

## V. 原子核実験グループ

教授 古野興平、八木浩輔  
 助教授 青木保夫、青木孝義、石原豊之、田岸義宏、三明康郎、李 相茂  
 講師 新井一郎、栗田和好、竹内雄三  
 助手 小松原哲郎、溝田武志、向 淳子  
 準研 呂 駿  
 技官 加藤純雄  
 大学院生 36 名

### 【1】重イオン核分光学および加速ビームの境界領域への応用

#### (1) $^{78}\text{Rb}$ の原子核構造の研究(向 淳子、呂 駿、小松原哲郎、古野興平)

質量数  $A \sim 80$  領域の中性子欠損核は  $Z \sim 38$  付近で大きな変形を示す事が知られている。また、フェルミ表面近傍の殻模型軌道として大きな角運動量を持つ  $g_{9/2}$  があり、これに陽子や中性子が配位された内部構造の回転バンドが数多く観測されている。このような核構造の系統性を調べるために奇奇核  $^{78}\text{Rb}$  ( $Z = 37$ 、 $N = 41$ ) の励起準位に関する核分光学実験を行なった。

加速器センターのタンデム加速器から得られる 110 MeV の  $^{28}\text{Si}$  ビームを用いて  $^{54}\text{Fe} (^{28}\text{Si}, 3pn)$  反応により  $^{78}\text{Rb}$  を生成し、励起状態から放射される  $\gamma$  線はクリスタルボールで測定した。上の核反応で同時に生成される  $^{78}\text{Rb}$  以外の原子核からの  $\gamma$  線を取除くために、昨年開発した 16 分割、厚さ 200  $\mu\text{m}$ 、全立体角の 74 % のシリコン検出器、ならびに 3 個の大型中性子検出器を  $\gamma$  線検出器と同時に使用した。

図-1 に新しく作製した励起準位を示す。低い励起状態は今までの報告と良く一致する。しかし一番下の準位については、 $\gamma$ - $\gamma$  同時計数および  $^{78}\text{Sr}$  の  $\beta$  崩壊実験の両面から調査したが、基底

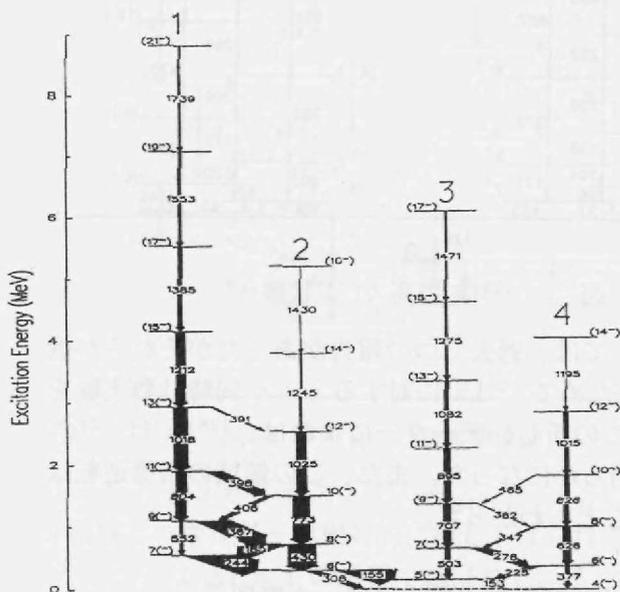


図-1  $^{78}\text{Rb}$  の励起準位図

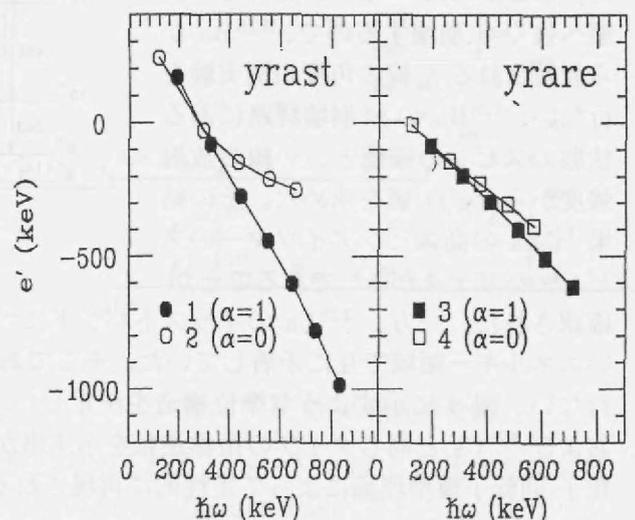


図-2  $^{78}\text{Rb}$  に対する Routhian。Yrast はバンド 1、2 に、Yrare はバンド 3、4 に対応する

状態から測った励起エネルギーを決める事は出来なかった。ただしスピン・パリティは磁気モーメントの測定から  $4^-$  とされている既報のデータを採用した。その他の準位のスピンの過去の

データから推定した。この準位構造には四つのバンド構造がある。各バンドに対して回転系でのエネルギーである Routhian を作ると図-2 の様になる。バンド 1 は奇数スピンの指標量子数  $\alpha = 1$ 、バンド 2 は偶数スピンの  $\alpha = 0$  であるが、Routhian は二つの指標量子数の間でエネルギーと共に分離が増加する。またエネルギーの低い領域で二つの Routhian が交差し、指標逆転が起こっている。指標分離の大きさは近隣の奇数質量核の  $g_{9/2}$  バンドと同程度であり、 $^{78}\text{Rb}$  のバンド 1 および 2 に於ける内部粒子配位には  $g_{9/2}$  が寄与している事を示唆している。これに対してバンド 3 と 4 では指標分離が小さく、 $f_{5/2}$  または他の負パリティ軌道が関与していると考えられる。

(2)  $^{128}\text{La}$  のイラストバンドに於ける指標逆転(早川岳人<sup>1)</sup>、向 淳子、小松原哲郎、古野興平)

先に我々が  $^{124}\text{Cs}$  と  $^{126}\text{Cs}$  において確認した指標逆転現象を、 $A \sim 130$  領域の広い範囲で系統的に確認するために、 $^{128}\text{La}$  のイラストバンドのスピンの、特にバンドヘッドのスピンの決める実験を続けた。昨年度までに  $^{128}\text{La}$  には二つの  $\beta$  崩壊する状態があり、一つは半減期  $T_{1/2} = 5.2 \pm 0.3$  分で、もう一つは  $T_{1/2} < 100$  秒であることが結論された。二つの状態の内どちらが高い励起エネルギーを持つかはこれまでの実験だけでは決定できないが、近隣の奇数質量核の基底状態並びに高スピンアイソマーの系統的振舞から、高スピンアイソマーの方が高い励起エネルギーにあると仮定した。ここからは  $^{128}\text{Ba}$  の高スピン状態へ強く  $\beta$  崩壊するので、 $^{128}\text{Ba}$  から放射される  $\gamma$  線の角度相関実験を行ない、 $^{128}\text{Ba}$  の  $\gamma$  崩壊経路にある状態のスピンの確認と、 $\gamma$  線の放射強度から  $\log ft$  値を求めた。その結果  $^{128}\text{La}$  の高スピンアイソマーのスピンのパリティが  $5^+$  であることが確認された。一方、 $^{128}\text{La}$  のイラストバンドについては、過去二つの報告があったがそれらが低いエネルギー領域で互に矛盾していた。そこであらためて  $^{128}\text{La}$  に対する  $\gamma$ - $\gamma$  同時計数実験を行ない、図-3 に示すような準位構造を決定した。この新しいデータによれば、 $^{128}\text{La}$  は  $^{124}\text{Cs}$  および  $^{126}\text{Cs}$  と同じタイプの指標逆転を示す事が明らかになった。また、この領域の指標逆転は粒子-回転子模型理論によって定性的に再現されることもわかった。

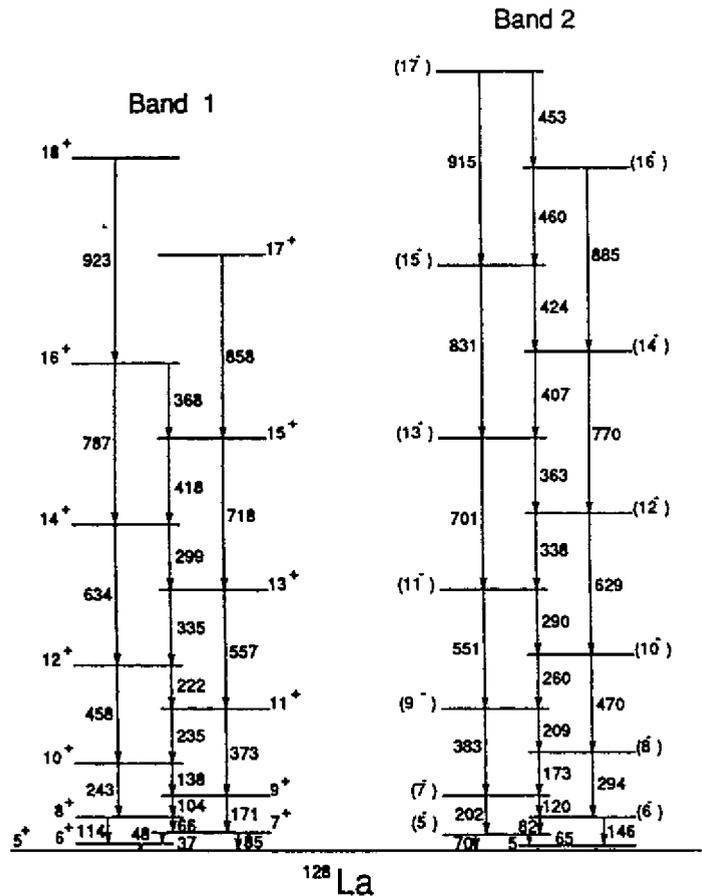


図-3  $^{128}\text{La}$  の高スピン状態

(3) 質量数  $A \sim 130$  領域の原子核構造(呂 駿、小松原哲郎、向 淳子、古野興平)

質量数  $A \sim 130$  領域の偶偶核によって、低励起ガンマバンドの性質、非軸対称変形の自由度の寄与、2準粒子励起バンド、高スピン状態に於ける集団的な M1 遷移で結ばれたバンドなど、多くの核分光学的に興味ある問題が研究できる。今までに  $^{134}\text{Ce}$  および  $^{132}\text{Ba}$  の励起準位に関する

<sup>1</sup>大学院物理学研究科、博士課程5年

詳しい実験を行ない、現在データ解析を進めている。

(4) 韓国との国際共同研究

(古野興平、小松原哲郎、向 淳子、呂 駿、C.S. Lee<sup>2)</sup>、C.B. Moon<sup>3)</sup>)

昨年度に引続き加速器センターのクリスタルボールを用いて二つの共同研究を行なった。一つは <sup>156</sup>Ho の高スピン状態、もう一つは <sup>112</sup>Sb の高スピン核構造に関するものである。

希土類の奇奇核には系統的に陽子が  $\pi h_{11/2}$  軌道に、中性子が  $\nu i_{13/2}$  軌道に配位し、これらの核子が回転軸方向にそのスピンを整列させた、所謂 decoupled band が観測されている。さらに中性子数が 88 より多いと原子核はプロレート変形で励起準位は集団運動的性質を示し、86 を境にして僅かなオブレート変形に移行すると共に単一粒子的励起が強くなると考えられるが、これまで十分な実験データが無かった。この境界を明確にするために昨年度の <sup>154</sup>Ho に続いて <sup>156</sup>Ho の励起状態を研究した。<sup>140</sup>Ce(<sup>19</sup>F,3n $\gamma$ )<sup>156</sup>Ho 反応を用いた  $\gamma$ - $\gamma$  同時計数および角度相関実験から得られた実験結果を図-4 に示す。

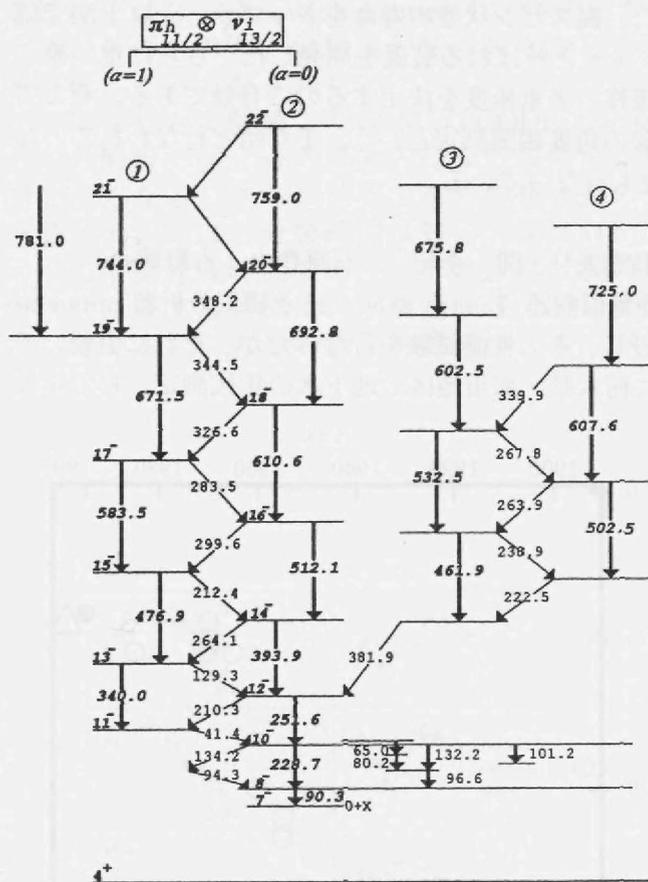


図-4 <sup>156</sup>Ho の励起準位図

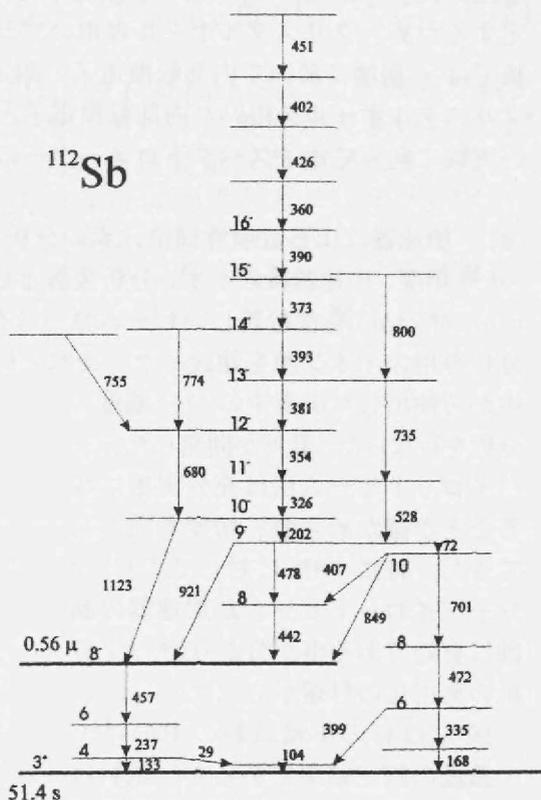


図-5 <sup>112</sup>Sb の励起準位図

バンド 1 と 2 がイラストで、 $\pi h_{11/2} \otimes \nu i_{13/2}$  配位と考えられる。バンド 2 は 1 に比べて高スピン領域でエネルギーが相対的に押し下げられており、いわゆる favored band であろう。またバンド 1 と 2 は  $\Delta I = 1$  の遷移で結ばれている。バンド 3 と 4 は今までに報告されていない新しいデータである。また低い励起状態については準位構造が飛躍的に詳しくなった。現在、理論との比較等物理的な解析を行なっている。

次に <sup>112</sup>Sb であるが、この領域は陽子に対して閉殻に近いので、低い励起状態は球形核に特徴

<sup>2)</sup>韓国、中央大学助教授

<sup>3)</sup>韓国、湖西大学助教授

的なスペクトルを示す。その一方で高励起・高スピン状態には非常に明確な回転的スペクトルが現れる事が最近の実験で確認された。これは  $h_{11/2}$  の様な所謂 high- $j$  intruder orbital によるものと、 $\pi(g_{7/2}^2 \otimes g_{9/2}^{-2})$  の様な  $2p-2h$  励起に基づく集団性と考えられる。我々が実験的に調べた  $^{112}\text{Sb}$  の実験結果を図-5 に示す。ここで  $9^-$  状態の上に形成されるバンド構造が近隣の奇数質量数核と非常によく一致しており、 $\pi g_{9/2}^{-1}$  の proton hole による collectivity として説明できるか否かを現在分析している。

(5) 実験装置の改良と開発(小松原哲郎、向 淳子、呂 駿、古野興平)

クリスタルボールを用いた核分光実験を現在よりも更に豊富な内容を持ったものにするために、幾つかの改良と開発を行なった。クリスタルボールに於ける  $\gamma$  線検出器は高エネルギー分解能を要求するので、必然的に検出器の出力パルスの幅をあまり狭くする事が出来ない。したがって計数率が高い場合後続パルスの積重なり (pile up) が起こり易く、これがスペクトル線の歪となって精密な測定の障害になる。pile up を起こした事象を取除いて検出器としての計数特性を改良するために、“pile-up rejector”を開発した。また、高スピン状態の寿命をドップラーシフト法で測定するため、クリスタルボール専用のプランジャーと呼ばれる装置を開発した。さらに重い原子核では  $\gamma$  崩壊に於いて内部転換電子の測定が遷移の多重極度を決定するのに有効である。そこでクリスタルボールを用いた内部転換電子と  $\gamma$  線の角度相関測定という、まだ殆ど行われていない実験に向って電子スペクトロメーターの開発も行なっている。

(6) 加速器による放射性同位元素の分析(長島泰夫<sup>4</sup>)、関 李紀<sup>5</sup>)、石原豊之、古野興平)

昨年度、加速器後のイオン分析装置として静電偏向器 (Energy selector) と磁気分析器 (momentum selector) を含む新しいビームコースを建設し、その性能試験を行なったが、それに引続いて分析専用のイオン源を建設した。それと同時に栃木県・那須地区の地下水の年代測定、杉の年輪中から抽出した炭素中の  $^{14}\text{C}$  濃度の分析を行なった。我々が開発した分子パイロットビーム法は充分実用になることが確かめられ、精度も向上してきた。特に  $^{36}\text{Cl}$  に対して  $^{12}\text{C}_3$  3分子パイロットビームが加速器の制御に有効である事が分かり、 $^{36}\text{Cl}$  分析の実用化の目途が立った。

図-6 は杉の年輪試料の中の  $^{14}\text{C}$  の濃度の測定結果であるが、試料は1988年に静岡県水窪営林署内で採取された樹齢96年の杉の木から作製したものである。樹齢80年附近から  $^{14}\text{C}$  の濃度が段階的に増加しているが、この増加は1960年頃の原水爆実験と極めて強い相関を示している。

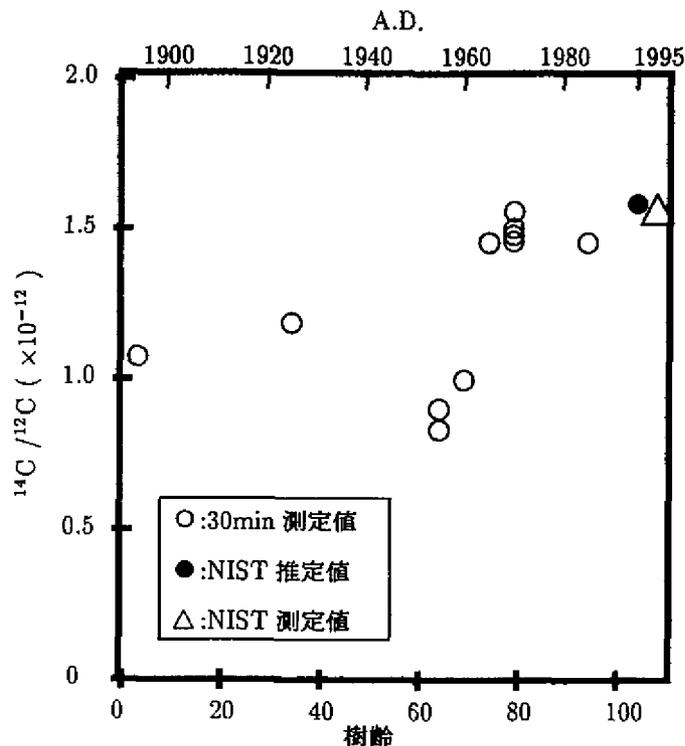


図-6 杉の年輪中の  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  比

<sup>4</sup>筑波医療技術短期大学 教授

<sup>5</sup>化学系 講師

## 【2】 クラスターと重イオン核反応 (李 相茂、溝田武志)

### (1) 高温中重核・核分裂時間の角運動量依存性

(二見康之<sup>1)</sup>、中川孝秀<sup>2)</sup>、中川恵子<sup>3)</sup>、李 相茂)

現在、原子核物理の基礎課題の一つは、核物質の性質をその有限性と温度の関数として明らかにすることである。そこで、核の粘性の温度変化を決めるべく核分裂時間の遅延の度合が今まで主として重い核 ( $A \sim 200$ ) で中性子と核分裂の測定により調べられて来た。そして、粘性ゼロで期待される核分裂時間  $\sim 10^{-21}$  sec にたいして実験は  $10^{-20}$  sec と 10 倍大きい値を示した。

我々は、この方法の中重核 ( $A \sim 100$ ) に拡張し、荷電軽粒子と核分裂片の測定により核分裂時間を求めてきた。最近  $^{58}\text{Ni}(580\text{ MeV}) + ^{56}\text{Fe}$  と  $^{84}\text{Kr}(890\text{ MeV}) + ^{27}\text{Al}$  で似た複合系を作り、核分裂時間の系と角運動量依存性を見た。

実験は理研のリングサイクロトロンを用いて行われ、核分裂片は T-O-F により、荷電軽粒子は  $3\pi$  phoswich counter で同時測定がなされた。軽粒子スペクトルは分裂前の複合核からのものと、分裂後の核分裂片からの寄与の分と 3-source fit で図 1 のごとく運動学的解析によってなされた。

得られた実験値より GEMINI CODE と Extended Hauser Feshbach 法による独立な統計モデルの解析で図 2 a) の黒丸の様な分裂時間が得られた。系の非対象性が大きいほど分裂時間は長くなる。さらに世界で初めて複合系の分裂時間の角運動量依存性が求まった。角運動量が大きいほど分裂時間は短い。図 2 a), b) の白丸は深部非弾性散乱による入射チャンネルの平衡達成時間であり、これらは分裂時間よりはるかに大きい。恐らく、系が完全平衡状態に達する時間は、平衡達成後分裂に要する時間よりも遙かに長いことを計算結果は示している。これらの物理的意味は、よりダイナミカルな理論によって解明されつつある。

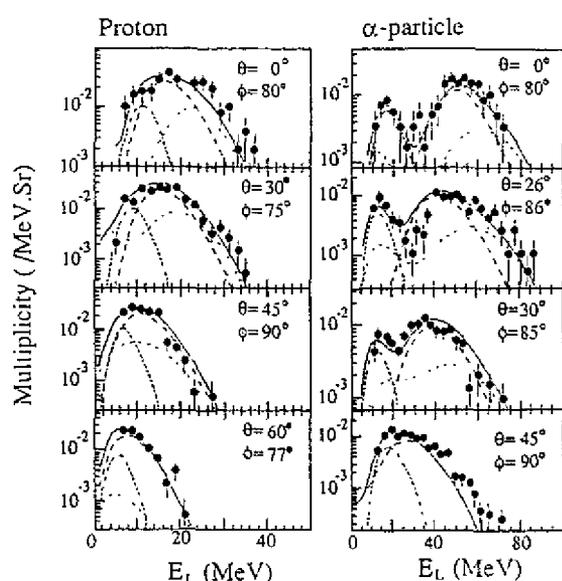
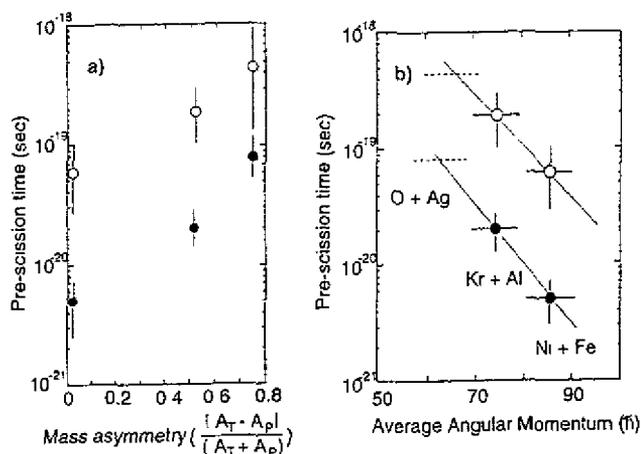


図 1



- : 統計理論計算による核分裂時間
  - : 深部非弾性散乱理論による入射チャンネル平衡達成時間
- 図 2 a), b)

<sup>1)</sup> 放射線医学総合研究所

<sup>2)</sup> 理化学研究所 研究員

<sup>3)</sup> 東北大学 研究生

(2) プラズマ中のC<sub>60</sub>クラスター単分子崩壊

(富田成夫<sup>1)</sup>、三浦崇<sup>2)</sup>、溝田武志<sup>3)</sup>、李 相茂)

近年C<sub>60</sub>について多くの実験及び理論的研究がなされている。そして、C<sub>60</sub>の崩壊のチャンネルとして中性のC<sub>2</sub>分子を連続的に放出する反応がよく知られている。我々の研究の目的はC<sub>60</sub>のアーキ放電プラズマ中での崩壊機構をイオン源から得られるビームの質量分布を調べることによって解明することにある。

フラーレンイオンの生成は通常の熱陰極電子衝撃型イオン源に約30mgのC<sub>60</sub>/C<sub>70</sub>混合粉末を入れた可動容器を挿入することによって行った。この結果C<sub>60</sub>からC<sub>34</sub>までのC<sub>2</sub>毎の質量分布を得た(Fig.1)。さらに、その強度は指数関数的に変化している。これは魔法数であるC<sub>60</sub>、C<sub>50</sub>等をのぞくすべてのC<sub>n</sub>クラスターの崩壊は極めて統計的な現象であることを意味している。

イオン源内での質量分布の平衡、及び飛行中の崩壊を考えると最終的に得られる質量分布の相対値は次の式で与えられる。

$$Y_n = \frac{k_{n+2} \exp(k_{n+2} t_{n+2})}{(k_n + 1/\tau_n) \exp(k_n t_n)} \times Y_{n+2}$$

ここでt<sub>n</sub>は引き出し電極から検出器に到達するまでの飛行時間であり、これは実験の条件から計算できる。さらにk<sub>n</sub>はC<sub>n</sub><sup>+</sup>クラスターの崩壊反応速度を、τ<sub>n</sub>は閉じこめ時間をあらわす。また、閉じこめ時間のクラスターサイズ依存性はτ<sub>n</sub> ∝ √nとなる。よって、イオンの相対強度はk<sub>n</sub>とτ<sub>60</sub>を決定することによって計算できる。

FHB模型を用いるとisokinetic temperature T<sub>b</sub>のC<sub>n</sub><sup>+</sup>イオンの崩壊反応速度は

$$k(T_b) = A \exp\left(-\frac{E_a}{k_B T_b}\right)$$

$$A = 3 \times 10^{13} n^{2/3} \exp(6/n^{1/3})$$

与えられる。前述のように統計的な平衡を仮定をしているので、魔法数を除いた議論においてGspann Parameter  $\gamma = E_a/k_B T_b$ を導入する。この値としてKlotsによって計算された $\gamma = 23.5$ を用いる。するとイオンの質量分布はτ<sub>60</sub>のみによって計算できる。τ<sub>60</sub>をパラメーターとしてフィットを行うと、質量分布を非常によく再現することができた(Fig.2)。このときのτ<sub>60</sub>の値は約10<sup>-5</sup>秒であり、実験的条件から予想された値とも一致している。

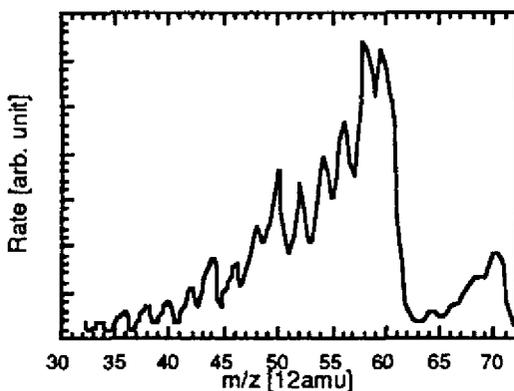


Fig.1イオン源から得られる質量分布

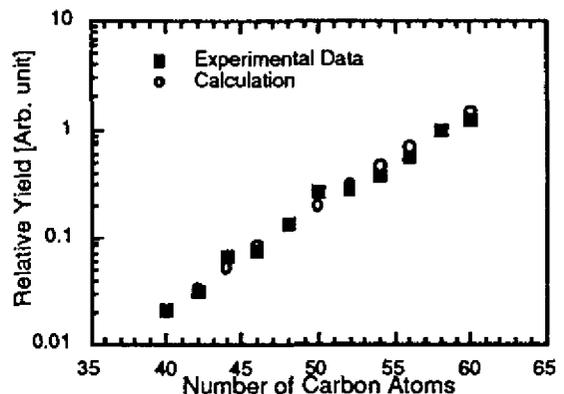


Fig.2質量分布の強度に対する計算と実験の比較

<sup>1)</sup> 大学院物理学研究科 博士課程5年  
<sup>2)</sup> 大学院物理学研究科 博士課程2年  
<sup>3)</sup> 大学院物理学研究科 研究生

### (3) C-, C<sub>60</sub>, C<sub>70</sub>-foil からの PDMS によるクラスター放出機構

(本城義夫<sup>7)</sup>、栗田哲郎<sup>8)</sup>、溝田武志<sup>9)</sup>、李 相茂)

~1MeV/u 重イオンを物質に照射する Plasma Desorption Mass Spectrometry(PDMS) を用いて、アモルファス、C<sub>60</sub>、C<sub>70</sub> 標的からのクラスター正イオン生成を研究した。

得られたクラスターのスペクトルは、どの標的からでも、500 amu 以下のスペクトルが似ており、特徴として C<sub>34</sub>H<sub>n</sub><sup>+</sup> が目立って大きい。三つの標的物質は炭素の同素体だから、これらクラスターの作られ方として示唆されるのは、標的構造が完全に破壊されてしまう熱いプラズマ領域からの再構成による生成である。他方、500 amu 以上のスペクトルをみると、C<sub>60</sub>、C<sub>70</sub> の標的からは C<sub>60±2n</sub>、C<sub>70±2n</sub> が目立ち、アモルファスカーボンからは質量 500 amu 以上に目立ったピークがない。

クラスター収量率 Y の阻止能 S への依存性を調べると、データは全て次の関数形

$$Y = c \cdot S^m \quad (m=1, 1.5, 2)$$

であった。阻止能が大きくなると、熱い領域も大きくなり、これに比例して収量も増えるだろう。いくつかの仮定から、現象論的説明として  $Y = S^m$  の形を導くことができた。

プラズマは熱平衡になり、そして拡散膨張し冷える。クラスターの放出初速を測ると Maxwellian 分布を示したので放出時の温度が得られた (図 1)。水素クラスターは ~6 eV で、炭素クラスターと fullerene は ~2 eV であった。水素クラスターは標的表面から早い段階のプラズマで熱くなり放出されるので初速エネルギーが大きい。

炭素クラスター生成には 3 つの生成機構があることが分かった。質量 500 amu より重いイオンでは、非破壊の fullerene がもとになり、C<sub>60</sub>、C<sub>70</sub> より軽いものは統計的に多段階 C<sub>2</sub> 崩壊で作られ、重いものは多段階の C<sub>2</sub> 捕獲で作られる。

3 つ目はプラズマの膨張冷却のときに、バラバラの炭素原子を素材にして多重衝突を通じて軽い炭素クラスターができる過程である。これは中間エネルギー重イオン核反応の intermediate mass fragment(IMF) 生成過程に似ている。驚くべきことに炭素クラスター C<sub>n</sub> の収量 Y<sub>n</sub> には IMF の収量関係式と同様の次の関係があった (図 2)。

$$Y_n = K \cdot \exp(-\alpha \cdot n) \quad \alpha=0.17$$

また炭素クラスターと fullerene は温度が等しく ~2eV であり、阻止能依存性も m=2 型で同様であることから、同じ温度領域で生成したと考えられる。

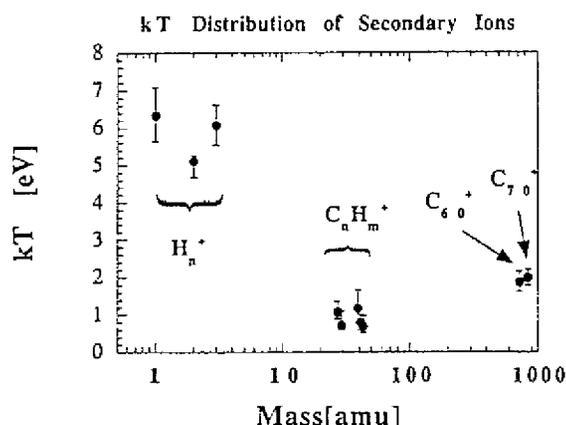


図 1 : クラスターの温度 kT 分布

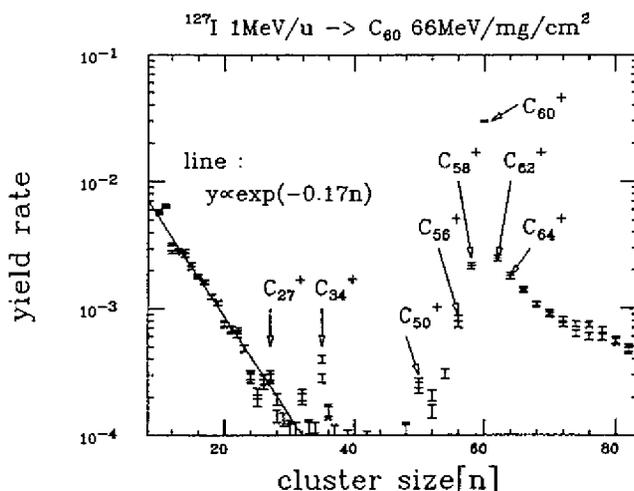


図 2 : クラスターの収量率

<sup>7)</sup> 大学院物理学研究科 博士課程 5 年

<sup>8)</sup> 大学院理工学研究科 修士課程 2 年

<sup>9)</sup> 大学院物理学研究科 研究生

### 【3】 スピン偏極核反応実験（青木保夫、田岸義宏）

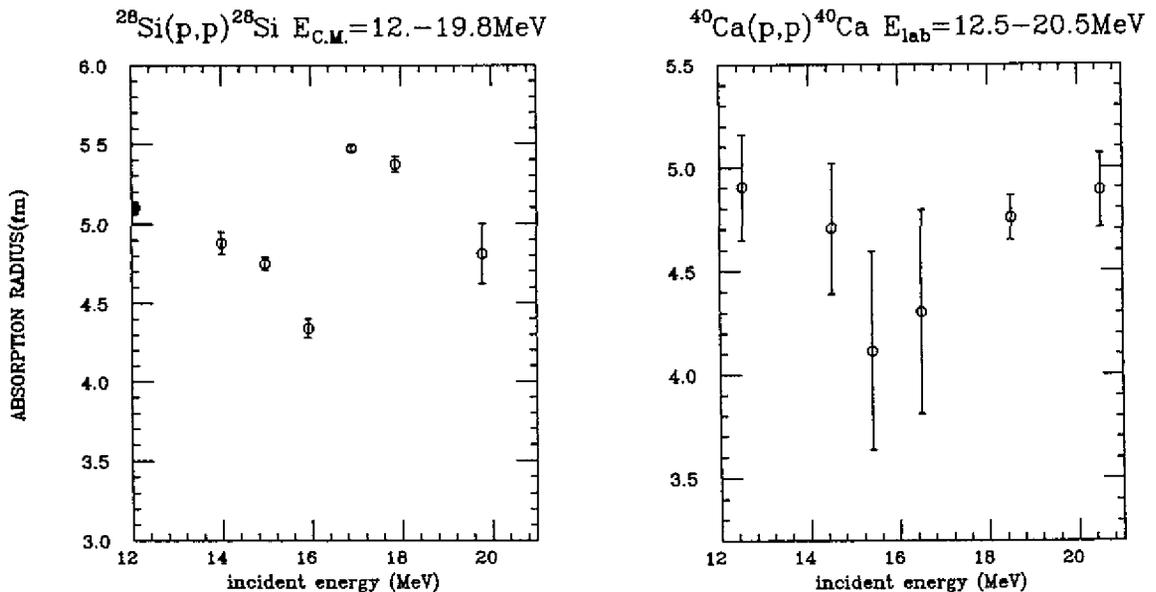
#### (1) ‘モデルに依存しない’ 光学ポテンシャル探索

昨年度とこのタイトルは同じである。 昨年からの手法の改善された部分は主に計算時の誤差を少なくし安定性を改良する事に向けられた。即ち、関数の最小化の分野では”悪名高い深い谷の問題”として良く知られていることだが、一般に最小化したい関数が敏感なパラメータとかなり鈍感なパラメータを含み、問題のかなり細かな部分に依存し先見的には区別できない。別の言葉で言えば、問題の条件数と呼ばれるパラメータが非常に大きくなることがある。これをかなりの程度軽減させる事は、数値計算を安定的に実行する上でかなり大切な事である。光学ポテンシャルを展開する基底に直交変換を施すことによりこの問題を軽減する現実的な手法を開発した。もう一つの改良点も実用的な物である。上記展開基底にパラメータを含ませる事により表現力を豊かにすることが出来るが、この事は逆にパラメータの選択という新しい問題を持ち込む事でもある。この問題を実用的に軽減しなければ却ってトラブルを増やすだけである。おおまかなパラメータの値には経験が役立つが細かな値を決定するには個別の問題に聞く方がよい。即ち、パラメータの適応的 (adaptive) な改良という手法を考えた。作戦としては、直交基底に含まれたパラメータで直交基底を微分できれば適応的改良の指針を立てる事ができるので、出発点とする非直交基底を直交化する時にパラメータによる微分が直交化の結果にどのように影響するかを一次の無限小量の範囲で数値計算可能な様に、定式化すれば良いわけである。筆者が開発した直交化の手法はこれを実現する様に簡単に拡張できた。その結果標記‘モデルに依存しない’ 光学ポテンシャル探索の一般的な手法は確立されたと考える。この手法の結果として、 $^{40}\text{Ca}$  と  $^{28}\text{Si}$  からの偏極陽子弾性散乱を (p, n) 反応閾値付近で観測し、(p, n) 反応がそれ以外の反応 (主に陽子非弾性散乱) と原子核の表面付近約 1 fm のところで、相殺的に干渉している様子を導き出すことが出来た。図は入射陽子が吸収される平均半径のエネルギー依存性を示している。

これまでの光学モデルによる解析は光学ポテンシャルを決定する事に重きを置いていたきらいがあるが、陽子が原子核のどの位置で吸収されるかという観点にたって解析する手段を確立した。

(p, n) 反応の閾値付近でのポテンシャルの変化からの上述べた干渉についての説明は未だ頭で考えたところが有るので、(p, n) 反応の実験をし弾性散乱と両立する説明が矛盾無く行えるかどうかを確認すべく (p, n) 反応の実験を準備している。

この解析をしていて、光学ポテンシャル虚部と吸収の関係をもっと追及すべきだと考えるようになり、テンソル偏極重陽子の全反応断面積の測定を次期計画とし準備を始めた。



## (2) $^{12}\text{C}(d, p)^{13}\text{C}$ 反応における偏極分解能の標準値の測定

筑波大学加速器センターの磁気分析器を用いたビームコース(QDQ二回散乱コース、ESP90コース)に設置する重陽子ビームポラリメーターの標準データとして重陽子入射エネルギー $E_d=12\text{--}22\text{ MeV}$ における $^{12}\text{C}(d, p)^{13}\text{C}(\text{g. s.})$ 反応の偏極分解能 $iT_{11}$ ,  $T_{20}$ ,  $T_{21}$ ,  $T_{22}$ の角度分布を測定し標準値を得た。今回の角度分布の測定を効率よく行うために入射ビームに対して左右対称にそれぞれ10本のCsI(Tl)を用いたシンチレーションカウンターを設置した。各カウンターは $5^\circ$ おきに設置されており一度に $45^\circ$ の角度範囲をカバーしている。各カウンターからの信号の読み出しを効率よく行うために10台の光電子増倍管のアノード信号を抵抗で直列に接続し荷電分割の方法を利用して各カウンターからの信号を区別した。偏極分解能の測定は、入射エネルギー12, 14, 16, 18, 20, 22 MeVで行った。偏極分解能の測定角度範囲は実験室系で、 $iT_{11}$ に対して $40^\circ\text{--}85^\circ$  ( $5^\circ$ ステップ),  $T_{20}$ ,  $T_{21}$ ,  $T_{22}$ に対しては、 $50^\circ\text{--}95^\circ$  ( $5^\circ$ ステップ)である。測定精度は、統計誤差として約1%、絶対値の誤差として約3%である。得られた測定値の絶対値と、角度およびエネルギーへの依存性から、ポラリメーターとして最適な角度は、 $iT_{11}$ に対して $\theta_{\text{lab}}=50^\circ$ 、 $T_{20}$ に対して $\theta_{\text{lab}}=65^\circ$ 、また $T_{21}$ ,  $T_{22}$ に対して $\theta_{\text{lab}}=60^\circ$ であることが判った。これらの結果を図に示す。

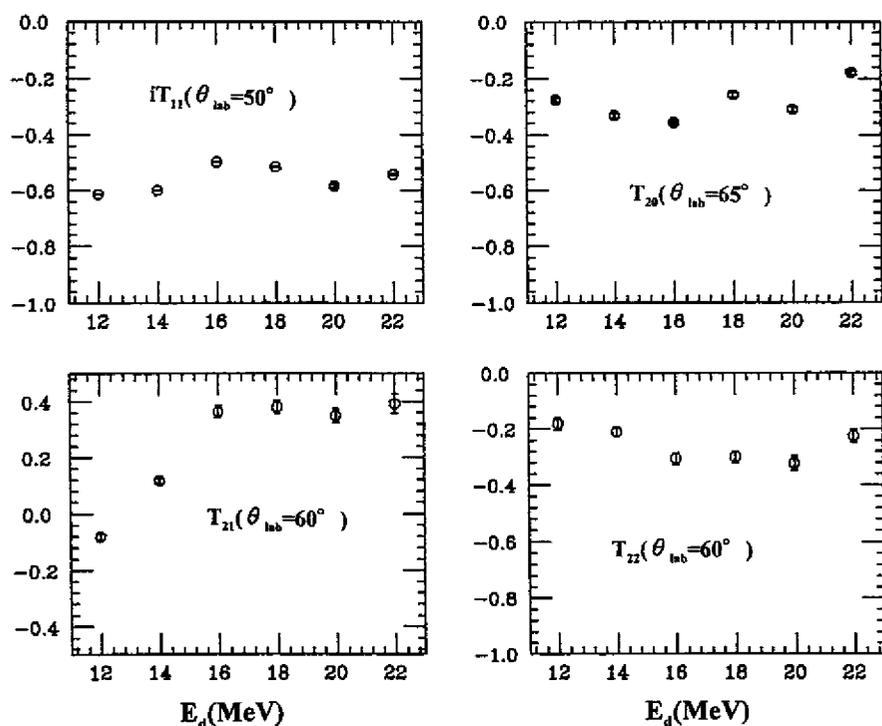


図 ポラリメーターとして最適な角度 ( $iT_{11}$ に対して $\theta_{\text{lab}}=50^\circ$ 、 $T_{20}$ に対して $\theta_{\text{lab}}=65^\circ$ 、また $T_{21}$ ,  $T_{22}$ に対して $\theta_{\text{lab}}=60^\circ$ )における偏極分解能の入射重陽子エネルギー依存性。

## (3) 単結晶Si中での重陽子照射効果

我々は、重陽子ビーム (エネルギー15–100 keV)を単結晶Siに照射し続けると、以下に示すような特徴を持った照射効果を初めて観測した。(1)照射量がある一定の臨界量( $(6\pm 2)\times 10^{17}$  ions/cm $^2$ )に達すると、間欠的に重水素ガスが照射表面から噴出する。(2)その結果照射表面にリング状に注入重陽子の飛程に対応する深さで底の平らなクレーターが形成される。(3)クレーターの形は、結晶表面の方位の方向によらない。(4)このような現象は、単結晶のGe, GaAs, CaF $_2$ , でも観察されるが、多結晶の金属やガラスではみられない。今回我々は、クレーター形成機構を解明するために次のような実験を行った。(1)このような現象が単結晶での照射の共通した現象であるのかをみるため新しくアモルファスおよび多結晶のSiに関して重陽子照射実験を行った。(2)形成されるクレーター

の形と照射ビーム分布との相関を調べた。(3)注入重陽子がどの段階からリング状に凝縮してくるのかをみるため、種々の照射量で照射した試料を照射後約500℃にアニールし注入層から重水素ガスを強制的にその表面から放出させ、このガス放出によって形成されたとみられる照射表面に生じたバブルの密度分布を調べた。

実験は、筑波大学加速器センターで行った。偏極イオン源の入射系に直径約20cmの散乱層を接続しSi半導体検出器および四重極質量分析器を用い、反応陽子および重陽子ガスの分圧の照射時間に対する変化を観測した。(1)の実験に関しては、単結晶SiとアモルファスSiでは同じような照射効果が観察された。即ち間欠的な重水素ガスの噴出が観測されその結果照射表面にリング状のクレーターが形成された。多結晶Siでも間欠的な重水素ガスの噴出が観測されたが、照射表面にはクレーターの形成が見られず多数のバブルがリング状に生じるのが観察された。この事からリング状にクレーターが形成されるには、物質の均一性が必要であることがわかった。実験(2)に関しては、Siの照射表面に種々のマスクを施し、マスクの有り無しによってクレーター模様の変化を観察した。結果の一部を図に示す。上の写真は、照射面の半分を、下は、照射面に網をかぶせた時のそれぞれマスクの有り無しによるクレーター模様を示している。これらの観察から、図に見られるようにマスクの有無によらずそれぞれ同じようなクレーター模様が観察された。この事からクレーター模様は、ごく局所的なビーム分布によって決まってしまう事がわかった。実験(3)に関しては、種々の照射量で照射した試料を照射後アニールした時表面に現れるバブルの密度分布を調べると、照射量の違いによってバブルの密度分布の様子が劇的に変化するのが観察された。このバブルの分布がその下にたまっている重陽子の密度分布を反映しているものと考え、注入された重陽子の分布が内部で激しく変化している事が考えられる。実際に種々の照射量で注入された重陽子の分布を直接測定するため2次イオン質量分析(SIMS)およびD(<sup>3</sup>He, p)反応を用いた重陽子分析を行った。その結果注入重陽子の分布は照射量によらず同じ分布を示し注入された重陽子は殆ど動いていないことがわかった。従ってアニール後に現れたバブルの分布は、注入された重陽子分布を反映しているのではなく照射によって生じたSi表面の強度分布を反映しているものと推測される。今後物性物理の研究者と共同で今回観察された照射現象の解明をはかりたい。

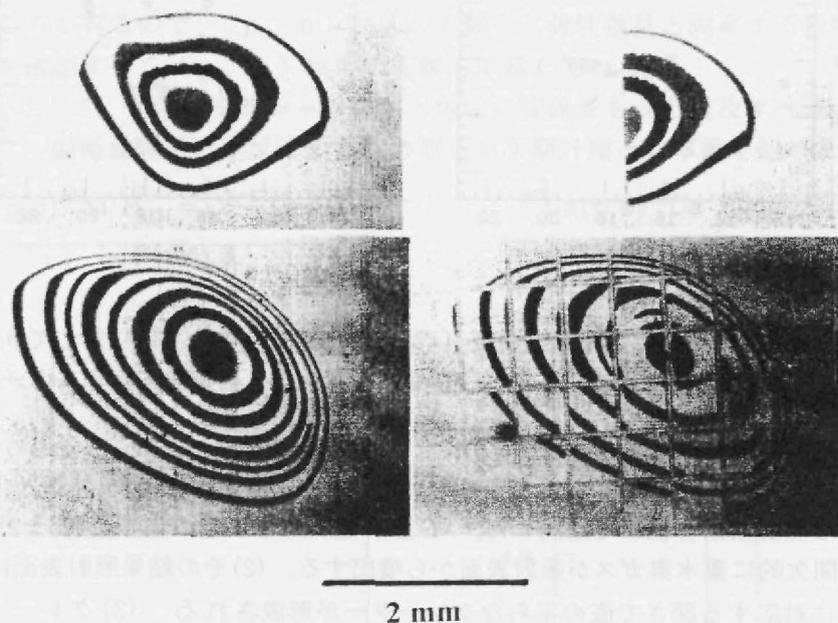


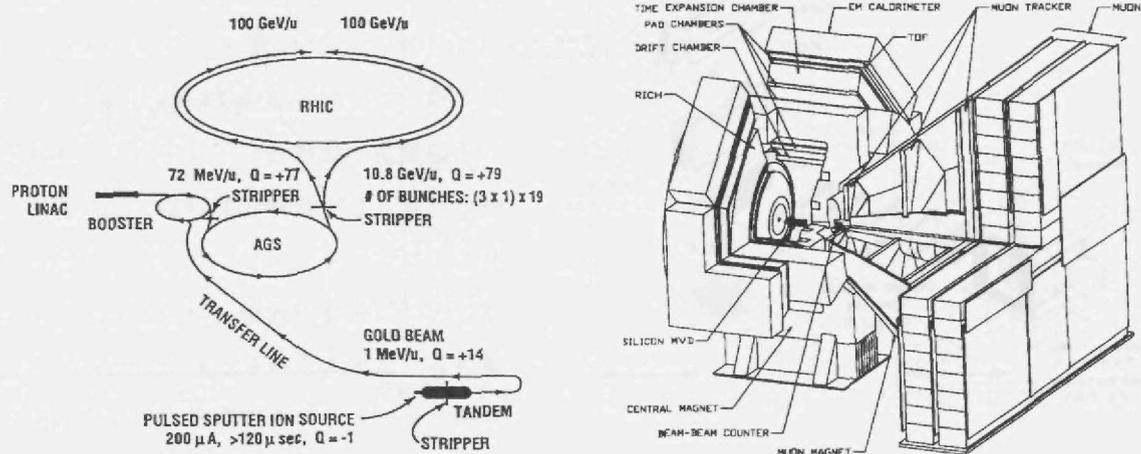
図 Siの照射表面にマスクを施し、マスク有り(右)マスク無し(左)によるクレーター模様。写真上は、照射面の半分を、下は、照射面に網をかぶせた時のそれぞれマスクの有り無しによるクレーター模様を示している。

#### 【4】高エネルギー原子核実験（八木浩輔、三明康郎、新井一郎、栗田和好）

##### （1）高エネルギー重イオン衝突実験（三明康郎、栗田和好、加藤純雄、八木浩輔）

###### a) 高エネルギー重イオン衝突型加速器におけるクォーク・グルオンプラズマの検証実験

ビッグバン直後の宇宙は極めて高温・高密度状態にあったため、クォークとグルオンが自由に動き回れる状態、即ちクォーク・グルオンプラズマ (QGP) 状態が存在したと考えられている。超高エネルギーの原子核・原子核衝突を用いてこの新物質QGPを実験室で再現しようとしている。米国ブルックヘブン国立研究所 (BNL) や欧州原子核研究機構 (CERN) では、高エネルギー重イオン衝突を利用したQGP相転移の研究のため、加速器の建設がぎつぎに進められている。これらの加速器による実験の中心目標はQGPを発生し、その性質を調べることであるが、これらの衝突で考えられる反応は非常に複雑で現在の知識では正確に予測することが難しい。我々は複雑な原子核・原子核衝突反応を理解するために基礎的データを積み上げ、反応機構の基礎的知見を得ることを目的としている。反応中心部において生成される様々なパイ中間子、K中間子、陽子などのハドロンをCERNの160GeVの鉛ビームの実験からBNLの衝突型加速器 (RHIC) における実験まで系統的かつ精密に測定し、QGP生成にともなう信号を明確にする。ハドロンの系統的測定のためには、優れた粒子識別能力を備えた実験装置を建設することが必須で、このために高時間分解能飛行時間測定器 (TOF) がこの目的に即している。平成6年度より科学研究費補助金特別推進研究の交付を受け、CERNにおける実験 (WA98) 及びRHICにおける実験のための飛行時間測定器を製作を開始した。両実験においてハドロンの測定を行う。これらの系統的測定によって、高バリオン密度状態のハドロンの振舞と低バリオン密度状態の比較を行うことができる。この比較は、特に2次的衝突問題を理解する上で重要な情報を与える。また、クォーク・グルオンプラズマ生成の信号の理解に重要な理論計算との比較の際に粒子密度や達成温度、化学平衡の有無等の必要不可欠の情報をあたえる。

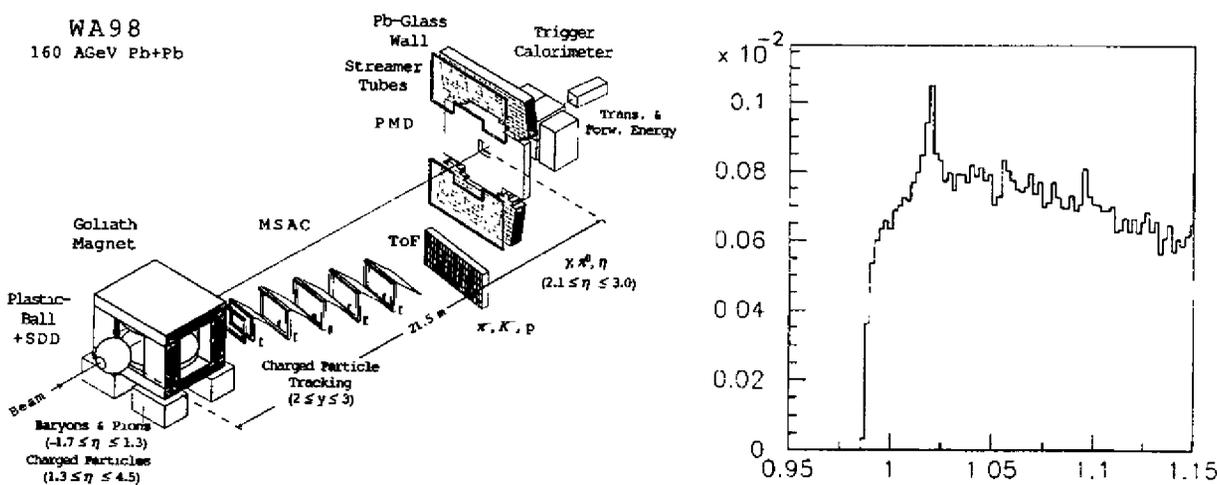


図：米国ブルックヘブン国立研究所で建設中の高エネルギー重イオン衝突型加速器 (左) と同加速器を用いて行われるフェニックス実験 (右)

CERNのWA98実験では核子あたり160 GeVの鉛ビームを静止した標的核に衝突させる。このとき中心領域で発生するパイ中間子、K中間子、陽子等のハドロンを識別・測定を行う（下図）。さらに、 $K^+K^-$ 崩壊モードにおけるファイ中間子の検出も行う予定である。本学初田らの理論的予測によるとファイ中間子は高温高密度状態ではその有効質量が変化すると考えられている。ファイ中間子の $K^+K^-$ 崩壊モードでは崩壊前後の質量差が32 MeVと小さいために、ファイ中間子生成量やその質量分布に影響があらわれやすいと期待される。ファイ中間子の寿命は比較的長いので反応中心領域の高密度内で崩壊する場合と領域外で崩壊する場合が起こるが、ファイ中間子横運動量依存性を調べることによってこれらの効果についても知見を得ることが出来る。

CERNのWA98実験に我々の飛行時間測定器を持ち込んで行うハドロン測定に関して計算機シミュレーションにより測定計画の検討を進めている。特にファイ中間子検出に関しては、 $K^+K^-$ 同時測定におけるバックグラウンドと質量分解能について詳細な検討を行った。下図に示すのは、コンピューターシミュレーションで得られた鉛・鉛中心衝突の10万事象から得られると考えられる $K^+K^-$ 質量分布の例である。十分な精度と感度を持っていることが確認されている。

本年度は高時間分解能飛行時間測定器の建設のため機械設計を行い、設計試験用のプロトタイプを作成し、これによって機械設計の改良を行った。さらにこの設計に基づいて、性能試験用のプロトタイプ（最終装置の10分の1の規模）を作成し、最終的な性能の確認を高エネルギー物理学研究所にて実施した。シンチレーターの経年変化や磁場の影響試験等の開発研究も進めている。これら開発研究の成果をふまえ、1000セグメントを持つ高時間分解能飛行時間測定器を製作する。平成7年度秋までに約半数の飛行時間測定器をCERNの実験に設置し、平成7年11～12月の鉛ビームを用いた実験において予備測定を開始する予定である。



図：CERNで行うWA98実験（左）と予想 $K^+K^-$ 質量分布（右）

## b) 高時間分解能電磁カロリメーターの開発

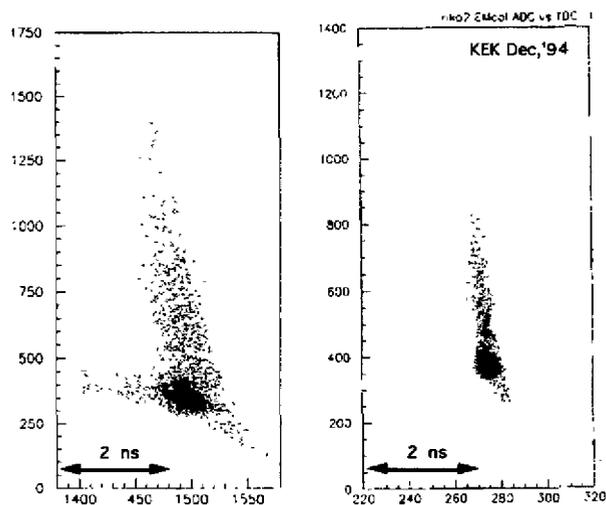
高エネルギー原子核衝突実験においては、光子、ミュー粒子、電子からハドロンまで様々多岐にわたった測定が行われ、これにはレプトン・ハドロンそれぞれの粒子識別能力を備えた実験装置が必要である。電子、光子の識別測定ならびにトリガーとして必要な電磁カロリメーターに、飛行時間測定器としての機能を付加ができれば、従来型の電磁カロリメーターとくらべ、1) ハドロン測定が可能、2) 電子についても飛行時間をチェックすることにより、磁石等から飛来したバックグラウンドの除去が可能、3) 実験装置構造の簡略化、などの利点が生ずる。高エネルギー原子核衝突実験（KEK, AGS, RHIC, LHC等）での利用が多く考えられる。

我々が平成5年度にテストした電磁カロリメーターは、シンチレーティングタイルと鉛板のサンドイッチ構造をしており、それぞれのタイルからのシンチレーション光を厚さ方向に通した波長変換ファイバーを用いて集めて光電子増倍管に導いている。この電磁カロリメーターのハドロンに対する時間特性を、高エネルギー物理学研究所（KEK）のテスト実験において評価を行った。

その結果、下図（左）のエネルギーと時間の散布図に示すように複雑な構造とブロードな時間特性を示すことがわかった。構造を作る原因として、光電子増倍管からのチェレンコフ光や、ハドロン反応によるエネルギー損失の大きな変動があげられるが、時間特性を決定する大きな要素として、読み出しファイバーによる集光方法にあることが認識された。

これらの測定と解析結果をふまえ、時間分解能を改善するために集光方法の改良を提案した。この新型電磁カロリメーターでは、それぞれのシンチレータータイルからの光が光電子増倍管の光電面に同時に到着するように、ファイバーの長さを調整することにより、時間分解能は大幅に改善されることが期待される。これは、計算機によるシミュレーションにおいても確認された。そこで実際に我々はこの新型電磁カロリメーターを製作し、高エネルギー物理学研究所（KEK）のテスト実験において性能評価を行った。高エネルギーパイ中間子などの最小電離粒子について従来型では時間分解能が300ピコ秒であったが、新型カロリメーターでは120ピコ秒まで改善され、位置依存性についても改善されることが確認された。また、この集光方法の変更による電磁カロリメーターのエネルギー分解能の劣化は見られなかった。

実用化に向けて開発を進めている。



図：従来型（左）と新型（右）の時間特性の比較

(2) ハドロン-原子核反応 (新井一郎, 八木浩輔)

a) 核物質からのストレンジ・クォークの生成と偏極の研究

-後方 $\Lambda$ および $K^0$ 粒子生成-

$\Lambda$ 粒子は、ストレンジ・クォーク (以下s-クォークと呼ぶ) を含んだ最も軽いバリオンである。s-クォークは通常の原子核中には存在しない。このため、 $\Lambda$ 粒子の生成は必ず次の2つの過程、すなわち、

(1) s-クォーク・反s-クォーク対の生成

(2) s-クォークと $(ud)_0$ -ダイクォークとの再結合

を伴う。 $\Lambda$ 粒子のこのような性質をプローブとして利用することによって、原子核のクォーク構造および種々の反応におけるクォーク力学を探ることができると考えられる。更に、弱崩壊 $\Lambda \rightarrow \pi^- + p$ の非対称度から $\Lambda$ 粒子の偏極度が測れるが、偏極度は反応機構を敏感に反映する。また、 $K^0$ 粒子についても全く同様のことが言える。ただし、この場合は生成過程が反s-クォークとd-クォークとの再結合が主なものなので、 $\Lambda$ 粒子とは相補的なプローブと考えられる。

本研究では、特に、 $\pi^-$ -原子核反応による後方 $\Lambda$ および $K^0$ 粒子生成を調べている。後方粒子生成というのは、入射粒子と原子核中の核子との準自由反応では運動学的に生成が禁止されるような後方角度領域への粒子の生成である。したがって、この反応においては、原子核内部の多核子効果が際立って顕われると考えられる。

我々は、高エネルギー物理学研究所12GeV陽子シンクロトロンを用いて、一連の実験

(1)  $\pi^- + {}^{12}\text{C} \rightarrow \Lambda / K^0 + X$  at 4 GeV/c

(2)  $\pi^- + {}^6\text{Li} \rightarrow \Lambda, K^0 + X$  at 4 GeV/c

を進めてきた。測定装置としては、文部省高エネルギー物理学研究所の汎用大立体角多重粒子スペクトロメータFANCYを利用し、その内部に $\Lambda$ および $K^0$ 粒子崩壊バーテックス検出装置を新たに組み込んだ。我々は、後方生成 $\Lambda$ および $K^0$ 粒子の微分断面積と $\Lambda$ 粒子の偏極度を実験室系 $70^\circ \sim 140^\circ$ に渡って測定した。

実験(1)において、我々は世界ではじめて後方 $\Lambda$ 粒子生成のカウンター実験を行い、その方法を確立した。その結果、従来の泡箱実験の約10倍の統計を得る事ができた。この実験結果を理解するため、2つの理論的なモデル、

(1) ハドロン描像：核内Fermi運動を考慮した素過程 $\pi^- + p \rightarrow \Lambda + K^0$ の重ね合せ

(2) クォーク描像：コヒーレント・チューブによる生成に再結合時のトーマス歳差を組み入れたクォーク-パートン模型

にもとづいて計算を行った。その結果、ハドロン描像では全く実験データを再現出来なかった。一方、クォーク描像によると微分断面積と偏極度がともによく再現できた。(図1)ただし、計算では、s-クォークと $(ud)_0$ -ダイクォークとの再結合係数が反応に関与する核子数*i*に比例する $(0.04i)$ と仮定した。再結合係数の*i*-依存性は、反応に関与する多核子クラスターにおいて、核子のバグ・サイズの変化などによって、ストレンジ・クォークの海が変容することによるためと考えることもできよう。

ところで、(2)のクォーク描像では反応によってできる”熱い核物質”からの粒子生成を考察しているが、もう一つの考えとして原子核内部にもともと存在していた”冷たい核物質”からの粒子生成ではどのように理解できるのだろうか。一つの候補として、少数核子相関模型がある。これは、核内に存在する*i*-核子の相関を独立したサブシステムと考え、そこからの粒子生成をクォーク-パートン模型で計算するものである。我々は、現在、この少数核子相関模型に基づいた後方 $\Lambda$ 粒子生成の計算を行い、検討をすすめている。

$\pi^- \text{ } ^{12}\text{C} \rightarrow \Lambda X$  at 4GeV/c  
120-145°

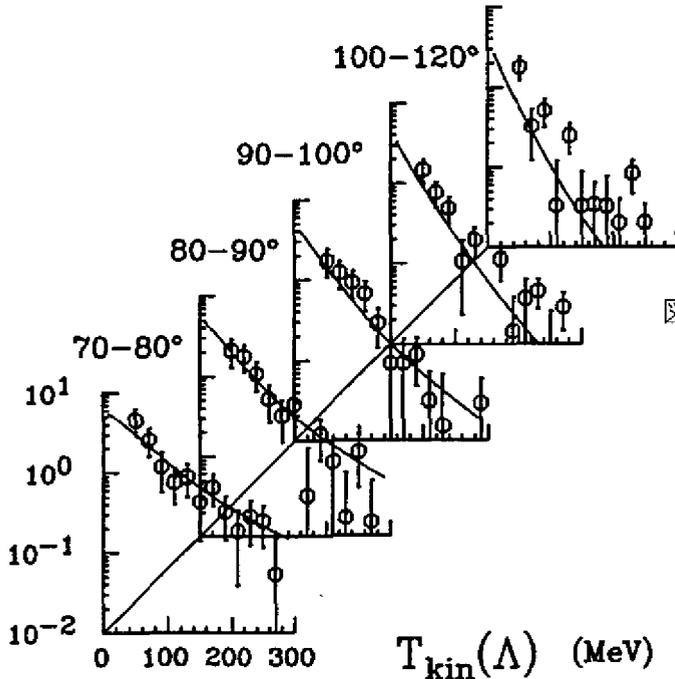


図1. 不変微分断面積：実線は(2)のモデル計算；破線は再結合係数一定(0.04)の計算)

b)  $K^+ \rightarrow \pi^0 \mu \nu$  崩壊における時間反転不変性の破れの研究

時間反転不変性(T-不変性)は最も基本的な対称性であり、その破れを探ることは標準モデルを越えるあらたな物理の領野を直接的に切り開くことを意味する。CPT定理の普遍性を仮定した場合、T-不変性はCP-不変性を意味し、CPの破れの機構を探ることとも密接に関係してくる。

我々は、一昨年度より、カナダ・韓国・日本・ロシアの国際共同研究として、『 $K^+ \rightarrow \pi^0 \mu \nu$  崩壊における時間反転不変性の破れの研究』を、文部省高エネルギー物理学研究所(KEK)の12-GeV陽子シンクロトロンを用いて進めてきた。(共同利用実験E246)実験はKEKのK5ビームラインで超伝導トロイダル電磁スペクトロメータを用いて行なわれ、 $K^+$ 中間子の崩壊平面にたいして垂直方向の $\mu^+$ 中間子の偏極( $P_T$ )を測定する。 $P_T$ は時間反転にたいして符号が変わる量なので、もし0でない $P_T$ が観測されればT-不変性が破れていることになる。

この実験はこれまでの実験に較べて、

- (1)トロイダル配置によるカウンターの効率の自動補正
- (2)前方 $\pi^0$ 放出事象と後方 $\pi^0$ 放出事象の $\mu$ 崩壊非対象度の比(2重比)の測定
- (3)横方向 $\pi^0$ 放出事象によるゼロ非対象度の測定

という点で系統誤差を小さくする工夫がなされており、 $9 \times 10^{-4}$ 以下の感度をめざしている。我々筑波大グループでは、ビーム・チェレンコフ・カウンター、データ収集系、トリガー系、 $\mu^+$ 中間子ポーリメータ、 $\pi^0$ 検出器の読み取り、などを担当している。

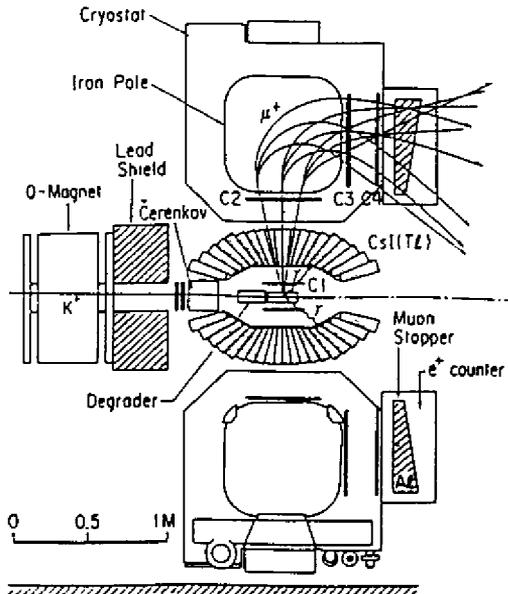


図2. 実験セットアップ

c) 0.5GeV/c~1.5GeV/c  $\pi$ -原子核反応の研究

もっとも基本的な反応の一つであるにも関わらず、このエネルギー領域では系統的な実験研究が全く行われていない。一方、素過程である $\pi$ -核子反応については系統的なデータがよく揃っており、部分波解析による散乱振幅の現象論的モデルが確立されている。

我々は、文部省高エネルギー物理学研究所（KEK）の12-GeV陽子シンクロトロンを用いてこの反応の実験研究を行った。（共同利用実験E157）そこで、得られたデータについて、素過程の散乱振幅を利用した核内カスケード計算をもとにした現象論的な解析を開始した。とくに興味をもたれる点としては、

- (1) 素過程の散乱振幅でどの程度まで実験データを再現できるか？
- (2) 多核子反応の寄与はどのくらいあるのか？
- (3) 素過程自体が核媒質中でどのくらい変容するか？

などがある。

これまでのところ、 $\pi$ -核子弾性散乱を部分波解析の散乱振幅から計算し、他の素過程を位相空間一様分布から計算した核内カスケード計算が行われ、現在結果を検討している。今後、さらに $\pi$ -核子非弾性散乱についても、部分波解析の散乱振幅をとりいれて計算の精密化を計って行く予定である。

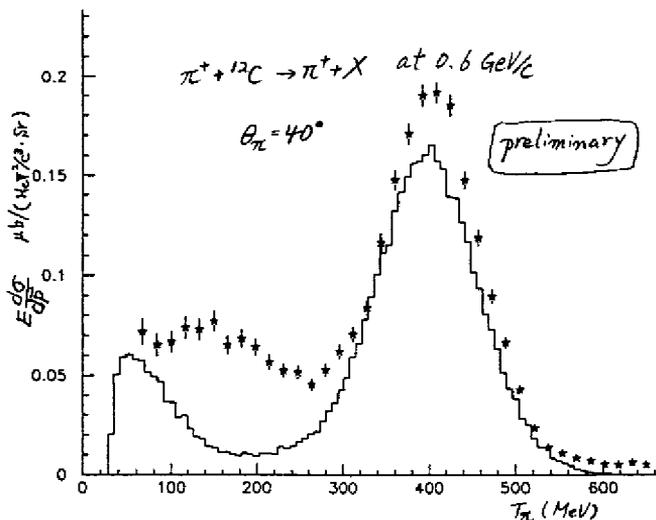


図3. 実験データと核内カスケード計算の計算結果（実線）

〈論文〉

1. Masaki,M., Aoki,Y., Katoh,K., Nakagawa,S., Nakamoto,N. and Tagishi,Y., CDCC Analysis of 22 MeV Deuteron Elastic Scattering and (d,p) Reactions on  $^{52}\text{Cr}$  and  $^{206}\text{Pb}$ , Nucl. Phys. A 573, 1-27 (1994)
2. Tomizawa,K., Arai,I., Kitayama,H., Kato,N., Nagasawa,Y., Tanaka,M., and Yagi,K,  $\Lambda$  hyperons production at backward angles in the reaction  $\pi^+{}^6\text{Li} \rightarrow \Lambda X$  at 4 GeV/c, Phys. Lett. B328, 264-269 (1994)
3. Nagae,T., Fukuda,T., Sekimoto,M., Miyachi,T., Kitching,P., Nomura,I., Arai,I., Tomizawa,K., Kitayama,H., Nagasaka,Y., Ueno,S., Waki,K., Maeda,M., Suda,T., Matsuyama,H., Kobayashi,T., Rowntree,D., Prohvatilov,M.A. Rasin,V.I., Tow-Nucleon Pion Absorption in  ${}^4\text{He}$  at 1GeV/c, Phys. Lett., B335 (1994) 330-333
4. Ahle,L., Hayashi,S., Kurita,K., Miake,Y., Yagi,K., and E802 Collaboration, Global Transverse Energy Distributions in Si+Al, Au at 14.6A GeV/c and Au+Au at 11.6A GeV/c, Phys. Lett. B332, 258-264 (1994)
5. Kurata,M., Kato,S., Kumagai,A., Kurita,K., Miake,Y., Sato,S., Tomizawa,K., Ueno-Hayashi,S., and Yagi,K., Study of Timing Degradation and Light Attenuation in Long Plastic Scintillation Rods for Time-of-Flight Counters in Relativistic Heavy Ion Experiments, Nucl. Instr. Methods A349, 447-453 (1994)
6. Stephans,G.S.F., Kurita,K., Miake,Y., et. al., Recent Results from E859 using Si beams at 14.6 A GeV/c, Nuclear Physics A566, 269c-276c (1994)
7. Namboodiri,M.N., Kurita,K., Miake,Y., et. al., Backward Emission of Protons in Au + Au Collisions at 11.7 A GeV/c, Nuclear Physics A566, 443c-446c (1994)
8. Murray,M., Miake,Y., et. al., Single Particle Spectra from NA44, Nuclear Physics A566, 515c-518c (1994)
9. Ahle,L., Kurita,K., Miake,Y., Yagi,K., et. al., Global Transverse Energy Distribution in Si+Al, Au at 14.6 A GeV/c and Au+Au at 11.6 A GeV/c, Phys. Lett. B332, 258-264 (1994)
10. Beker,H., Miake,Y., et. al., Kaon Interferometry in Heavy Ion Collisions at the CERN SPS, Z. Phys. C64, 209-218 (1994)
11. Abbott,T., Kurita,K., Miake,Y., et. al., Intermittency in Central Collisions of O-16 + A at 14.6/A-GeV/c, Phys. Lett., B337, 254-260 (1994)
12. Yang,X.H., Miake,Y., et. al., Monte-Carlo studies of the performance of scintillator detectors for time-of-flight measurements, Nuclear Instruments and Methods A354, 270-279 (1995)
13. Lee,S.M., Futami,Y., Nakagawa,T., Yuasa-Nakagawa,K., and Matsuse,T., Decay Mechanism of Fission and Evaporation from Hot Nuclei, 2nd China-Japan Joint Symp. on Nuclear Physics (Beijing, Aug. 1994)

14. Nakagawa,T., Yuasa-Nakagawa,K., Furutaka,K., Matsuda,K., Yoshida,K., Futami,Y., Mizota,T., Honjo,Y., Tomita,N., Lee,S.M., Kasagi,J. and Shen,W.Q., Study of Pre-Scission Evaporation for  $^{84}\text{Kr}+^{27}\text{Al}$  at 10.6 MeV/u using 3p-Phoswich Detector System, Nucl. Phys. A583, 149c-153c (1995)
15. Lee,S.M., Mizota,T., Honjo,Y., and Tomita,S., Single and Multiple Collisions between Heavy-Ions and Micro-Clusters, 3rd IN2P3-Riken Symp. on Heavy Ion Collisions (Shinrin-Koen, October, 1994)
16. Tomita,S., Miura,T., Mizota,T., and Lee,S.M., Unimolecular Dissociation of  $\text{C}_{60}$  Cluster, NAIR Workshop '95 on "Cluster Science" (Tsukuba, March, 1995)
17. Mizota,T., Honjo,Y., Tomoisa,Y., Kurita,T., Tomita,S., and Lee,S.M., Mass and Energy Distributions of Secondary Emitted Clusters from the Thin Amorphous Carbon- and  $\text{C}_{60}$ -Foil through the Fast Heavy-Ion Bombardment *ibid.*
18. Mizota,T., Heavy Ion and Cluster Impact D+D Fusion in TiD, Genshikaku-Kenkyu 38, 27-35 (1994) (in Japanese)
19. Komatsubara,T., Signature Inversion in Odd-Odd Nuclei in Mass=130 Region, The Korean Physical Society (Dong-Kuk Univ., Korea, Oct., 1994)
20. Shizuma,T., Kidera,M., Ideguchi,E., Odahara,A., Tomura,H., Suematsu,S., Kuroyanagi,T., Gono,Y., Mitarai,S., Mukai,J., Komatsubara,t., Furuno,K., Heiguchi,K., The  $\beta^+$  Decay of the New Isotope  $^{86}\text{Mo}$  and the First Observation of  $^{86\text{m}}\text{Nb}$ , Z.Phys. A348, 25-29 (1994)
21. Lu,J., Mukai,J., Komatsubara,T., Hayakawa,T., Furuno,K.,  $\gamma$ -Ray Spectroscopic Study of  $^{128}\text{Ce}$ , Z. Phys. A348, 239-240 (1994)
22. Moon,C.B., Chae,S.J., Kim,J.C., Kown,J.U., Lee,S.C., Furuno,K., Komatsubara,T., Hayakawa,T., Kimura,H., Lu,J., Matsuda,M., Mukai,J., and Watanabe,T., High Spin States in  $^{115}\text{Te}$ , Z. Phys. A349, 1-2 (1994)
23. Chae,S.J., Kim,J.C., Lee,C.S., Moon,C.B., Komatsubara,T., Mukai,J., Lu,J., Hayakawa,T., Matsuda,M., Watanabe,T. and Furuno,K., Level Structure of Doubly Odd  $^{154}\text{Ho}$ , Z. Phys. A350, 89-90 (1994)
24. Ohira,H., Heiguchi,K., Yoshimura,T., Komatsubara,T., Furuno,T., Kudo,H. and Hashimoto,T., Comparison of Two Methods of Enhancing Detection of Confined Fission Tracks in Minerals --- Ni Ion Irradiation Using a Tandem Accelerator and Fission Fragment Irradiation Using  $^{252}\text{Cf}$  Source --, J. Geological Society of Japan 100, 129-135 (1994)
25. Komatsubara,T., Lu,J., Mukai,J., Hayakawa,T., Matsuda,T., Watanabe,T., Saaitoh,T., Hashimoto,N., and Furuno,K. Nuclear Spectroscopy in Mass 130 Region at University of Tsukuba Int. Conf. on Phys. from Large g-ray Detector Arrays (Berkeley, USA., Aug. 1994)
26. 小松原哲郎、回転する原子核の指標逆転現象、日本物理学会誌、No.50, 101-104 (1995)

27. Tagishi, Y. and Katabuchi, T., Ring-like Craters in Single-Crystal Si, Ge and GaAs by Deuterium-Ion Implantation, Phys. Lett. A 195, 99 (1994)
28. Mukouhara, Y., Nakagawa, S., Kishita, H., Katabuchi, T., Hirota, K., Masaki, M., Aoki, Y. and Tagishi, Y., A Proton Polarimeter Using a Liquid Helium Target, The 8th Int. Symp. on Polarization Phenomena in Nucl. Phys. (Bloomington, USA, Sept. 1994)
29. Tagishi, Y., Real-time Measurement of the Motion of Deuterium Atoms Implanted in Single Crystal Si, Ge and GaAs, 2nd China-Japan Joint Symp. on Nuclear Physics (Beijing, Aug. 1994)
30. Tagishi, Y., Radiation Effects of 20-100 keV Deuterium Ions in Silicon, The 9th Int. Conf. on Ion Beam Modification of Materials, (Canberra, Australia, Feb. 1995)
31. Tagishi, Y., A collective Eruption of the Implanted Deuterons from Single-Crystal Si, Genshikaku-Kenkyu 38, 1-7 (1994) (in Japanese)
32. Kudo, H., Shima, K., Ishihara, T., Takeshita, H., Aoki, Y., Yamamoto, S. and Naramoto, H., High-Energy Shadowing Effect and Its Application to Atomic and Solid State Physics, Nucl. Instr. Methods B90, 533-536 (1994)
33. Kudo, H., Fukusho, T., Ishihara, T., Takeshita, H., Aoki, Y., Yamamoto, S. and Naramoto, H., Charge States of Fast Ions in Grancing Collisions with Aligned Atoms in Si Crystals, Phys. Rev. A50, 4049-4056 (1994)
34. Kudo, H., Fukusho, T., Tanabe, A., Ishihara, T., Inoue, T., Satoh, M., Yamamoto, S. and Seki, S., High-Sensitivity Channeling Analysis of Lattice Disorder Near Surfaces Using Secondary Electrons Induced by Fast Ions, Jpn. J. Appl. Phys. 35, 615-619 (1995)

〈学位論文 (博士)〉

1. Takeshi Mizota : D-D Fusion by Impact of Heavy-Ion Beams on Deuterated Titanium Targets ---Towards Cluster Impact Fusion for a Few MeV/atom ---
2. Yasuyuki Futami : Roles of Fission Delay Time in Competition between Light Particle Evaporation and Fission for  $^{84}\text{Kr}$  and  $^{27}\text{Al}$  at 10.6 MeV/u
3. Takehito Hayakawa : Signature Inversion of  $^{124}\text{La}$  and  $^{128}\text{La}$

〈学位論文 (修士)〉

1. Hideaki Kishita : Analyzing Power Standard by Use of the Reaction  $^{12}\text{C}(d,p)^{13}\text{C}$  over an Incident Energy Range from 12 to 22 MeV
2. Yasuhiko Tomohisa : Study of the Primary Velocity of Desorbed Cluster Ion from the Solid Surface through the Fast Heavy Ion Impact
3. Makoto Matsuda : Improvement with New RF Power Supplier for Heavy Ion Postaccel-

## erator and Production of Very Neutron-Deficient Nuclei

4. Toshiaki Watanabe : Development of Plunger System for Short Lifetime Measurement
5. Mizuki Kurata : Study of Timing Degradation and Light Attenuation in Long Plastic Scintillation Rods for TOF Counters in Relativistic Heavy Ion Experiments
6. Susumu Sato : Production of High Resolution TOF System for High Energy Heavy Ion Experiments
7. Motohisa Araki : Analysis of Pion-Nucleus Reactions over the Range of 0.5~1.5 GeV/c

### 〈講演〉

1. Tagishi, Y., Real-time measurement of the motion of deuterium atoms implanted in single crystal Si, Ge and GaAs, The second China-Japan Joint Symposium on Nuclear Physics
2. Tagishi, Y., Mukouhara, Y., Nakagawa, S., Kishita, H., Katabuchi, T., Hirota, K., Masaki, M., Aoki, Y., A proton polarimeter using a liquid helium target, The 8th International Symposium on Polarization Phenomena
3. Miake, Y., "Strangeness Production in Heavy Ion Collisions at BNL-AGS", Invited talk at the twelfth international seminar on high energy physics problems, 12 - 17 September, 1994, Dubna, Russia
4. Miake, Y., "Strange particle identification with time of flight", Invited talk at the Strangeness in Hadronic Matter workshop, January 4 -7 1995, Tucson, Arizona.
5. 向原嘉英、中川智、木下英昭、片淵竜也、広田克也、正木満博、青木保夫、田岸義宏、液体ヘリウムを用いた偏極陽子ポラリメーターの開発、日本物理学会 (山形大学)
6. 倉田美月、八木浩輔、三明康郎、栗田好和、RHIC用TOF測定のための時間分解能の研究、日本物理学会 (山形大学)
7. 林一上野祥子、八木浩輔、三明康郎、栗田好和、Au + Au Collisions at BNL-AGS、日本物理学会 (神奈川大学)
8. 五十嵐洋一、新井一郎、今里純、久野良孝、清水俊、横井武一郎、J.M. Lee、KEK-PSE246時間反転対称性検証実験のためのトリガーシステムの開発、日本物理学会 (山形大学)
9. 池田時浩、新井一郎、柴田一輝、五十嵐洋一、鈴木篤史、関川純人、千葉清幸、今里純、久野良孝、清水俊、横井武一郎、J.M. Lee、Y. H. Shin、加賀昭紀、Y. Kudenko、P. Gumplinger、KEK-PSE246時間反転対称性の破れ探索実験におけるポラリメーターの設計と磁場測定、日本物理学会 (神奈川大学)

10. 加賀昭紀、A. Ivashkin、新井一郎、浅野侑三、T. Baker、五十嵐洋一、池田時浩、今里純、貴志能成、久野良孝、J.M. Lee、清水俊、Y.H. Shin、渡辺昭文、横井武一郎、K E K- P S E 2 4 6 時間反転非保存探索実験-ビームチェレンコフ検出器の開発、日本物理学会（神奈川大学）
11. 早川岳人、呂駿、渡辺敏彰、松田誠、向淳子、小松原哲郎、古野興平、 $^{128}\text{La}$  のスピン決定、日本物理学会（山形大学）
12. 呂駿、小松原哲郎、向淳子、古野興平、早川岳人、松田誠、渡辺敏彰、芳沢憲明、斉藤武彦、Electro-magnetic properties of prolate and oblate bands in A~130 nuclei、日本物理学会（山形大学）
13. 古野興平、国内の実験的現状と原研における実験計画、日本物理学会（山形大学）
14. 早川岳人、斉藤武彦、橋本奈美、松田誠、渡辺敏彰、呂駿、小松原哲郎、古野興平、 $^{128}\text{La}$  のスピン決定、日本物理学会（神奈川大学）
15. 呂駿、小松原哲郎、早川岳人、松田誠、斉藤武彦、渡辺敏彰、橋本奈美、古野興平、Oblate rotational bands in  $^{132}\text{Ba}$ 、日本物理学会（神奈川大学）
16. 向淳子、斉藤武彦、橋本奈美、渡辺敏彰、松田誠、早川岳人、呂駿、小松原哲郎、古野興平、末松繁行、奇奇核  $^{78}\text{Rb}$  の回転バンド、日本物理学会（神奈川大学）
17. 松田誠、斉藤武彦、橋本奈美、渡辺敏彰、早川岳人、呂駿、小松原哲郎、古野興平、筑波大後段加速器のエネルギー増強、日本物理学会（神奈川大学）
18. 古野興平、筑波大グループの実験プランとその物理、第2回原研タンデムプースターによる核分光国内共同実験、日本原子力研究所、東海研究所
19. 呂駿、Collective prolate, oblate and triaxial rotation of nuclei in A~130 region、第2回原研タンデムプースターによる核分光国内共同実験、日本原子力研究所、東海研究所
20. 早川岳人、 $^{128}\text{La}$  のスピン決定、第2回原研タンデムプースターによる核分光国内共同実験、日本原子力研究所、東海研究所
21. 小松原哲郎、データ収集系について、第2回原研タンデムプースターによる核分光国内共同実験、日本原子力研究所、東海研究所
22. 向淳子、反応残留核種同定のための蒸発粒子多重度測定装置、第2回原研タンデムプースターによる核分光国内共同実験、日本原子力研究所、東海研究所
23. 栗田哲郎、本城義夫、伊藤穰、国井暢之、佐々木玄、栗原香、三浦崇、友久保彦、Liu Xin、富田成夫、二見康之、溝田武志、李相茂、MeV 領域重イオン照射による C60 とアモルファスカーボンからの2次イオン放出機構の比較、日本物理学会（山形大学）
24. 富田成夫、三浦崇、溝田武志、李相茂、数 keV 領域における C60+ + 原子散乱、日本物理学会（山形大学）

25. 二見康之、冨田成夫、本城義夫、溝田武志、中川恵子、笠木治郎太、古高和禎、中川孝秀、李相茂、GEMINI CODE による核分裂と軽粒子放出多重度への解析、日本物理学会（山形大学）
26. 松瀬丈浩、二見康之、李相茂、統計モデルによる分裂前荷電粒子放出多重度の分析、日本物理学会（山形大学）
27. 青木由香、佐々木玲仁、大槻勤、笠木治郎太、古高和禎、二見康之、松田清秀、中川恵子、中川孝秀、吉田光一、T. Suomijarvi、重イオン核融合反応による励起エネルギー 150 MeV 近傍の巨大共鳴状態、日本物理学会（神奈川大学）
28. 石原豊之、大島弘行、石井聡、田島義一、高橋努、大和良広、皆倉輝志、木村博美、小松原哲郎、島邦博、古野興平、筑波大タンデム加速器の現状、第7回タンデム加速器とその周辺技術の研究会、（東京大学山上会館）