

氏名・(本籍)	ひろ 廣	た 田	じゅん 淳	いち 一
学位の種類	理	学	博	士
学位記番号	理博第	901	号	
学位授与年月日	昭和60年3月26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	Sm 同位体における低エネルギー八重極共鳴(LEOR)の分離 の質量依存性に関する研究			
論文審査委員	(主査)			
	教	授	石松敏之	教
				授
				藤平力
				教
				授
				北垣敏男

論 文 目 次

第1章 序論

- 1-1 巨大共鳴に関するこれまでの研究のまとめ
- 1-2 研究の目的

第2章 実験方法

- 2-1 実験装置
- 2-2 粒子弁別(Particle Identification)
- 2-3 測定回路
- 2-4 標的核
- 2-5 測定

第3章 実験結果

- 3-1 運動量スペクトラム
- 3-2 ピーク分離

3-3 励起エネルギーの決定

3-4 角度分布

3-5 結果のまとめ

第4章 解析

4-1 DWBA 解析

4-2 EWSR

4-3 RPA 解析

4-4 CC 解析

第5章 議論

5-1 スペクトラムの構造

5-2 Sm 同位体の LEOR

5-3 RPA 計算との比較

第6章 結論

謝辞

参考文献

論文内容要旨

第1章 序論

変形核における巨大共鳴状態は、基底状態の静的な核変形のために球形核では観測されない様相を呈する。Giant Dipole Resonance (GDR) において、この効果は、顕著であり共鳴の分裂として観測された。¹⁾ 巨視的立場からこの効果への説明は、変形が軸対称であるとする、対称軸方向 ($K=1$) とそれに垂直な軸方向 ($K=0$) の振動数の違いによると考えられる。²⁾ また、微視的には Nilsson 模型を用いた 1 粒子-1 空孔状態のコヒーレントな重ね合わせとして理解されている。これに対して、Giant Quadrupole Resonance (GQR) では、球形核から変形核に移っても約 1 MeV 程度の共鳴巾の広がりしか示さなかった。³⁾ また、High Energy Octupole Resonance (HEOR) についても、GQR と同様、共鳴巾の広がりのみが観測されている。⁴⁾ これは、これらの状態が粒子放出のしきい値以上で起っているため、 K による分離巾に比べて、共鳴巾の方が大きいことに依ると考えられる。このような状況は、 $l=3$ より大きい多重極共鳴状態でも変わらないと考えられる。しかし、Low Energy Octupole Resonance (LEOR) は、粒子放出のしきい値以下の状態のため事情は大きく異なってくる。LEOR は、Mossりにより、 ${}^9E_{\alpha}=96,115\text{MeV}$ の系統的 (α, α') 実験により、 $E_x \sim 30A^{-1/3}\text{MeV}$ 、 $\text{EWSR}=20\sim 30\%$ を尽くす状態であることが知られている。その中で、変形した ${}^{154}\text{Sm}$ では、LEOR が巾の広い二つのピーク (バンプ) とし観測され、GDR の分離と類似することが報告されている。一方、藤平らは、Ni, Zr, Mo 同位体で、分離能を上げた (α, α')、 $E_{\alpha}=65\text{MeV}$ 実験を行なうことにより、LEOR は多くの 3^{-} 状態の重ね合わせでバンプに見えていたという、LEOR の微細構造を指摘して来た。⁵⁾ このように LEOR は、多くの 3^{-} 状態の集合で変形が加わる事により K 成分の分散を起し、しかも、各 K による分散の様子が違ふと期待される。従って、 ${}^{154}\text{Sm}$ で観測された二つのバンプは、そのような分散の結果、二つのバンプとして集中が起ったものと考えられる。このように LEOR では、GDR のように直観的説明は、難かしいと思われる。また、変形核での LEOR の系統的実験データは、ほとんどない。

本研究は、Sm 同位体を用いた α 非弾性散乱を行ない変形核での LEOR の系統的実験データを得ること、そして、その結果が、核の変形によりどのように理解されるかを明らかにすることを目的とした。また、Nilsson 型調和振動子+八重極-八重極残留相互作用を用いた RPA 計算により、LEOR の K 成分の分布について議論を行なう。

第2章 実験方法及び結果

実験は、東京大学原子核研究所 SF サイクロトロンで行なわれた。入射エネルギー $E_{\alpha}=65\text{MeV}$ の α 粒子を用いて、 ${}^{144,150,152,154}\text{Sm}(\alpha, \alpha') {}^{144,150,152,154}\text{Sm}$ 反応の微分断面積を QDD 分析電磁石と位置検出比例計数管を用い、粒子弁別を行ない測定した。標的該は、 ${}^{144,150,152,154}\text{Sm}$ 、各々に対して、 $610, 470, 590, 640\mu\text{g}/\text{cm}^2$ ($96.3>96, 98.3, 98.7\%$) の厚さ (純度) のものを使用し

た。断面積の絶対値は、 α 粒子の弾性散乱を用いて決定した。図 1 に、今回得られた運動量スペクトルの一例を示す。図中の矢印は、バンプの中心位置を示す。測定励起エネルギーは、 $E_x < 13\text{MeV}$ エネルギー分解能は、overall で $^{150,152}\text{Sm}$ で 60keV 、 $^{144,154}\text{Sm}$ で 80keV であった。スペクトル中のピーク及びピーク群に対してガウス分布を仮定したピーク分離を施し、Yield を求め角度分布を得た。励起エネルギー (E_x) は、そのエネルギーがよく知られた low-lying 準位数本と、弾性散乱を磁場を変えて入射させその時の磁場と軌道半径の関係を用いて決定した。得られた角度分布に巨視的形状因子を用いた DWBA 解析を施し、移行角運動量 l と対応する変形パラメータ β_l を求めた。この時、変形核(特に、 $^{152,154}\text{Sm}$)の low-lying 状態は、基底状態バンドとの結合が大きく DWBA 解析によりあまりよく再現されず、一部は CC 解析により説明できたが、 $E_x > 3\text{ MeV}$ ではその影響が小さくなる傾向にあった。そのため本研究では DWBA 解析を中心に行なった。用いた光学ポテンシャルは、坂口氏らが $E_\alpha = 120\text{MeV}$ で行なった ^{144}Sm (α , α_0) の弾性散乱の実験結果を再現するように求めた値をもとに今回得られた弾性散乱の実験結果を再現するように決められた。 ^{144}Sm $E_x = 6.5\text{MeV}$ 、 ^{150}Sm $E_x = 4.2, 5.9\text{MeV}$ 、 ^{152}Sm $E_x = 4.2, 5.9\text{MeV}$ 、 ^{154}Sm $E_x = 3.8, 5.8\text{MeV}$ に LEOR のバンプを観測した。図 2 に得られたバンプの角度分布を示す。 ^{144}Sm $E_x = 6.5\text{MeV}$ 、 ^{150}Sm $E_x = 5.9\text{MeV}$ 、 ^{154}Sm $E_x = 3.8, 5.8\text{MeV}$ のバンプは、 $l = 3$ の DWBA の結果によりよく再現されている。他のバンプは、他の多重極の混入があるためかよく再現はされないが、他のバンプとの類似性及び系統性より $l = 3$ として議論する。

第 3 章 解析及び議論

得られた各準位の EWSR (Energy Weighted Sum Rule) の値を求めた。図 3 に、Sm 同位体の 3^- 状態に対する EWSR 分布を示す。 $E_x = 10\text{MeV}$ までに観測された EWSR (St) 及び重心のエネルギー (\bar{E}_x) は、 $^{144,150,152,154}\text{Sm}$ 各々、31.4, 19.9, 13.9, 17.0%, 5.7, 4.3, 3.4, 4.0MeV であった。 3_1^- 状態とその他の状態とに分けて考えると、 3_1^- 状態は $^{144,150,152,154}\text{Sm}$ で、 $E_x = 1.81, 1.07, 1.04, 1.01\text{MeV}$ 、EWSR = 8.6, 4.2, 1.6, 0.7% と、 E_x は変形核でほぼ一定となり、EWSR は減少傾向を示す。しかし、Put 等の CC 解析の結果を用いると $^{152,154}\text{Sm}$ で EWSR は、2.6, 3.9% となり変形核での 3_1^- 状態はほぼ一定の EWSR を尽くすことがわかる。次に、 ^{144}Sm では $E_x \sim 5\text{ MeV}$ に 3^- 状態の小さな集団が見られる。 ^{150}Sm にも $E_x \sim 3\text{ MeV}$ に小さな集中が見られるが、 $^{152,154}\text{Sm}$ では、バンプの他にそのような 3^- 状態の集中は観測されなかった。これは、 3_1^- 状態に見られるように大きな変形 ($^{152,154}\text{Sm}$ で $\delta = 0.304, 0.351$) のため強度の分散が複雑なためと思われる。バンプについては、EWSR ($S_L + S_H$) は、14.2, 12.6, 8.7, 14.3%、また全体への寄与 ($S_L + S_H / \text{St}$) は、45, 63, 63, 84% で、LEOR の殆どどの強度がバンプに集中する傾向を示す。 ^{150}Sm 以下での二つのバンプの強度比は、 $S_L / (S_L + S_H)$ は、18, 34, 43% と低エネルギー測のバンプに強度が移ってゆく。二つのバンプ間のエネルギー差は変形核において $\sim 2\text{ MeV}$ となり、GQR で推定される K 成分の分離中とほぼ同じ値となり興味深い。図 4 に、その様子を

横軸に変形パラメータに取った図を示す。これらの結果より核変形の大きさは、強度分布の分散と伴に励起エネルギーの低下にも重要な役割を果しているのがわかる。

これらに対して、Nilsson 型調和振動子ポテンシャル+八重極-八重極残留相互作用を用いた RPA 解析により、Sm 同位体の強度分布の再現を試みた。その結果を図 5 に示す。計算では、¹⁴⁴Sm の LEOR の位置を再現するように相互作用の強さを調節し、4 同位体で同じ値を用いた。図 5 には、 $K=0, 1, 2, 3$ の各成分の和を示している。St, S_L, S_{II} は、各々 $E_x = 0 \sim 10$ MeV, $E_x = 3 \sim 5$ MeV, $E_x = 5 \sim 7$ MeV までの EWSR の計算結果であり、^{150,152,154}Sm に対して (St, S_L, S_{II}) = (19.7, 2.5, 8.7%), (18.3, 3.0, 5.7%), (16.3, 3.4, 5.4%) と全体の値及びその傾向、低エネルギー側のバンブへの EWSR 強度の移行の傾向をうまく説明することができた。しかし、励起エネルギーの重心の位置は、各同位体で一定となる傾向を示し、再現できなかった。各 K 成分による分布は、¹⁵⁰Sm ($\delta=0.19$) では、 $K=0, 1, 2, 3$ はほぼ同様な分布をするが、核変形が大きくなると ($\delta \sim 0.3$)、 $K=3, 1$ は高励起エネルギー側へずれ、 $K=2$ は均一分布に近くなり、 $K=0$ は $E_x = 5$ MeV に集中している。よって、¹⁵⁰Sm は $K=0, 1, 2, 3$ がほぼ同じように二つのバンブに寄与するが、^{152,154}Sm では、S_L は $K=0, 2, 3$ 、S_{II} は $K=1, 2, 3$ により対応づけられる。以上の結果を表 1 に示す。このように、LEOR の分散は、GDR のように直観的ではなくすべての K 成分の競合の結果、生じたものと言える。

第 4 章 結 論

$E_\alpha = 65$ MeV の α 粒子を用い、分析電磁石を使用することにより分解能の良いデータを得ることができた。その結果 ^{150,152,154}Sm において二つの LEOR のバンブを観測することができた。このように変形核で系統的な実験データは初めてのものであり、^{150,152}Sm については、本実験により初めて明らかにされた。Sm 同位体の isoscalar LEOR は核変形が大きくなるに従い、重心の位置が低下し、低エネルギー側のバンブに EWSR 強度が移って行く。このように核変形は、LEOR の分散と伴に励起エネルギーの低下にも重要な役割を果している。Nilsson 型調和振動子+八重極-八重極相互作用を用いた RPA 計算との比較において、二つのバンブ間のエネルギー差及び EWSR の分布のようすを再現できるが、励起エネルギーの低下は説明出来なかった。これを改良するには、相互作用の選択などの問題を検討する必要がある。また、LEOR の K 成分の分布は、GDR のように直観的な分離は与えず、すべての K 成分の競合により起ると考えられる。

参考文献

- 1) E.G. Fuller and M.S. Weiss, Phys. Rev. 112 (1958) 560
- 2) M. Danos, Nucl. Phys. 5 (1958) 23
K. Okamoto, Phys. Rev. 110 (1958) 143
- 3) T. Kishimoto, J.M. Moss, D.H. Youngblood, J.D. Bronson, C.M. Rozsa, D.R. Brown, and A.D. Bacher, Phys. Rev. Lett. 35 (1975) 552
- 4) H.P. Morsch, M. Rogge, P. Turek, P. Decowski, L. Zemlo, C. Mayer-Boricke, S.A. Martin, G.P.A. Berg, I. Katayama, J. Meissburger, J.G.M. Romer, J. Reich, P. Wucherer, and W. Brautigam, Phys. Lett. 119B (1982) 311
- 5) J.M. Moss, D.R. Brown, D.H. Youngblood, C.M. Rozsa, and J.D. Bronson, Phys. Rev. C18 (1978) 741
- 6) T. Tohei, T. Nakagawa, R. Asano, J.I. Hirota, M.H. Tanaka, T. Hasegawa, and K. Iwatani, Proc. 1980 RCNP Int. Symp. on Highly Excited States in Nuclear Reactions (H. Ikegami and M. Muraoka, Osaka) p. 211

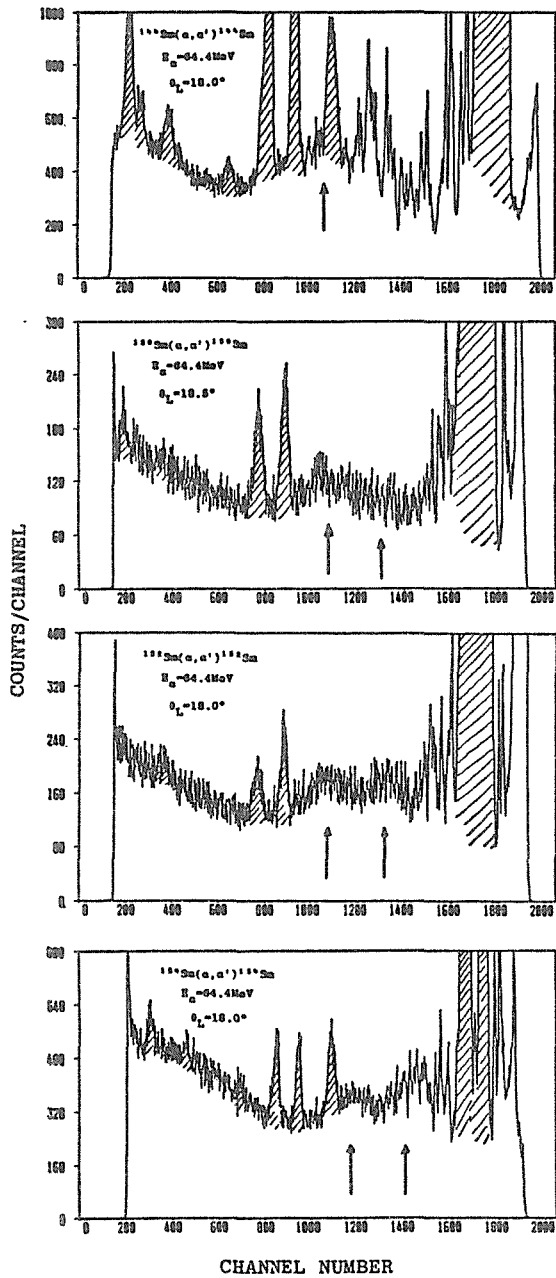


図1 Sm 同位体の $O_L = 18^\circ$ での運動量スペクトラム

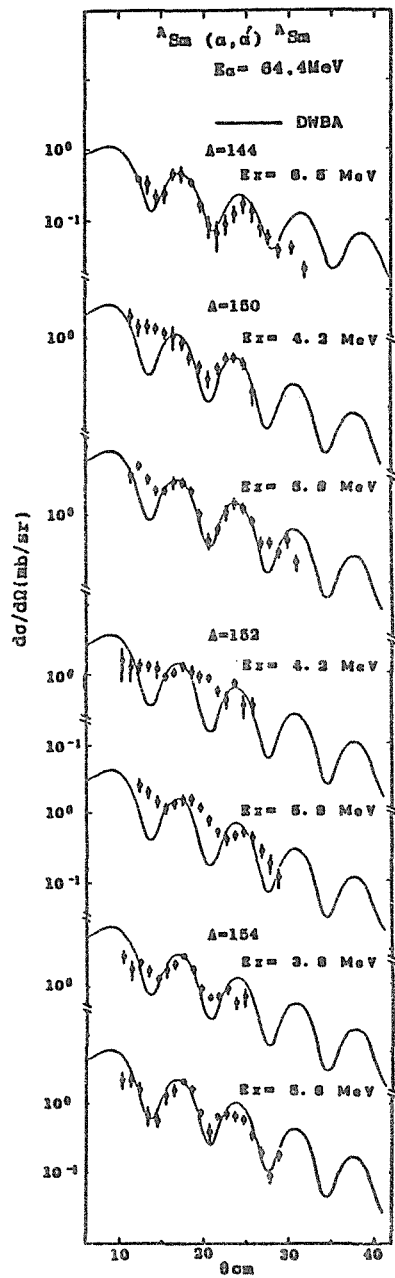


図2 得られたバンプの角度分布

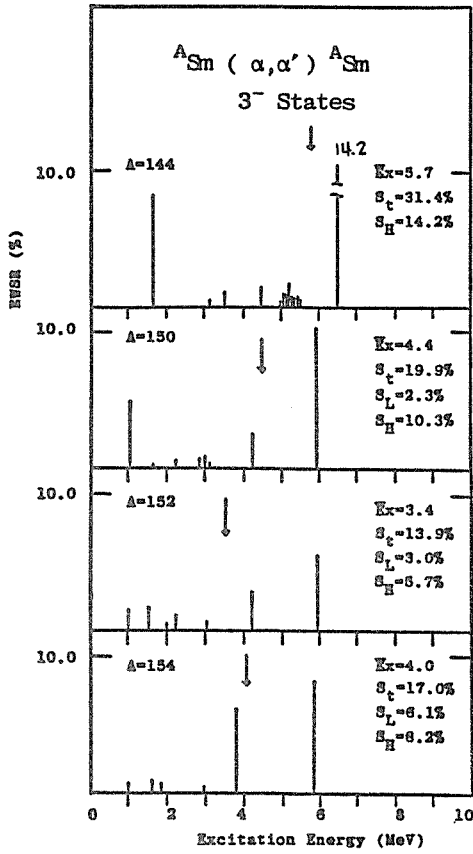


図3 Sm同位体の 3^- 状態のEWSR分布

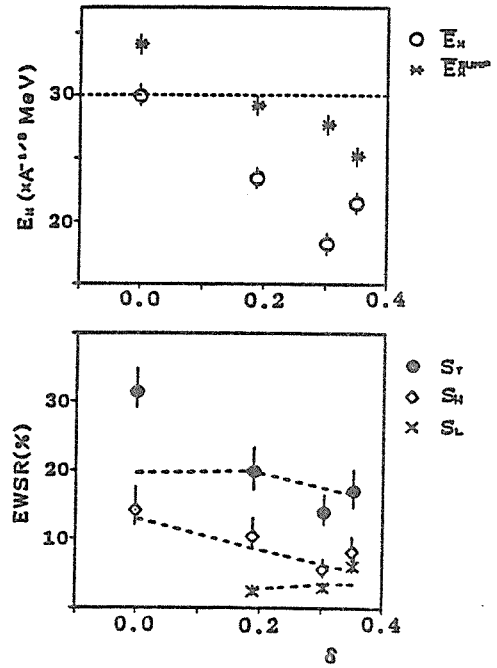


図4 重心の位置及びEWSRのsystematics.上図中の点線は、 $E_x = 30A^{-1/3}\text{MeV}$ を、下図中の点線はRPAの計算結果を示す。

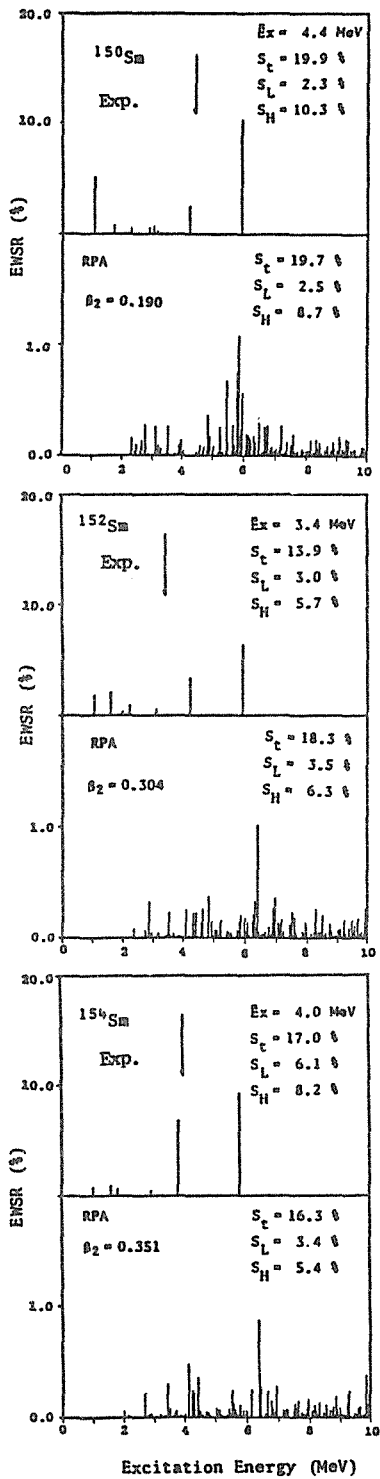


図5 RPA 計算結果(RPA)と実験結果 (Exp)の比較

TABLE 1. Comparison of observed 3^- EWSR strengths with calculated ones for the $^{144,150,152,154}\text{Sm}$ Nuclei.

Nuclei	3^-		S_L		S_H		S_c	
	E_x (MeV)	Exp. (%)	E_x (MeV)	Exp. (%)	E_x (MeV)	Exp. (%)	E_x (MeV)	Exp. (%)
^{144}Sm	1.81	8.6			6.5	14.2	5.7	31.4
^{150}Sm	1.07	4.6	4.2	2.3	5.9	10.3	4.4	19.9
^{152}Sm	1.04	1.6	4.2	3.0	5.9	5.7	3.4	13.9
^{154}Sm	1.03	0.8	3.8	6.1	5.8	8.2	4.0	17.0
				3.4		5.4		16.3

論文審査の結果の要旨

原子核の巨大共鳴の中で、核子の1主殻飛躍に相当する低エネルギー八重極共鳴(LEOR)について、その変形核における振舞を明らかにするのが本研究の目的である。

実験は東京大学原子核研究所のSFサイクロトロンからの65MeV α 粒子ビームを使って行われ、 $^{144,150,152,154}\text{Sm}$ の4種のターゲットから散乱された α 粒子エネルギースペクトルが、広域磁気分析装置によって多くの散乱角で推定された。測定結果は歪曲波ボルン近似による計算を用いて解析され、その結果、球形核の ^{144}Sm では微細構造を持つLEORのバンプが明らかになり、 $^{150,152,154}\text{Sm}$ と変形核に移り変形が大きくなるに従ってLEORの重心のエネルギーが低くなり、バンプも2つに分離することが発見された。得られたLEORの和則値に相対的な強度 S_L とその重心の励起エネルギー E_x は、 $^{144,150,152,154}\text{Sm}$ においてそれぞれ $S_L=31.4, 19.9, 13.9, 17.0\%$; $E_x=5.7, 4.4, 3.4, 4.0\text{MeV}$ であった。又、変形が大きくなるにつれて、2つに分離した低エネルギー側のバンプの強度 S_L が2.3%から6.1%まで増加し、一方、高エネルギー側のバンプの強度 S_H と第一励起 3^- 状態の強度が減少する傾向が明らかになった。これらの結果により変形核の変形の大きさがLEORの強度分散ならびに重心エネルギーの移動に重要な役割を果たしていることが推測される。

これらの実験結果を理解するために、Nilsson型調和振動子ポテンシャルと八重極-八重極相互作用を用いた乱雑位相近似(RPA)の計算による理論的解析が行われた。 ^{144}Sm のLEORの位置を再現するように相互作用の強さを調節し、そのパラメータを用いて計算が行われた。核スピンの変形対称軸方向の成分Kの値0, 1, 2, 3のそれぞれについて個別に計算し、実験で得られた S_L, S_L, S_H に相当する理論値を求めてみた所、観測されたLEORの強度分布の振る舞いが良く再現されることが明らかとなった。しかし、バンプの重心に当る励起エネルギーがSm同位体の質量に余り依存しないという実験結果は、この計算では再現できなかった。また、各成分ごとの強度分布の計算結果を観測されたLEORの構造と比較してみると、 ^{150}Sm では $K=0, 1, 2, 3$ がほぼ同じように2つのバンプに寄与するが、 $^{152,154}\text{Sm}$ では $K=0, 1, 3$ が S_L に、 $K=1, 2, 3$ が S_H に寄与をもつことが明らかになった。変形核の巨大双極共鳴(GDR)において観測される2つのバンプが、一方は $K=1$ 、他方が $K=0$ に対応しており解釈が簡単であるのと異なり、LEORの場合はK成分の複雑な分散によってバンプの分散が起ると考えられる。

以上のように、本論文は著者が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。よって広田淳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。