

氏名・(本籍)	さい 齋	とう 藤	こう 晃	いち 一
学位の種類	理	学	博	士
学位記番号	理博第	808	号	
学位授与年月日	昭和58年3月25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	東北大学大学院理学研究科 (博士課程) 原子核理学専攻			
学位論文題目	クォーク模型による核子多体系記述に向けて			
論文審査委員	(主査)			
	教	授	吉	田
	思	郎	教	授
			武	田
			暁	
			助	教
			宇	井
			治	生

# 論文内容要旨

## 1. はじめに

最近の中高エネルギー領域における実験(例えば, 電子散乱 [ $q^2 \leq 6 \text{ GeV}^2/\text{C}^2$ ] や,  $p$ - $p$ ,  $p$ - $d$  散乱の Dibaryon 共鳴付近等)から, Quark レベルの原子核の情報が, 蓄積されつつある。また, 今後の高エネルギー重イオン散乱や K 中間子ビーム等の実験では, Quark 自由度の関与する過程を考慮する事が重要になると思われる。

このような状況を背景として, この論文では, 核子多体系を直接 Quark の立場から記述するために必要な次の 2 点について調べる事にした。

- ① 核子の Bag が複数個存在することにより生ずる多体効果を調べる。
- ② 核子の幾何学的変形の可能性について調べる。

まず, 最初の段階として  $u, d$ -quark (香り SU(2)) の範囲を考えるとすれば, Quark の質量は小さく, その運動エネルギー項を無視することはできない。したがって, 核子中の Quark を相対論的に取り扱わなければならない。そのために我々は, 核子を Bag 模型で表現することとし, この Bag 模型についてくわしく調べることにする。

ここでは最初の課題①(多体効果)を Chiral bag 模型<sup>1)</sup>を用いて調べ, 次の課題②(Bag の変形)を M.I.T. bag 模型<sup>2)</sup>で考察することにした。(今後, 次の段階として, Chiral bag の変形を研究したい)

## 2. 1 核子, 2 核子系(重陽子)を Bag 模型の立場から見る

①の問題を考察するために, ここでは Chiral bag 模型を用いる。Chiral bag 模型は,  $\pi$  中間子場と Quark が, Bag 表面上で相互作用する機構を導入する事により, M.I.T. bag 模型で失われている Chiral 対称性を回復しようとするものである。この場合,  $\pi$  中間子は, Chiral 対称性を保持するための Goldstone boson とみなされる。

この模型の立場では, 核子内の 3 つの Quark は, それぞれ Bag 表面上で  $\pi$  中間子を媒介とした相互作用を行うことができる。よく知られているように,  $\pi$  中間子は, この時 Quark 間のテンソル力を誘導するので, (核力の場合と同じように), 今まで核子内の  $1s_{1/2}$  軌道に入っていた Quark が,  $d_{3/2}$  軌道に励起することができるようになる。ここで大切なのは, Quark と  $\pi$  中間子結合の強さは, Chiral 対称性の要求から, 一意的に決まってしまうということである。つまり, 核子内の  $d$  波振幅は自動的に決定される。この  $d$  波の成分を考慮して, 陽子の磁気能率を計算したのが図 1 である。(中性子の場合も同様に計算できる)

この考え方は, Chiral bag が複数個存在する系でも同様にして議論することができる。ここでは特に, 2 個の系に着目した。2 個の系では, 一方の核子それ自身が作る  $\pi$  中間子場に加えて, 他方の核子の作る中間子場も, 核子内の Quark の状態を決定するための要因となる。したがって 2 つの核子は, それぞれの間で  $\pi$  中間子を交換することにより, 相手の核子内 Quark を

励起することができる。このような効果が、重陽子の場合、その磁気能率や、Radiative  $n-p$  capture の遷移振幅の Enhancement factor (2 体演算子振幅と 1 体演算子のそれとの比)、また核力等にどのように効くかを調べたのが、表 1 と図 2 である。ここでは、これらの効果を、核子の Bag 半径  $R$  の関数として示した。結果は、重陽子の様な広がった系では、重いメソンの交換流の効果と同程度であることがわかった。また核力への補正では、低エネルギー核子散乱の Triplet-odd 状態に及ぼす影響が大きいことがわかった。今後は、この点に着目して、 $2\pi$  交換の領域の検討がなされるべきである。

### 3. Bag の変形の問題

Bag の変形に関しては、振幅の小さい  $p$  波変形が、C.Rebbi<sup>3)</sup>等により議論されているが、ここでは、大振幅変形まで可能な模型を作った。(実際の計算では、 $Y_{20}$  変形[Spheroidal bag]で、その長軸と短軸の比が4:3ぐらいまで)Bag の変形問題では、つねに Bag 表面上における Quark の境界条件と、Dirac 方程式の両立性という難しい問題が関わっている。ここでは具体的に楕円体内の Quark の流れ(軸対称の Bag では、つねにその軸の周囲にのみ Quark 流がある)や Quark のスカラー密度を考察することにより、通常用いられている M.I.T.bag 模型の境界条件の拘束より、少し弱い条件の下で、Quark の状態を調べた。具体的には、まず、変形した原子核を取り扱う時によく用いられる Scale 変換の手法を、楕円体内の free な Quark とその境界に適用し、すべての量(例えば、ハミルトニアン等の演算子)を、同体積球形領域内へ射影する。球形領域内では、Quark 波動関数の完全系がすでに用意されているので<sup>4)</sup>、この完全系を用いて、変換されたハミルトニアンを対角化することにより、楕円体 Bag 内の Quark のエネルギーを求めることができる。(図 3)これは、ちょうど原子核の場合の Nilsson orbit に対応するもので、図 3 で見られる特徴も、Nilsson orbit に大変よく似ている。Bag 自体がこのように楕円体に変形すると、Quark 波動関数は、球形の場合のそれに、他のいろいろな軌道が、変形の程度に応じて混入してくる。表 2 では、核子(球形で  $1s_{1/2}$  軌道)の場合について、変形に応じて、どのような波が混入してくるかを、振幅の大きい順に 3 本示した。ここでは、 $1d_{5/2}$  が最も大きな振幅で混入する。また図 4, 5 には、核子の磁気能率と、 $g_A$ (軸ベクトル結合定数)が、変形に対してどのように変化するかを示してある。(空間部分の演算子をもつ磁気能率の変化が大きい事に注目したい)

Bag の変形の問題で、今後さらに議論を重ねなければならない事は、 $1s_{1/2}$  状態(核子に対応)が、 $Y_{20}$  変形に対して非常にソフトだという事である。この問題は、次の Chiral bag の変形を考察することで、ある程度解決されるであろう。

今後は、Bag 模型の立場をとりつつ、核子多体系(特に 2 核子系)についてさらに深い議論をしていきたい。

文献

- 1) A.Chodos and C.B.Thorn : Phys. Rev. D12 (1975) 2733.
- 2) A.Chodos, R.L.Jaffe, K.Johnson, C.B.Thorn and V.F.Weisskopf : Phys. Rev. D9 (1974) 3471. T.A.De Grand, R.L.Jaffe, K.Johoson and J.Kiskis : Phys. Rev. D12 (1975) 2060.
- 3) C.Rebbi : Rhys. Rev. D12 (1975) 2407, D14 (1976) 2362.
- 4) C.DeTar : NATO advanced study B54, p. 393.

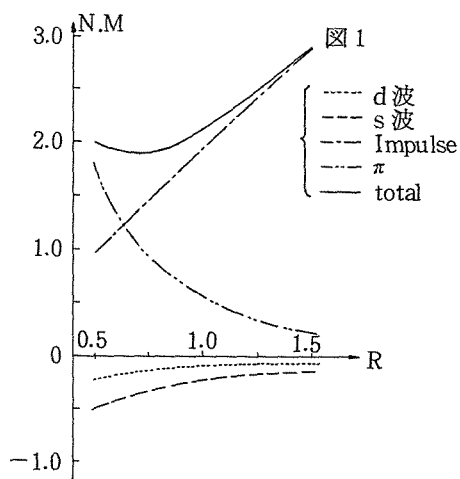
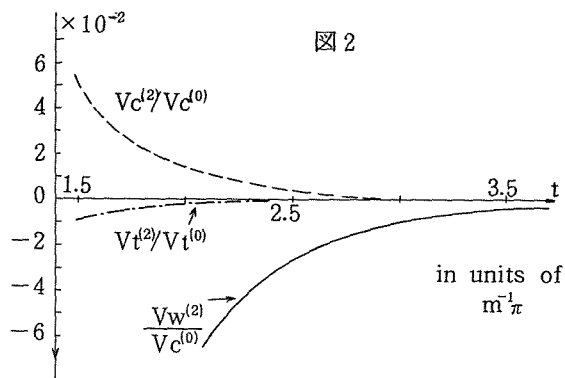


表 1

Bag半径 R (fm)	0.5	0.75	1.0	1.25	1.5
$\mu_2/\mu_d$ %	0.041	0.094	0.17	0.27	0.41
$\delta$ %	-0.035	-0.08	-0.15	-0.23	-0.35

$\mu_2/\mu_d$  : 重陽子磁気能率補正

$\delta$  : Enhancement factor



核力の補正(重陽子の配位の場合)

{  $V^{(0)}$  : OPEP

{  $V^{(2)}$  : TPEP

{ C : 中心力, T : テンソル力

{ W : Wigner type の力

表 2 (振幅の絶対値)

$\lambda$	0.15	0.12	0.09	0.06	0.03	0.03	0.06	0.09	0.12	0.15
$1d_{5/2}$	$\times 10^{-2}$ 4.2	3.4	2.5	1.7	0.9	0.9	1.7	2.6	3.5	4.4
$2d_{5/2}$	$\times 10^{-2}$ 0.9	0.8	0.6	0.4	0.2	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9
$3d_{5/2}$	$\times 10^{-2}$ 0.5	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5

$\lambda$ : 変形のパラメーター

$$\text{離心率 } e = (1 - e^{-3|\lambda|})^{1/2}$$

図 3

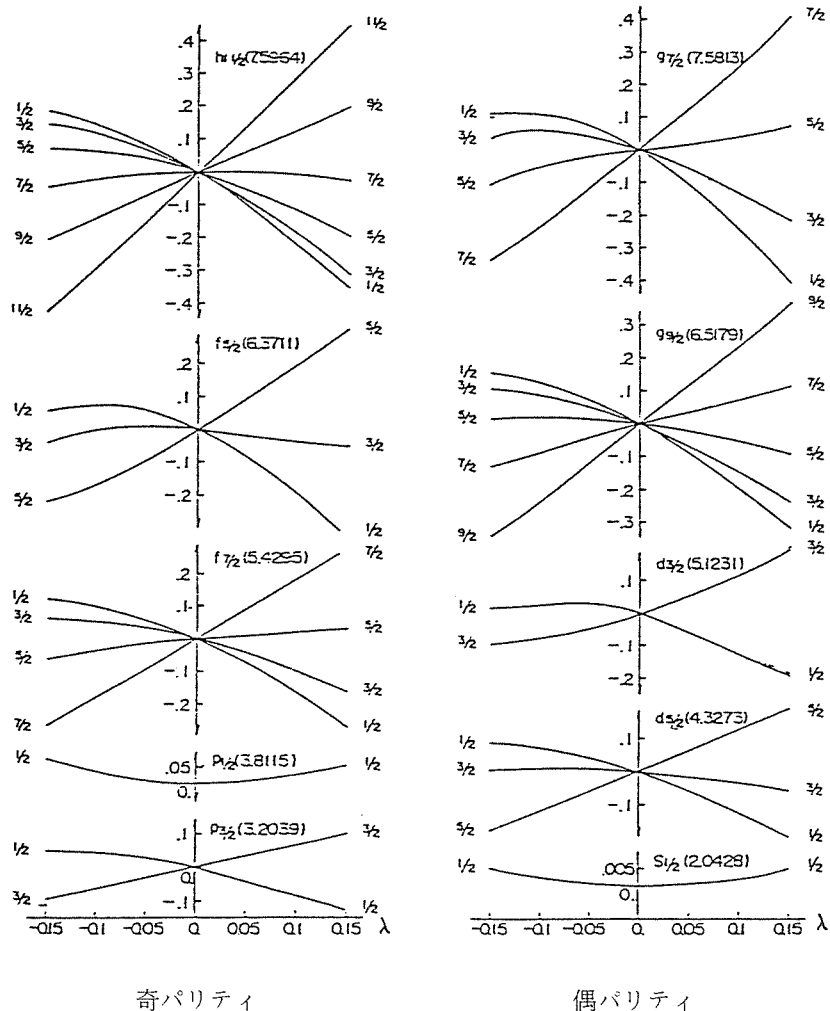


图 4

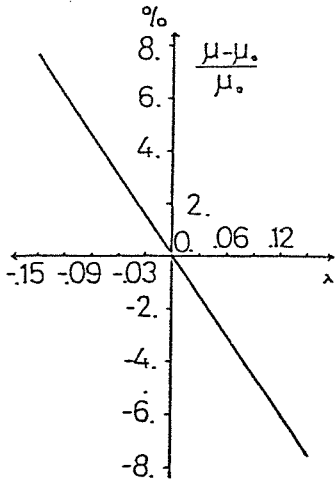
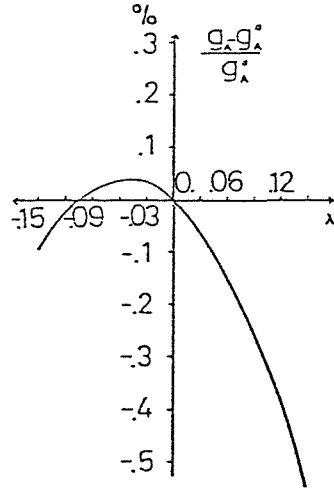


图 5



## 論文審査の結果の要旨

最近の高エネルギー物理学の進歩により、原子核の構成粒子である核子は、より基本的なクォークより成る複合粒子であるとの認識が確立されてきた。従って、低エネルギー原子核現象にもこのクォーク自由度の関与する過程を考慮する必要性が指摘されている。齋藤晃一提出の論文は、この様な観点より核子多体系としての原子核を直接、クォーク模型の立場から記述するための第一歩として、主として二核子系をクォークバック模型により取扱い、さらにバックの変形の効果をも検討したものである。

一核子を記述するクォーク模型としては、相対論的クォーク模型である MIT バック模型を出発点とし、バックの外側に、パイ中間子場がカイラロ対称性の破れを回復するために自然にゴールドストーン粒子として生じている、いわゆるカイラロバック模型が用いられている。このカイラロバック模型を二核子系に適用することにより、二つのバック内のクォークは外部のパイ中間子場とバック表面で相互作用をすることにより、励起され、その結果、種々の物理量に影響を与える。齋藤はこの結果を摂動論的に順次計算し、重陽子の磁気能率、熱中性子の陽子による M1 捕獲、二核子の核力に及ぼす影響を系統的に調べた。その結果、重陽子の磁気能率に対するクォーク自由度からの寄与は重い中間子の交換流からの寄与と同程度になる事、又、核力に対しては低エネルギー核子散乱の Triplet Odd 状態に及ぼす影響が大きい等の新知見が得られた。

第二の問題であるバックの変形に関しては、従来の MIT 球型バックを大振幅  $Y_{20}$  変形可能な回転楕円体バック模型への拡張が成され、この変形バック内のクォークエネルギー準位が数値的に求められ、バックの変形に対する安定性が議論されている。その結果、クォークバックは変形に対し、極度にソフトである事が示され、変形バック模型のカイラロバック模型への拡張の必要が指摘されている。

以上、齋藤晃一提出の論文は、近年発展しつつある中間エネルギー核物理学の分野に、いくつかの新知見を加えたものであり、これらの成果は本人の自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識を有していることを示している。よって、齋藤晃一提出の論文は、理学博士の学位論文として合格と認める。