

氏名	小 玉 英 雄
	こ だま ひで お
学位の種類	理 学 博 士
学位記番号	理 博 第 673 号
学位授与の日付	昭 和 56 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研究科・専攻	理 学 研 究 科 物 理 学 第 二 専 攻
学位論文題目	On the Particle-defining Modes for a Free Neutral Scalar Field in Spatially Homogeneous and Isotropic Universes (空間的に一様等方な宇宙における自由な中性スカラー場に対する 粒子の定義を与えるモードについて)
論文調査委員	(主 査) 教 授 佐 藤 文 隆 教 授 林 忠 四 郎 教 授 田 中 正

### 論 文 内 容 の 要 旨

一般相対論においては時空の計量は一般に空間的、時間的に変化しているが、膨張宇宙では時間的に非定常な計量が問題となる。非定常な時空の中で量子化された場を考えると真空からの粒子生成がおこる。この問題は1969年頃より宇宙における物質創生に関連した理論として研究されているが、粒子生成率の計算には粒子状態の局所的定義の任意性が反映して不確定な要素が残されていた。粒子状態の局所的定義として最も自然なものは各時刻で量子場のハミルトニアンを対角化するものである。フリードマン宇宙モデルで、量子化されたスカラー場に対してこの定義のもとに粒子生成密度を計算すると、スカラー場と重力場の相互作用がミニマム相互作用なら発散し、共形相互作用なら有限となることが示される。この結果は1979年に Fulling により示されるが、この研究では粒子状態の定義が特殊なものに限定されている。

このような背景のもとで申請者は粒子状態の定義が発散などの物理的困難をひきおこさないという最低限満たされるべき要請からどの程度制限されてくるかを研究したのである。このような要請としては、(1)粒子生成密度の有限性、(2)エネルギー生成密度の有限性、を置く、時空モデルとしては空間的に一様・等方なるものを考えるが膨張則は特に指定せず一般的なものを考える。

各時刻における粒子状態を定義する量としてはモード関数とその時間微分との比 $\Gamma$ をとる。 $\Gamma$ は二つの実関数を含む。異なる時刻では粒子状態の定義も変化してくるわけであるが、これら異なる状態の取り方の間にはボゴリボフ変換で結ばれる関係がある。そして上記の粒子状態の定義に課せられる要請というのはこのボゴリボフ変換の変換係数に対する条件として表現される。

申請者は粒子状態を定義する $\Gamma$ の高エネルギー又は短波長での漸近的ふるまいに対する条件を上記の要請から導いている。まずモード関数を補正因子を含むWKB近似の形で書き、補正因子の従うべき積分方程式を導く。そしてこの関数の高エネルギーでの漸近挙動から $\Gamma$ に対する漸近的ふるまいに関する条件を導くのである。

結果は次のように要約される。共形変換でリスケールされたモード関数で見たとき第一の要請はモード

関数を高エネルギー極限で0次の断熱モードに一致するものに制限する。第二の要請はミニマム相互作用の場合には一次の断熱モードに一致するものに制限する。

本論文は非定常時空での量子場の粒子状態の定義に関して注意深い考察を行い、これまであいまいにされていた点を明解にしたものであり、この分野の研究に対する重要な寄与である。

### 論文審査の結果の要旨

漸近的に平坦な時空領域が存在しない時空における場の量子論においては粒子状態の定義を大域的に行うことができないという制約がある。このため任意に局所的な粒子状態の定義を与えてこれまでの研究が行われている。このように任意に与えた定義ではしばしば物理的に考えて奇妙な結論が導かれていた。このような事実は粒子状態の定義の仕方が完全に任意ではないことを示唆している。本論文での新しい観点は物理的要請からこの粒子定義の仕方に課せられる条件を導いていることである。すなわち任意に定義を与えると、特別の場合には異なる時刻における Fock 空間相互が直交してしまい、その間の変換を与えるボゴリボフ変換係数が発散することがおこるのである。このような場合には粒子生成密度が発散するというような結果が導かれるのである。本論文ではこのような粒子状態の定義の不適當さからくる発散を避けるための条件を比較的一般的な要請から導くことに成功している。

特に粒子定義を表現するモード関数に対する制限をどのように表現するかということについて本論文ではモード関数とその時間微分との比  $\Gamma$  という量に着目しているのは独自のものである。そうすると高エネルギー近似では WKB 近似が有効であるので、それに対する補正因子の漸近的ふるまいを求めてやれる。したがってこれを用いてボゴリボフ変換の係数が計算できそれらに対する物理的要請より  $\Gamma$  に対する高エネルギー近似での制限を得ることができる。

本論文で得られた条件は粒子定義の仕方を一義的に決めてしまうものではないが、ある定義で粒子状態が指定されている場合その妥当性を判断する規準を与えている。このようにして得られた結果からみると Fulling が1979年に得た結論は容易に理解できる。ミニマムの相互作用の場合は彼の与えた粒子定義はここで得られた条件を明らかに満たしていない不適當なものなのである。

本論文で得られた結果はより一般性のあるカスナー型の非等方宇宙の場合にも容易に拡張できる。さらに物理的要請をハミルトニアンの高次巾に拡張できる展望も含んでいる。

以上の如く本論文は宇宙における粒子創生を考察する上に基礎となる非定常時空での粒子状態の定義について新しい観点から研究し興味ある結果を得ている。

よって本論文は理学博士の学位論文として価値あるものと認める。