



Title	高階微分重力におけるKaluza-Klein理論
Author(s)	石川, 清志
Citation	大阪大学, 1987, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/35314">https://hdl.handle.net/11094/35314</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href=" <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> ">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

氏名・(本籍)	石川清志
学位の種類	理学博士
学位記番号	第 7610 号
学位授与の日付	昭和 62 年 3 月 26 日
学位授与の要件	理学研究科物理学専攻 学位規則第 5 条第 1 項該当
学位論文題目	高階微分重力における Kaluza-Klein 理論
論文審査委員	(主査) 教授 吉川 圭二 (副査) 教授 小谷 恒之 教授 山本 邦夫 助教授 佐藤 行 助教授 細谷 晓夫

### 論文内容の要旨

最近の素粒子の統一理論では、電弱相互作用、強い相互作用に加えて重力もまとめて説明しようとする試みが盛んになされている。重力をも含む統一理論の多くはまず高次元時空理論として定式化されていて、物理的四次元時空以外の余分な次元はコンパクト化されていて空間としては観測できないと考えられている。その中で、最近 Lovelock の重力理論が注目されている。この理論は、四次元時空で Einstein の重力理論に一致し、平坦な background に対して理論のユニタリ－性が保障されるという意味で、Einstein の重力理論の高次元への自然な拡張であると考えられる。一方、素粒子の統一理論の候補として最近有望視されている超弦理論もその低エネルギー極限で Lovelock の重力理論を含むことが示唆されている。現実に観測されている四次元時空を高次元における理論の古典解として説明しようとするのが、自発的コンパクト化の考え方である。この時、四次元時空における有効理論には、高次元での一般座標交換に対する共変性の一部分が内部対称性として現れる。

この様に高次元時空から出発して四次元有効理論を考えるのが Kaluza-Klein (K-K) 理論である。K-K 理論では、古典解である真空の安定性、及び四次元有効理論にどの様な粒子が現れるかは重要な問題である。

そこで、この論文では次の二点に焦点を当て Lovelock の重力理論における K-K 理論を調べた。

- (1) Lovelock の重力理論の古典解の一つである (四次元 Minkowski 時空)  $\times$  (D 次元球面) ( $M(4) \times S(D)$ ) 解の安定性及び四次元有効理論。
- (2) Euler 不変なゲージ理論から一つ下の次元における重力のゲージ理論として Lovelock の重力理論を導いた。

(1)の結果を以下に述べよう。Lovelockの重力理論では一般に、四次元有効理論に含まれる粒子は、一個の質量のない重力子、無限個の質量のないベクトル粒子（縦成分を含む）と一個の重いスカラー粒子であることが判った。さらに、解の古典的な安定性はモデルから定まる三つの量、すなわちスピン2の粒子とベクトル粒子のノルム、そしてスカラー粒子の質量だけで決まるという結果を得た。普通のK-K理論では、S(D)の等長変換に対応するベルトルー個を除いて無限個の重いベクトルおよびスカラー粒子が現れる。従って無限個の質量のないベクトル粒子とスカラー粒子が一個しか許されないという結果はLovelockの重力理論における著しい特徴であると言える。ここでは、重力部分しか調べなかったが、他の物質の効果を考慮するとどういう結果が得られるか興味深い問題である。

### 論文の審査結果の要旨

AINSHUTAINによる一般相対性理論は古典力学的には完成された重力理論と考えてよいが、量子力学的には困難が多く確立していない。そこで、微視的世界では、AINSHUTAIN理論は修正を受ける可能性があるのだが、その一つの候補が高階微分型重力理論である。一方、近年、重力をも含めた自然の全ての力の統一理論が盛んに研究されている。その多くはいわゆるカルザ・クライン理論に基づいており、時空次元を4以上とし、何等かの理由で余分の次元は $10^{-33}$ cmくらいに小さくなり、内部空間として粒子の対称性、多様性として物理的に現れてくるものと考えている。石川君は、本論文で、高次元における高階微分型重力理論を問題にしている。特にラヴロックが提唱した理論のカルザ・クライン分解を詳細に研究した。ラブロック理論には、背景時空が平坦な場合、量子力学的ユニタリティー（確立密度の正値性）が保証されているという特筆すべき利点があるので、これを選んだ。更に、最近の超絶理論でも、その低エネルギー有効理論がラブロック理論を含むという示唆もある。

この論文では、まず一般の時空次元における最も一般的なラヴロックの方程式が、外部空間として4次元ミンコフスキ空間を、内部空間としてD次元球面となる解を持つ条件を与えている。それによると、球面の半径は、宇宙項が極小値として零をとる条件から決まる。次に量子揺動を調べることにより、出てくる粒子の質量と量子数を全部求めている。結果として、1個の重力子、無限個の重いスピン2の粒子、ゲージ粒子を含む無限個の無質量ベクトル粒子（縦成分を含む）、及び1個の重いスカラー粒子を得ている。これらが物理的に許される系であるためには、各粒子の場のノルムと質量の二乗が正である必要がある。これは同時に古典解の安定性も保証する。この条件は、3個のパラメタ（テルソンとベクトル粒子のノルム及びスカラー粒子の質量の二乗）が正であれば良いという条件にまとめられて、例えば時空次元が10の時に実現できることが示されている。この結果が直ちに、現実的な統一理論を与えるわけではないが、石川君の解析は、ラヴロック理論に関する限り、充分に一般的で、そのカルザ・クライン分解の解析は十分に精密であり、同様の研究をする上でひな型になりうるので、今後の研究の為に有用であると考えられる。

以上の内容を見ると、本論文は、ラヴロック重力のカルザ・クライン理論について、精密な研究を行っ

て新しい寄与をしたと認められるので、理学博士の学位論文として充分価値あるものと判定する。