な臨界現象を引き起こすことが知られている。我々は、QCD 臨界点及び 2SC 相転移のソフトモードが関与するレプトン対生成過程を考慮するために、物性理論における Aslamazov-Larkin 項・Maki-Thompson 項・Density of states 項という光子自己エネルギーを 2-flavor Nambu-Jona-Lasinio 模型によって計算した。これら3種類の項を考慮することで Ward 恒等式が満たされることを示し、ソフトモードの効果によりレプトン対生成率が低不変質量領域において異常に増大することを示した。さらに我々は、生成率の解析で考慮した光子自己エネルギーの低エネルギー・運動量極限を考えることで、輸送係数である電気伝導率及び緩和時間を計算した。その結果、ソフトモードの効果によって輸送係数が QCD 臨界点及び 2SC 相転移直上で発散し、その臨界指数が各相転移で異なることを示した。この臨界指数の違いが、各ソフトモードの性質の違いに起因するものであることを本研究では指摘した。

近年の重イオン衝突実験では、高密度物質探索の進展に加えて、低不変質量領域におけるレプトン対観測の高統計化が進んでおり、電気伝導率を直接測定しようという提案もされている。本研究で得られたソフトモードに由来するレプトン対生成率の異常増大や輸送係数の発散は、このような実験的背景を鑑みると、QCD 臨界点や CSC 相の全く新しいシグナルとなる可能性を有していると考えられる。

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( 西 村 透 )		
	(職)	氏 名
論文審査担当者	主 査	教授 浅川 正之
	副 査	教授 保坂 淳
	副 査	教授 阪口 篤志
	副 査	准教授 石井 理修
	副 査	助教 赤松 幸尚
<b>論文審査の結果の要旨</b>		
<p>量子色力学 (QCD) が支配するクォーク多体系には、多様で興味深い相構造が存在することが数々の理論的研究によって予言されている。特に、ハドロン相の低温・高密度領域には一次相転移線とその端点である QCD 臨界点、より高密度領域にはカラー超伝導 (CSC) 相の存在が示唆されている。このような相構造の探索を行える地上で唯一の手段が、重イオン衝突実験である。近年の低エネルギー衝突実験の高精度・高統計化により、高密度クォーク物質探索を目指した実験が可能になってきた。実際、このような目的で行われた米国 RHIC-BES の第二期実験は既に完了し、実験データの解析が行われている。また今後、我が国の J-PARC-HI を含め、様々な衝突エネルギーの実験が世界各地で計画されており、高密度 QCD 相構造に関する理解の飛躍的進展が期待される。このような高密度物質探索の実験的進展の一方で、QCD 臨界点や CSC 相の観測は依然として容易ではない。QCD 臨界点探索のシグナルとして、ゆらぎの高次モーメントや事象毎の保存電荷ゆらぎの測定に関する研究が現在行われているが、未だ臨界点の有無を結論づける実験結果は得られていない。また、CSC 相に関しては観測を目指した実験方法の議論さえほとんど行われてこなかった。本研究では、QCD 臨界点と CSC 相転移のソフトモードがレプトン対生成率に与える影響を調べることによって、これらの相構造の観測可能性が議論された。本論文では、QCD 臨界点及び 2SC 相転移のソフトモードが関与するレプトン対生成過程を考慮するために、物性理論における Aslamazov-Larkin 項・Maki-Thompson 項・Density of states 項という光子自己エネルギーを 2-flavor Nambu-Jona-Lasinio 模型に取り込んだ。これら 3 種類の項を考慮することで Ward 恒等式が満たされることが示され、ソフトモードの効果によりレプトン対生成率が低不変質量領域において異常に増大することが示された。さらに、生成率の解析で考慮した光子自己エネルギーの低エネルギー・運動量極限を考慮することで、輸送係数である電気伝導率及び緩和時間が計算された。その結果、ソフトモードの効果によって輸送係数が QCD 臨界点及び 2SC 相転移直上で発散し、その臨界指数が各相転移で異なることが示され、この臨界指数の違いが、各ソフトモードの性質の違いに起因するものであることが指摘された。近年の重イオン衝突実験では、高密度物質探索の進展に加えて、低不変質量領域におけるレプトン対観測の高統計化が進んでおり、電気伝導率を直接測定しようという提案もされている。本研究で得られたソフトモードに由来するレプトン対生成率の異常増大や輸送係数の発散は、このような実験的背景を鑑みると、QCD 臨界点や CSC 相の全く新しいシグナルとなる可能性を有していると考えられ、</p> <p>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。</p>		