

## V. 原子核実験グループ

教授 古野興平、三明康郎、李 相茂  
助教授 青木保夫、青木孝義、田岸義宏  
講師 新井一郎、小松原哲郎、竹内雄三  
助手 佐甲博之、佐藤 進、静間俊行  
技官 加藤純雄  
講師 鈴木裕之 (研究機関研究員)  
大学院生 43 名

### 【1】重イオン核分光学

#### (1) バリウム原子核における電気 4 重極遷移確率の系統的研究

(杉田道昭 1, 内山浩志, 2 古野興平)

バリウム原子核は  $Z=56$  個の陽子を含む。中性子数  $N$  が偶数で  $N=66\sim 76$  のバリウム同位体は、中性子数が減少するにつれて原子核の形が 4 重極変形となり、それに特有の回転スペクトルを示す。この回転スペクトルにおいて、第 1 励起  $2^+$  状態から基底状態へ遷移する  $\gamma$  線の 4 重極遷移確率は、変形の大きさや原子核における集団励起の強さを評価する非常に良い物理量である。我々は今までに  $^{124}\text{Ba}$  の  $2^+\rightarrow 0^+$  に対する換算遷移確率  $B(E2; 2^+\rightarrow 0^+)$  を測定し、相互作用ボソン模型理論で解析したが、遷移確率の大きさは  $N=68$  を境に急速に増加することが分かった。第 1 励起  $2^+$  状態のエネルギーは中性子数と共に滑らかに変化するので、遷移確率だけが  $N=68$  付近で急速に増加するのは、そこから構造的変化が起こると考えられる。そこで軸対称変形の Woods-Saxon ハミルトニアンと BCS 法により、遷移確率の中性子数を指標にした系統的計算を行った。 $\beta_{\text{ws}}\sim 0.3$  で  $h11/2$  及び  $g9/2$  軌道が変形ポテンシャル内で分離したとき、 $\Omega=1/2-(h11/2)$  状態と  $\Omega=9/2+(g9/2)$  状態との間で準位交差が起こり、中性子数の多いバリウム原子核では  $Z=50$  の閉殻の中に埋もれている  $g9/2$  軌道が、中性子数  $N=66$  付近でフェルミ面近傍に上がってくる。したがって  $Z=50$  のコアが壊れて 2 粒子 2 空孔状態が励起され易くなり、陽子が  $g9/2$  軌道に配位されると  $B(E2; 2^+\rightarrow 0^+)$  が約 15% 増加に寄与することが分かった。なお、この研究は故杉田道昭氏 (日本原子力研究所) との共同研究である。

#### (2) $^{184}\text{Os}$ 核の高スピン状態におけるバンド交差(静間俊行, 古野興平, 小松原哲郎)

変形核の高スピン状態に見られるバックベンディングは、基底状態回転バンド( $g$ -band) と、 $i13/2$  軌道の中性子対がコリオリ力によって原子核の対称軸に垂直な方向に回転整列した内部構造を持つバンド( $s$ -band)とのバンド交差によって起こる。これに対して、最近、質量数 180 領域の原子核において、 $g$ -band と Fermi-aligned band または  $t$ -band が交差する新しい型のバンド交差が重要視されている。Fermi-aligned band は、 $i13/2$  軌道のような high- $j$  軌道にある準粒子対の角運動量が原子核の対称軸と回転軸との中間に向けた内部構造を持つと考えられるバンドで、Tilted Axis Cranking 模型理論で定義されたものである。この内部構造は、原子核の対称軸と回転軸の両方に角運動量成分があるので、low- $K$  の  $s$ -band と high- $K$  の deformation aligned band 両者の性質を合わせて持っている。中性子数  $N\sim 106$  近傍の原子核では、 $i13/2$  軌道から分岐したニルソン軌道( $7/2^+$ )[633]と( $9/2^+$ )[624]が Fermi 面付近に現れる。これらの軌道に入った中性子は  $K=8$  を作るように結合し、低い励起エネルギーに Fermi-aligned 状態を形成する。この内部状態に対応するバンドは  $^{179,180}\text{W}$  及び  $^{181,182}\text{Os}$  に既に観測されている。

このような状況のもとで、我々は  $g$ -band,  $s$ -band, Fermi aligned band が原子核の回転速度の増加と共にどのように交差し、相互作用するかを調べることを目的として、 $K=10$  の Fermi

aligned band が期待される  $^{184}\text{Os}$  についての核分光実験を行った。実験は加速器センターのタンデム加速器とクリスタルボール型ガンマ線検出器を用いて実施され、g-band に対してスピン  $30^+$ まで観測すると共に、あらたに  $K\pi=10^+$  のアイソマーの上に立つバンド構造を確立した。このバンドは、バンドヘッドのアイソマーから g-band の  $8^+$ 状態への遷移における hindrance factor が大きく high-K 状態の性質を示すこと、高スピン側で既知の high-K バンドと一つの E2 遷移で結ばれていること、その反面、low-K の g-band へも遷移すること、及び Projected shell model 計算等から、 $(9/2^+)[624]$ 及び $(11/2^+)[615]$ 軌道に中性子が配位してバンドヘッドで  $K\pi=10^+$  に結合した Fermi aligned band であると考えられる。また、 $K\pi=10^+$ バンドは最高スピン  $25^+$ まで同定され、g-band, s-band と  $I=14$  付近で交差することが明らかになった。したがって従来のように g-band と s-band の二つのバンドの交差だけでなく、三つのバンドが互いに交差・混合するとしなければならない。3バンド混合による解析の結果、 $K=10^+$ バンドのエネルギーにおける指標分離が s-band との交差によること、及びバンド間相互作用は、 $V_{gs}=90$  keV,  $V_{gt}=35$  keV, 及び  $V_{st}=30\sim 250$  keV であり、特に高スピン領域で s-バンドと Fermi aligned band の相互作用が強くなることが明らかにされた。

### (3) $^{113}\text{Sb}$ の核構造

(静間俊行, 古野興平, 小松原哲郎, 韓国湖西大学, C.B. Moon, S.J. Chae, 他4名)

スズの近傍の原子核は陽子数  $Z=50$  の閉殻に近いので、単一粒子励起が起源である励起状態が数多く観測される。しかしながら、一方で非常に強い集団性を示す励起状態群も見つかっている。この理由として  $Z=50$  の閉殻より下の  $g_{7/2}$  軌道から陽子対が壊れて上の軌道にジャンプし、いわゆる粒子-空孔励起が原因であるとされている。このような閉殻付近の原子核の集団運動を奇数質量核について調べるために、 $^{113}\text{Sb}$  の分光実験を行った。その結果特徴的な構造として、E2/M1 遷移で強く結合した二つのバンドと、強い E2 遷移だけで結ばれるバンドが確認された。E2/M1 強結合バンドのうち、負のパリティを持つバンドはスピンアラインメントその他のデータから、陽子の 2 粒子 1 空孔配位  $[(g_{7/2})^2 \times (g_{9/2})^-]$  が  $^{112}\text{Sb}$  の  $7^-$  状態に結合した内部状態であることが分かった。また、強い E2 遷移で結ばれたバンドは  $^{112}\text{Sb}$  の 2 粒子 2 空孔状態に  $h_{11/2}$  中性子が結合した内部状態を持つとして良いことも確かめられた。

### (4) $^{121}\text{Xe}$ の核構造

(静間俊行, 古野興平, 小松原哲郎, 韓国湖西大学, C.B. Moon, S.J. Chae, 他4名)

質量数 130 領域の原子核は、陽子に対する  $Z=50$  の閉殻と、中性子に対する  $N=82$  の閉殻をコアとして、それから粒子数または空孔数が増すにつれて、振動や回転の集団運動が結合すること、並びに陽子・中性子の両方とも  $h_{11/2}$  のいわゆる high-j 軌道が関与するため、多彩な核構造が見られる。Xe や Ba の偶々核では、低励起  $\gamma$  バンドに励起エネルギー増加のジグザグ現象があり、これはコアの著しい柔らかさの証拠である  $\gamma$ -softness として知られている。最近  $^{125,123}\text{Xe}$  核において、yrare バンドが見出され、この性質が偶数質量核のコアの  $\gamma$  振動に  $h_{11/2}$  中性子が結合した模型で理解されることが報告された。我々の研究は、これをさらに中性子数の少ない核へと実験データの拡張を目指したもので、 $^{121}\text{Xe}$  における yrare バンドを確認した。我々の実験結果と今までの報告とを合わせると、yrare バンドのエネルギーに対する指標依存性に共通して指標逆転が起こっており、さらに偶数質量核のコアの  $\gamma$  バンドとの結合にはスピン依存性があることを示唆している。

### (5) 5セグメントゲルマニウム検出器によるガンマ線直線偏光の測定

(小松原哲郎, 静間俊行, 古野興平)

原子核の励起状態が脱励起する際に放出されるガンマ線はその遷移多重度とパリティの変化に応じて直線偏光している。例えば、重イオンビームを用いた原子核融合反応により生成した原子核は、集団回転バンド構造が励起されこれらは E2 遷移によりガンマ線を放出して脱励起

するが、この E2 遷移は、ビームに垂直な角運動量の軸の回りを回転する電気 4 重極子から発生する電磁波で理解出来る。ガンマ線が放出される方向がビーム軸と、角運動量ベクトルの両方に垂直である時、このガンマ線の直線偏光面、即ち電場ベクトルの方向は原子核の回転面内にある。つまり、ビーム軸に対して 90 度方向で E2 遷移を観測すると、ガンマ線はビーム軸方向に直線偏光している。このガンマ線がコンプトン散乱される際、通常の光の反射と同様に電場の向きが保存される様に散乱しやすいため、この E2 遷移はビーム軸に対し垂直方向へ散乱されやすい。

以上の様なガンマ線の直線偏光を測定するために 5 セグメントゲルマニウム検出器を開発し、その性能を評価する為のテスト実験として、 $^{60}\text{Co}$  線源による実験および、加速器を用いた  $^{178}\text{W}$  のインビーム実験を行なった。5 セグメントゲルマニウム検出器は円筒形のゲルマニウムの単結晶の表面に陽極を分割して配置した。この陽極からの信号を slow amp. を用いて増幅し、Timing Single Channel Analyzer を用いて分別した。この外周電極の信号には、他のセグメントの信号に由来するバイポーラー型の偽信号が混在することが判ったが、増幅器の時定数を  $1 \mu\text{sec}$  とすることで除去する事が可能になった。各電極からの信号を  $0.5 \sim 1.5 \mu\text{sec}$  の分解時間で同時測定し結晶内でコンプトン散乱した事象を検出できた。同時に、結晶の中心に配置した陰極からの信号を用いてガンマ線のエネルギーを測定し、ゲルマニウム検出器が本来持つ非常に良い分解能を損なう事なく測定できた。

$^{60}\text{Co}$  の線源を用いた実験では、 $^{60}\text{Co}$  が  $\beta$  崩壊した後、娘核  $^{60}\text{Ni}$  の  $4+$  状態が生成され、これが  $4+ \rightarrow 2+$ 、 $2+ \rightarrow 0+$  と崩壊して 2 本のガンマ線をほぼ同時に放出する。最初に放出したガンマ線に対して 2 番目のガンマ線を 90 度方向で観測すると、このガンマ線の電気ベクトルは 2 つのガンマ線が放出される平面内に直線偏光している。偏光度  $P$  を電気ベクトルの 2 成分の確率の差と定義すると、理論計算から  $P = 1/6$  となる。 $263 \text{ kBq}$  の線源を用いて線源から  $55 \text{ mm}$  の位置に 5 セグメントゲルマニウム検出器、 $52 \text{ mm}$  の位置に NaI 検出器をそれぞれ配置しガンマ線同時測定実験を行なった。コインシデンスレートは 1 秒間に約 70 イベントで、8 日間の測定の結果、 $1333 \text{ keV}$  のガンマ線に対する偏光度は  $0.0026 \pm 0.0009$  と測定された。この値を理論値で割り、直線偏光検出感度は  $\xi = 0.015 \pm 0.006$  であった。

$^{178}\text{W}$  のインビーム実験では、厚さ  $2\text{mg}/\text{cm}^2$  の  $^{170}\text{Er}$  の self-support ターゲットに  $60\text{MeV}$  に加速された  $^{12}\text{C}$  イオンを照射し  $^{170}\text{Er}(^{12}\text{C}, 4n)^{178}\text{W}$  反応で  $^{178}\text{W}$  を生成した。この重イオン複合核反応により、 $^{178}\text{W}$  の基底バンドが励起され、これらが脱励起する際に放出されるガンマ線の直線偏光度を、ビームに対して 90 度方向に配置した 5 セグメントゲルマニウム検出器により測定した。複合核反応によるインビームガンマ線分光実験では、ガンマ線の角度分布と、90 度で測定した直線偏光度には単純な関係が成立するため、 $^{178}\text{W}$  の励起状態からのガンマ線の角度分布を角度  $30, 45, 60, 75, 90$  度の 5 点で測定し、これから直線偏光度の理論値を求めた。実験の結果  $^{178}\text{W}$  における基底バンドの  $106, 237, 352, 448, 524, 579 \text{ keV}$  について測定値が得られ、偏光度は  $P = 0.02 \sim 0.06$  の値が得られた。また、検出感度は  $\xi = 0.06 \sim 0.15$  であった。

5 セグメント検出器にガンマ線が入射しても全てが直線偏光測定に有効な散乱を起こす訳ではない。直線偏光検出効率  $\text{eff}$  を入射したガンマ線の総数に対する、縦または横方向に散乱された数と定義し、この値も実験的に求めた。放出ガンマ線の個数が明らかな  $^{152}\text{Eu}$  線源を用いて測定したところ、強いエネルギー依存性を示したが、ガンマ線のエネルギーが  $120 \sim 1400 \text{ keV}$  の範囲で検出効率は  $\text{eff} = 0.008 \sim 0.04$  と測定された。

以上の様な 5 セグメント検出器の測定値をモンテカルロ計算と比較したところ、検出感度については計算結果をほぼ再現した。検出効率については計算値の  $1/3$  程度であったが、これはモンテカルロ計算の中で用いた、ゲルマニウム検出器の形状に関するパラメータが不適切であった可能性がある。また、この 5 セグメント検出器の中心電極を用いずに 4 分割モードでも実験を行ない、ほぼ同様の直線偏光測定感度がある事が確認された。

## 【2】 クラスタグループ (李相茂、新井一郎、鈴木裕之、宮崎隆)

### (1) 数 keV における $C_{60}$ 内イオン・炭素原子散乱に見る多体効果

入射エネルギーが  $3.2 \sim 10 \text{ keV}$  の希ガス原子 (He, Ne, Ar, Xe) と  $C_{60}$  の散乱動力学から、原子散乱における多体効果を研究した。本研究では  $C_{60}$  中における希ガス原子・炭素原子の準弾性散乱の散乱微分断面積を測定した (図 1)。比較のため、同様に  $CH_4$  をターゲットとした実験も行った。実験結果を評価するため、あらゆる 2 原子間の散乱を説明するモリエールポテンシャルを用い、希ガス原子・炭素原子の 2 原子散乱 (孤立 2 原子散乱) 微分断面積を計算した。その結果は  $CH_4$  をターゲットとした時の希ガス・炭素原子散乱の測定結果を説明できるが、しかし、 $C_{60}$  中での原子散乱の測定結果は、計算値や  $CH_4$  の実験結果に比べて小さい値となり、特に前方散乱において違いは大きくなる。この断面積の減少を異常に強い遮蔽効果と考え、測定値から多体効果を含んだポテンシャルとして導出した。まず、関数の形を推測するため測定した断面積に対するフリーパラメータ最適化法により原子間ポテンシャルを数値計算で導出した。その結果、原子間ポテンシャルはモリエールの関数に更に 3 つのパラメータを持つ Woods-Saxon 型の遮蔽関数  $S(r)$  を乗ずることで良く表される事が分かり、改めてそれぞれのパラメータを測定値に対する最小 2 乗近似により決定した (図 2)。導出されたポテンシャルは 2 つの特徴を持つ。第一に、ポテンシャルの大きさが入射原子の原子番号に依存せず、モリエールポテンシャルでスケールされる。第二に、ポアソンの式で電子分布を計算すると、孤立 2 原子散乱に比べて原子間距離  $a_2$  のところで大きな変化があることが分かった。

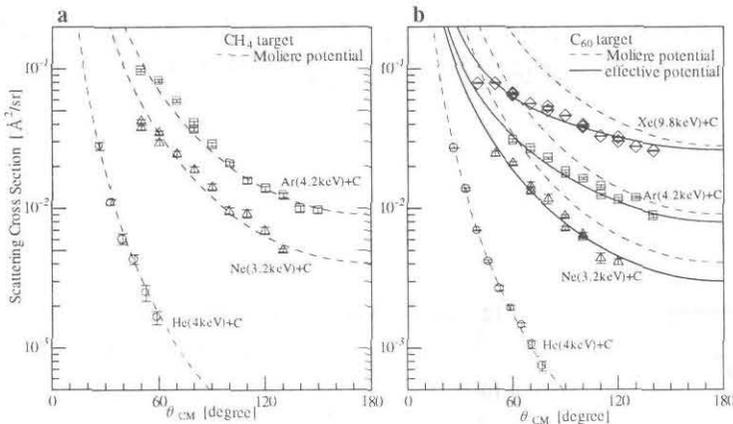


図 1 : 希ガスイオンと炭素原子の散乱微分断面積 (a.  $CH_4$  ターゲット、b.  $C_{60}$  ターゲット)

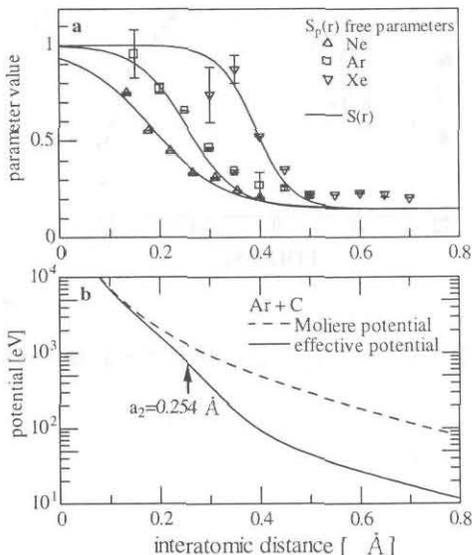


図 2 : Woods-Saxon 関数 (a) と有効ポテンシャル (b)

(2) 数 KeV Xe 原子衝突による 3d-遷移金属クラスタの生成と質量分布

数keVに加速した希ガス原子を用いて金属固体をスパッタリングすることにより、金属クラスタを生成できることが知られている。このスパッタリングについては古くから研究されており、一次粒子の侵入深さやスパッタ率については実験結果をうまく説明できる理論が提唱されている。しかし、原子の固まりであるクラスタがなぜスパッタリングによって放出されるのか、そのメカニズムについては解明されていない点が多い。さらにスパッタリングによってサイズ10を越えるクラスタを測定している実験例は少ない。そこで、V, Fe, Co をターゲットにして6keVに加速されたXeによりスパッタリングを行い、生成されたクラスタの質量分布を電場・磁場型二重収束質量分析器（質量分解能 $m/\Delta m \approx 1000$ ）によって測定した。

これらの金属ではサイズ20前後のクラスタまでが観測され、収量がそのサイズに対して指数的に減少していくことがわかった（図1）。このサイズ $s$ と収量 $Y(s)$ の関係を横軸に $s/S$ 、縦軸を $s^2Y(s)$ にとってプロットすると3種類の異なるターゲットのデータが同一曲線に乗ることがわかった（図2）。ここで、 $S$ はクラスタの平均サイズである。このスケージングは、三次元空間で三次元的に粒子が凝集していくとき成り立つと考えられていたものであり、本実験はその現象を初めて確認したものである。このことより、スパッタリングによって発生した粒子が三次元的に凝集してクラスタへと成長しているのではないかと考えている。

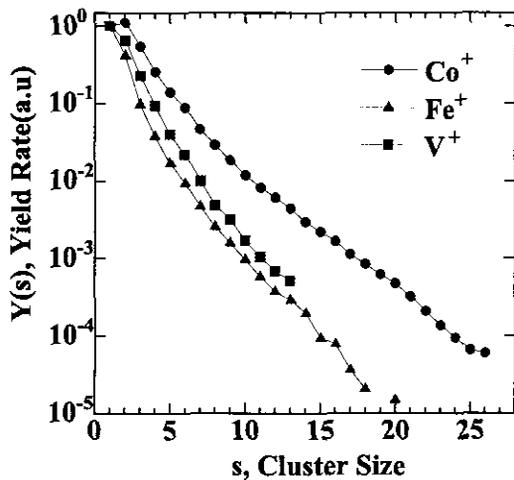


図1 クラスタサイズと収量

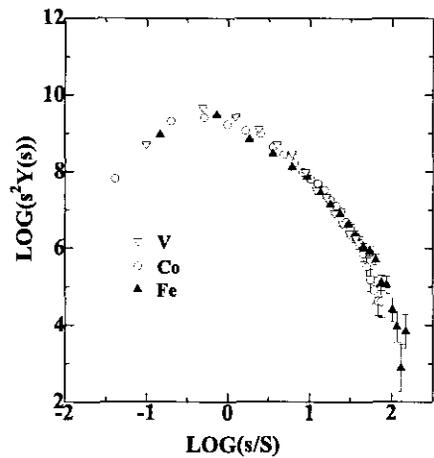


図2 スケージングしたサイズと収量の関係

### (3) SIMSによる Si, Ge クラスターの生成と崩壊の測定

#### 1. はじめに

クラスター崩壊パターンの測定は、そのクラスターの構造、安定性に関する情報を与えてくれる。特に半導体においては、バルクからの熱分子放出は単原子放出がおこるのに対してクラスター ( $n \leq 70$ ) の CID (Collision Induced Dissociation) による測定 [1] によると、主に  $\text{Si}_{10}^+$  の放出というクラスター分裂現象が見られる事が報告されている。我々はスパッターによるクラスター生成法を用いる事で、比較的高温、小さなサイズ ( $n \leq 11$ ) のクラスターイオンビームを生成しその崩壊パターンの測定を行った。

#### 2. 実験

半導体クラスタービームの生成には、6keV の中性 Xe 原子を固体 Si, Ge の資料に衝突させて、スパッター 2 次イオンに含まれるクラスターイオンを電場で引出すことにより得た。引き出された 2 次イオンビームを静電場エネルギーアナライザー、静磁場運動量アナライザーに通し質量選別し 2 次電子倍増管の検出器でイオンビーム強度を検出、運動量アナライザーの電流をスキャンすることで、質量スペクトラムを測定する。崩壊の様子を捉えるために 2 次イオン引出しから、エネルギーアナライザー間にフリーフライトを設けてある。引出しエネルギー  $E_{acc}$  と選別エネルギー  $E_{fil}$  を  $E_{acc} \geq E_{fil}$  として、 $E_{fil}/E_{acc}$  の質量比で崩壊したイオンのみを運動量分析器に導く。実際には、選別エネルギー  $E_{fil}$  と選別運動量  $P_{fil}$  の関係を  $E_{fil}/P_{fil} \propto \text{velocity}$  が一定となるようにスキャンすることにより、同じ親クラスターから崩壊してできた崩壊片のイオンの質量スペクトラムを測定した。

#### 3. 結果、考察

Si, Ge クラスターの崩壊しなかったクラスターイオンビーム (10keV) 強度と崩壊してできた娘クラスターイオンの強度の比をとり、現れた親クラスターサイズと、放出中性原子数の組合せを確率分布を Fig. に表す。

結果、Si クラスターイオンの崩壊パターンの特徴として、親クラスターサイズ ( $n = 1 \sim 8$ ) においては、中性 Si 単原子の放出による蒸発が全崩壊確率の 98% 以上であり大きな親クラスターほど単原子蒸発の確率が大きくなっている。親クラスターサイズ:  $n = 10, 11$  では、中性単原子放出は見られず、Si 4 つの崩壊がおもに見られた。これは  $\text{Si}_{10}^+ \rightarrow \text{Si}_6^+ + \text{Si}_4$  の様な分裂現象を表しており、 $\text{Si}_4$ ,  $\text{Si}_6$  の安定性を支持していると考えられる。

中性原子放出現象に関しては、より詳しい情報を得る為、引出しエネルギーを 2keV, 6keV, 10keV と変えて測定をした。そして生成 2 次イオンの温度がサイズに依らず一定であることを仮定して、クラスター内原子の結合エネルギーを一律 3.7eV として、Arrhenius の崩壊レート [2]:

$$k = 3 \times 10^{13} n^{\frac{2}{3}} \exp(6/n^{\frac{1}{3}}) \exp(-\frac{E_a}{k_b T}) \text{ [sec}^{-1}\text{]}$$

を適用して、サイズ 8, 9 までの中性原子放出確率をもっとも良く再現する温度を選び、ある程度中性原子放出確率の定性的な振舞を再現することができた。

## References

- [1] Matrin F. J. and Eric C. Honea, J. Phys. Chem. (1991) 95, 9181-9185
- [2] Klots, C. E.: Z. Phys. D21, (1991) 335

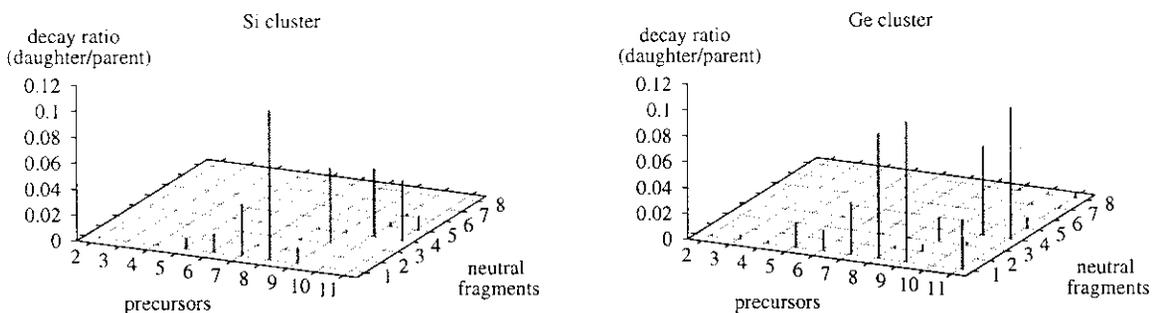


Fig. 1 Si(上), Ge(下) クラスターの崩壊パターン

#### (4) ECRイオン源のための液体Heフリー超伝導ソレノイドコイルの設計

ECRイオン源からの多価電荷イオンとクラスタービームを交差させ、クラスターの電荷を剥ぎ取ることにより、クラスターを余分に励起せず多価電荷のクラスターを生成する事が出来る[1]。これにより、クラスターのダイナミックな現象の研究が可能になる。この実験に必要な大電流の多価電荷イオンビームを生成するために、我々は液体Heフリーの超伝導ソレノイドコイルと六極永久磁石[2]を用いたECRイオン源を開発を行っている。

ソレノイドコイルはECRイオン源において軸方向のPlasmaの閉じ込めを行うために用いられる。超伝導磁石を用いれば常伝導の磁石では得られない非常に強い磁場を発生させることが出来る。これによって、ECRイオン源からは、さらなる大電流ビームを発生させることが期待できる[3]。今回設計したECRイオン源の特徴の一つはソレノイドコイルを冷やすのに液体Heを使わず、ギフォード-マクマホン型の冷凍機を用いたことである。これによって、液体Heを用いた超伝導磁石の、高いコスト、複雑な操作性、非常に大きなサイズ、といった欠点を避けることが出来る。

図1に今回設計した超伝導ソレノイドコイルの概念図と、中心軸上における最大磁場の強度分布を示す。この超伝導ソレノイドコイルシステムは4つのソレノイドコイルによって構成され、3つのグループに分かれており、中心のコイルには逆方向に電流を流して、ミラー磁場のミラー比をあげるようにした。

冷凍機として、低温冷凍機と極低温冷凍機の2台の冷凍機を用いる。低温冷凍機は、電流導入線を冷やすことにより、そこからの熱侵入を防ぎ、極低温冷凍機は伝熱部品を通してソレノイドコイルを4Kまで冷やす。このようなクライオスタットは厚さ5cmの鉄ヨークで囲まれており、磁場の強さを高めるとともに外部への磁場の漏れを防ぐ。

このように冷凍機を用いた場合、その冷却能力(4Kのとき $\sim 1W$ )は液体Heを使ったそれより小さく、クライオスタットを支える断熱支持棒をあまり強くすることが出来ない。したがって支持棒にかかる電磁力を最少にする必要がある。今回のケースでは、鉄ヨークとソレノイドコイルの間にかかる電磁力を $\sim 15kN$ 以下にする必要がある。この不平衡電磁力を最少にするために、プログラムOperaを用い磁場計算及び、不平衡電磁力の計算を行った。

図2は超伝導ソレノイドコイルの配線図である。鉄ヨークを広げることなく、不平衡電磁力を減らすために、入射側のコイルを二つにわけ(Coil3, Coil4)引き出し側のコイル(Coil1)とCoil4を直列につないだ。入射側のコイルを二つにわけたため、Coil3以外のコイルがクエンチし、誘導電流によって、Coil3の位置に磁場が残っても、磁場が内側にシフトするため、不平衡電磁力を減らす効果がある。また、Coil1とCoil4が直列に接続されているために、これらのCoilは常に同時に励磁されて、結果的に不平衡電磁力を軽減する効果を果たしている。

このように上記のコイル構成を取る事により、どのような場合に置いても不平衡電磁力を15kN以下に押さえることに成功した。もし、入射側のコイルが二つに分割されておらず、入射側と引き出し側で直列に接続されたコイルが無い場合は30kNの不平衡電磁力が生じることになる。

以上より、我々は鉄ヨークとソレノイドコイル間に働く不平衡電磁力の最少化を行うことにより、よりコンパクトでECRイオン源に適した超伝導ソレノイドコイルのシステムを設計することが出来た。

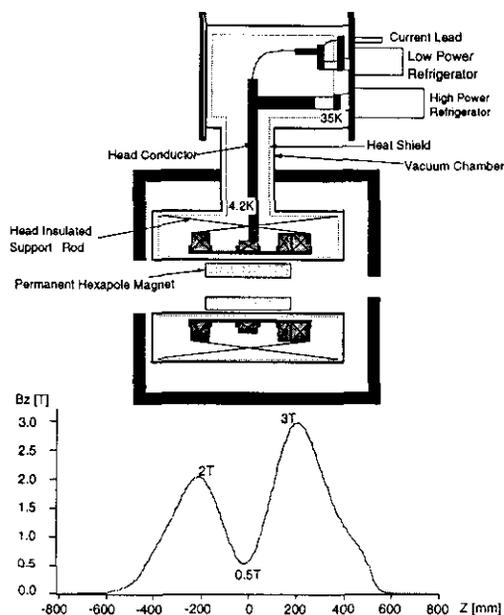


図1：超伝導ソレノイドコイルの概念図と、中心軸上における最大磁場の強度分布

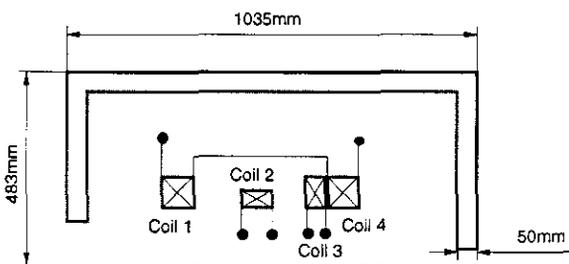


図2

#### References

- [1]F. Chandenzon et al. *Phys. Rev. Lett. Part. 74* (1995) 3784.
- [2]T. Kurita et al. *UTTAC-66 Annual Report* (1998) 20.
- [3]R. Geller *Annu. Rev. Nucl. Part. Sci.* 40 (1990) 15.

## (5) ハイブリッドクラスターイオン源によるクラスターのサイズコントロール

### 実験

ハイブリッドクラスターイオン源は Magnetron 型スパッター銃、液体窒素により冷却されるクラスター成長管(aggregation tube)及びクラスター出力スリット(exit slit)から構成されている。(Fig.1) aggregation tube 内の気圧と気体の流速は exit slit 口径とキャリアガス(Ar,He)流量の調整によって制御される。導入されたガスにより、金属クラスターは、導入されたガスにより成長が促進される事が良く知られている。

スパッターされた金属原子は数十 eV 程度の運動エネルギーを持っており、これらは aggregation tube 内の Ar ガスと衝突する事で冷却され熱平衡状態になる。冷却された金属蒸気が過飽和状態になることで単一核生成が引き起こされる。ガスの気圧や温度、スパッター銃のスパッターレートのある一定条件下で、magnetron 型スパッター銃と exit slit との距離 aggregation length(L)を変化させる事で、様々なサイズのクラスターを得る事が出来るようになる。得られたクラスターを TOF 法(reflectron TOF)によって質量分析した。

Fig.2 は正イオンクラスターの質量スペクトルであり、生成されたクラスターがピークにより見て取る事が出来る。aggregation tube 内の Ar と He 混合ガスの気圧は金属ターゲットの種類に応じ 0.4~0.8Torr 内で調整した。また、スパッター銃は電圧 200V 下で電流 0.1~0.5A 程度で動作させた。いずれのスペクトルにおいても Ar クラスターのピークを観測する事が出来る。

### 結果と考察

金属クラスターの成長パターンを調べるために、我々は Ti クラスターのサイズ分布について観測を行った。Fig.3 は気圧や温度などのパラメータは固定して aggregation length のみを変化させた時の、Ti クラスターのサイズ分布の様子である。aggregation length が長くなるにつれ、より大きなクラスターが生成されている事が分かる。クラスターサイズ分布が2つの山のようになっている事は、クラスターサイズによりギブスのフリーエネルギーが変化する事から説明することができる。

これらの連続した Ti クラスターのスペクトルから、より大きなクラスターの成長は aggregation length が約 10cm 以上になった時から始まる事が分かる。特に、クラスターの収量を単原子の収量で規格化したものは、coalescence モデルに良く一致する。

これは、クラスターの成長において、coalescence によるクラスター形成が初期の段階から支配的となっている事を示している。

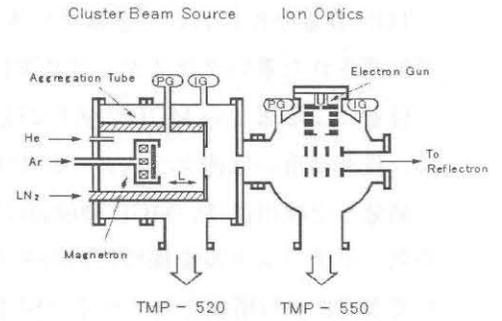


Fig.1 Schematics of hybrid cluster beam source. Ion optics pluses and accelerates the positive cluster ion to reflectron for a measurement of mass spectrum.

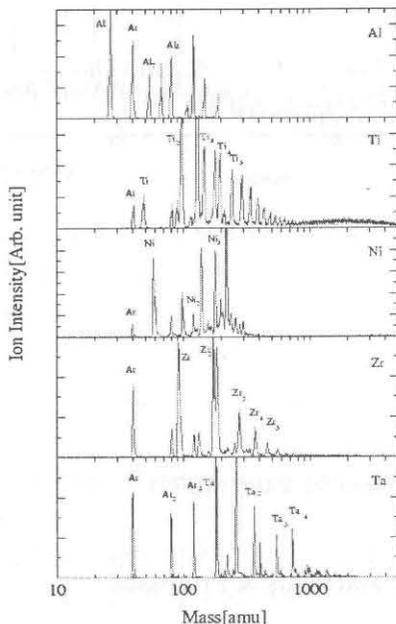


Fig.2 Mass spectra of several target materials (Al, Ti, Ni, Zr and Ta) for peak identification. The peak of Ar gas cluster are shown in all spectra.

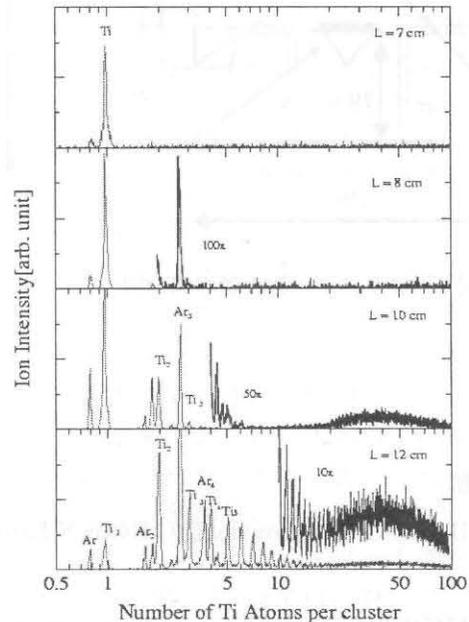


Fig.3 Sequential mass spectra of Ti cluster. Shown the growth of cluster from monomer with increasing the aggregation length (L) at a given condition. Gas pressure in aggregation tube is 0.48 Torr, magnetron power 69W and carrier gas flow rate are 60 and 30 SCCM for Ar and He respectively.

## (6) 低速クラスター TOF測定のための検出器開発

TOF 質量分析において金属クラスターを MCP に直接検出する場合いくつかの欠点がある。数 keV で加速された重いクラスターは非常に低速で MCP では十分に検出することができない、またクラスター付着による著しい MCP の劣化が見られるのという欠点があげられる。これらの問題を解決するために、我々は重い低速クラスターを TOF 測定でき劣化の心配のない検出器の開発を行った。

開発した検出器は、MCP の前面に”Even cup” conversion dynode を据え付けた[1]。これは、-10kV の高いポテンシャルを保つためのステンレススチールカップ、モリブデン製の conversion dynode、そして MCP から構成されている (図 1)。conversion dynode にクラスターが衝突して生じた二次イオンを得ることによりクラスターの検出ができる。dynode から放出された二次イオンは電場によって曲げられて、そして MCP の表面に加速される。24、5400amu のクラスターと 0.1、1、5eV のエネルギーで検出器に入射する二次イオンの軌道を SIMION というソフト[2]を用いて行った。

我々は、マグネトロンスパッター型クラスター源から生成された Ti クラスターを使って開発した検出器をテストした。Ti クラスターの TOF スペクトルを図 2 に示した。明らかに 5000amu 以上のピークがこの図から確かめられる。

以上のことから従来の MCP では検出できなかった低速の重いクラスターを検出するのに成功した。

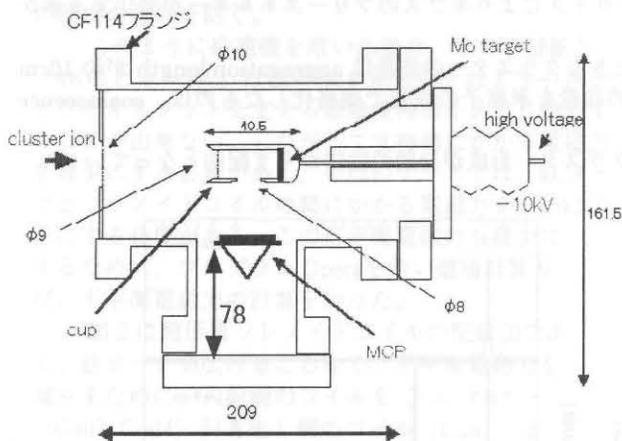


図 1 クラスター検出器の概念図

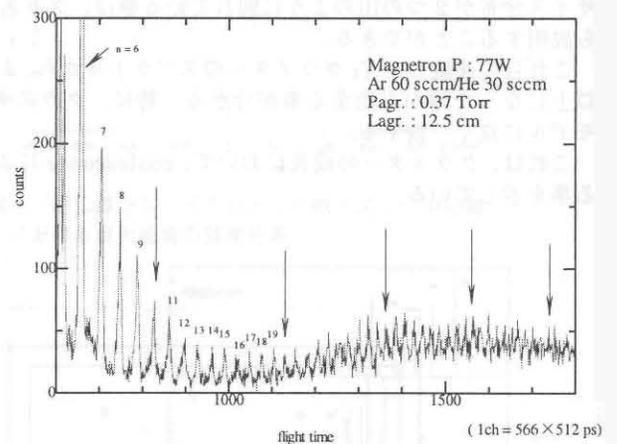


図 2 Ti クラスターの TOF スペクトル

### 参考文献

- [1] D.Bahat, O.Chesnovsky, U.C.Even, N.Lavie, Y.Magen: J.Phys.Chem.91,2460 (1987)
- [2] SIMION3D, Idaho National Engineering Laboratory Chemical Materials & Processes Department Lockheed Idaho Technologies Company

### 【3】 スピン偏極核反応実験（青木保夫、田岸義宏）

#### （1）クーロン分解過程を考慮したCDCプログラムの開発

昨年度から開始した作業は、クーロン分解過程を考慮しない部分については完成していた。今年度はクーロン力を多重極展開してプログラムに組み込む作業を行った。この作業自体は簡単であったが、数値計算上克服すべき困難な二つの問題に直面した。問題の原因は、相互作用距離が非常に長くなる為に、大きな角運動量まで考慮する必要がある一方、計算機は有効数字の桁数が小さく、取り扱える最大の数値にも制限があるという事実による。具体的には、1) 幾何学的因子に登場する階乗の計算が出来無くなる。2) 異なる部分波が影響し合うが（連立微分方程式を解く必要がある）軌道角運動量が大きくなると、表現すべき数値の変動範囲が広すぎて、一方の波が他方の波を圧倒してしまい、物理的な境界条件を実現する為に必要な微分方程式の独立な解の組みを入手できない。といったものであった。これらの問題は、一般論としては現在の計算機（コンパイラ）の制限の下では絶対に克服出来ないから、問題を旨く避ける工夫が必要である。問題1)は、 $n!$ を $n!/256^n$ で置き換え、更に精度保証をプログラム側で工夫することで処理出来た。問題2)は更に克服が困難であった。最終的には、原理的に独立な解を解いて行く途中で何度も直交化することにより独立性を保証することとした。直交化することは、S行列の計算精度を保証するためにも良い影響を与える。プログラムと利用技術が安定したと思われる段階で、昨年度に行った $^{208}\text{Pb}(d,d)$  弾性散乱の計算を行い、前方の角分布に影響がある旨の報告を大阪大学核物理研究センターRCNPでの研究会と物理学会で報告した。このプログラムの開発目的は、分解過程の産物としての放出陽子や中性子のエネルギーや放出角度依存性を計算することである。この目的に沿って千葉経済短期大学の井芹康統氏の協力を仰ぎ、分解した陽子と中性子の重心運動のS行列要素と $p-n$ 系の情報から陽子と中性子の散乱振幅を評価する計算方法の検討を開始した。

#### （2）陽子全反応断面積の測定

全反応断面積の測定は、中性子に対しては、全断面積と弾性散乱断面積を測定すれば良いので、それなりに報告例は存在する。他方、荷電粒子の全断面積は発散するせいもあり実験例の報告は微分断面積の測定と比較すると極端に少なくなる。ここでは、標的核に入射する陽子数と透過した陽子数を直接的に計数する手法（減衰法）を採用した。加速器センターからの陽子エネルギーは高くないので、入射粒子数を計数する、放射線検出器が入射粒子に影響を与えすぎたはいけない。非常に薄い放射線検出器を開発し、しかもこの検出器の誤動作でない事を保証する必要がある。我々は、これまでに蓄積してきたガス放電を利用した比例計数管の技術を用い、小さくて安定性のある検出器を開発してこれに当てた。ガス検出器には、後続放電という現象があるかも知れない。そこで、後続放電の計数を抑制する様な回路構成とした。標的を透過した粒子の計数にはプラスチックシンチレーターと光電子増倍管を用いた。ここでも、この放射線検出器の内部での原子核反応に起因する計数誤差とスペクトルの乱れがある事に気が付いた。この対策として、ここでも非常に薄く、動作の確実な放射線検出器が必要であった。入射粒子の飛程の $1/20-1/50$ の厚さとして、信号の大きさと計数の信頼性との整合をとった。これらの計数管には前方に置いたスリットの端縁部からの散乱粒子等の望ましくない粒子も入射している事が分かった。そこでガス検出器の直前に穴のあいたプラスチックシンチレーターを置き、大きな角度に散乱された粒子は計数しないようにした。これらの結果、Al原子核に対して、10 MeV陽子の全反応断面積の報告値を再現出来るところまでこぎ着けた。

来年度は、この測定系を用いて硅素原子核の全反応断面積のエネルギー依存性を（ $p, n$ ）反応の閾値付近で測定する予定である。

### (3) シリコン中にイオン注入された重水素のパーコレーション

一般にフレーキングとは固体中にイオンを注入したときに注入されたイオンがガスとなり、表面を剥離する現象である。その結果、固体表面には数ミクロン程度の直径を持ったクレーターがランダムに形成される。しかし単結晶シリコンに重水素イオンを注入したときミリメートルオーダーの同心円状の巨視的な構造を持つフレーキング現象が観測された[1]。巨視的な構造を持つフレーキングパターンは、シリコン中に打ち込まれた重水素の巨視的な移動によって生み出されていると考えられる。しかし、シリコン中に打ち込まれた重水素は注入層に形成された欠陥の未結合手にトラップされ、ほとんど動けないと考えられ、重水素の拡散の代わりに、重水素分子がガスバブルのネットワークに沿って動くと考えた。このガスバブルの巨視的なネットワークが存在するのを実験的に調べた。そのため新しい実験方法を開発し、重水素ガスの巨視的移動（移動距離約5 mm）による重水素密度の減少を原子核反応からの反応陽子を測定する事によって定量的かつ精度良く求めた。注入重陽子量に対するクレーターを通じて外部に放出された重水素数の関係を図3-1に示す。図3-1はパーコレーション現象としての次の特徴を持っている。

1. 無限大の移動。クレーターから5mm離れた場所で、重水素はクレーターを通じて減少している。5mmという距離はシリコンの格子定数から見れば無限大の距離である。
2. 浸透閾値の存在。重水素は注入量がある閾値を越えたところで無限大の移動を行っている。実験では閾値は $5.5 \times 10^{17} \text{D/cm}^2$ である。このとき、飛程付近で重水素の密度がどれくらいになっているかというと、TRIMコードの計算によれば $3.9 \times 10^{22} \text{D/cm}^3$ である。
3. 浸透確率の急激な増加。パーコレーション理論によれば浸透網に含まれる粒子の数は浸透閾値から急激に増加する。パーコレーション理論では浸透確率は $(p-p_c)^\beta$ に比例し、 $\beta$ という臨界指数のみで表わされる( $p$ は粒子の密度、 $p_c$ は閾値)。そして、 $\beta$ は格子の種類には依存せず、格子の次元にのみ依存する。 $p$ が注入重陽子のドーズ量 $\Phi$ に比例すると、重陽子密度の減少 $\Delta N_0$ は、

$$\Delta N_d = N_0(\Phi - \Phi_c)^\beta \quad \dots \dots (1)$$

と表わされる。ここで $N_0$ は規格化定数で $\Phi_c$ は浸透閾値である。2次元パーコレーションの場合、 $\beta$ は $5/36$ である。図2から増加のべきをもとめたところ $0.104 \pm 0.025$ という近い値であった。以上のことから、シリコン中に注入した重水素はパーコレーションを起こし、その浸透網を通じて移動していると考えられる。今回の測定データからこの閾値および臨界指数と呼ばれる次元不変量が求まり、2次元系のパーコレーションの理論値に比較的近い値が得られ、このことから、重水素ガスがガスバブルのパーコレーションネットワークを通じて巨視的な移動を行うというモデルで、今回の実験結果をよく説明することが分かった。この研究結果は、物理学研究科学生の博士学位論文としてまとめ学位を修得した。

参考文献[1] Y. Tagishi and T. Katabuchi, Phys. Lett. A195, 99 (1994)

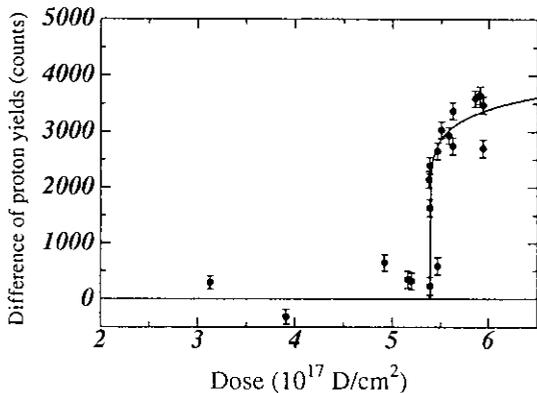


図3-1 注入重陽子ドーズ量に対するクレーターから逃げた重水素量。重水素量は、重陽子融合反応 $D(d, p)T$ からの反応陽子を計数する事によって求めた。実線は、実験データを(1)式での最小二乗法による表示を示す。

(4) D(d, p)T反応を利用した注入重陽子の測定

重陽子融合反応、D(d, p)T反応、を利用し、物質中に注入された重陽子の拡散を調べる新しい方法の有用性を調べている。その方法を簡単に述べる。まず標的物質に低エネルギー(～100 keV)の重水素ビームを連続的に照射する。入射重水素ビームは、物質中でそのエネルギーを失いその飛程付近で止り、物質中に拡散してゆく。拡散によって標的の表面近くに移動してきた重水素原子は、入射してくる重水素ビームと衝突し重陽子融合反応D(d, p)Tを起こす。一定量の重陽子ビームを照射しながら核反応で生じた陽子の計数率の照射時間依存性を測定する事によって標的の表面に拡散してくる重陽子原子数の時間変化が観測でき、拡散情報を引き出せる事が可能である。また反応の運動学から放出陽子のエネルギーの値から反応を起こした深さを知る事ができる。より後方に放出される陽子のエネルギーを測定すればよりその深さ方向の測定感度が上がる。そこで今回放出陽子検出器としてアニュラー型のSi-SSDを設置し散乱角175°での測定を可能にした。また装置の改良を行い、標的の表面で一様な照射ビームが得られようし、ターゲットホルダーにはBath-Reservoirとサーモモジュールを併用し標的の温度コントロールを容易にした。得られたエネルギースペクトルと、深さ方向に対する注入重陽子分布に一例をPdとTiについて図5-1, 2に示す。これらの結果については、春と秋の日本原子力学会において報告された。

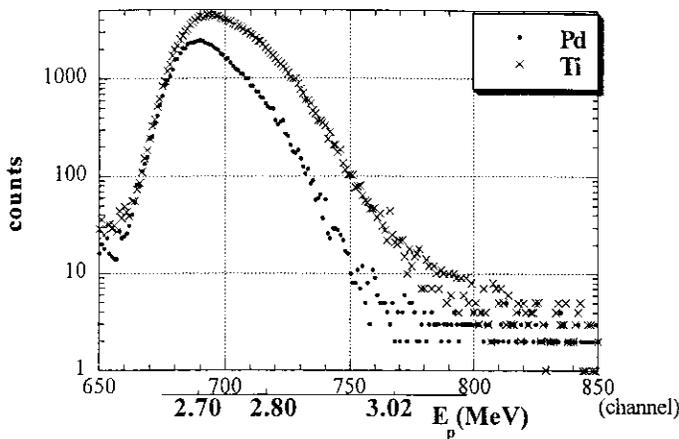


図5-1. 90 keVの重陽子をPdおよびTi標的に照射したときの散乱角175°に放出された陽子のエネルギースペクトル。

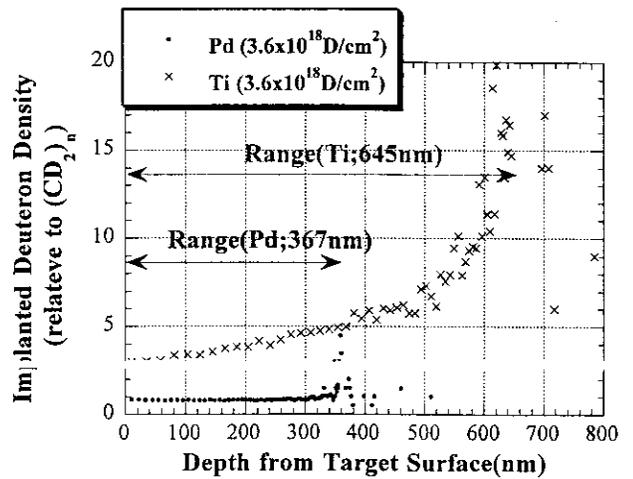


図5-2. PdおよびTi標的に重陽子ドーズ量として $3.6 \times 10^{18}/\text{cm}^2$ 個照射したときの縦方向の重陽

(5) 低エネルギー重陽子融合反応

低エネルギー領域における重陽子融合反応 $d + d \rightarrow p + {}^3\text{H}$ 、および $d + d \rightarrow n + {}^3\text{He}$ 反応は少数核子系の物理・元素合成・核融合エネルギー源として重要な核反応である。これらの反応機構に関して現在まだ十分な解明がなされていない。特にスピン依存性については理論と実験の不一致が大きい。今まで我々は、D(d, p)T、およびD(d, n) ${}^3\text{He}$ 反応のベクトルおよびテンソル偏極分解能の測定を行ってきた。今回新しい測定量として偏極移行係数の測定をD(d, p)T反応において入射重陽子エネルギー100 keVで計画している。そのための陽子偏極ポラリメーターの製作とその較正実験を行った。ポラリメーターの反応として ${}^{28}\text{Si}$ との弾性散乱を用いる。標的としてSi半導体検出器(SSD)を用い、散乱角115°に散乱される陽子の検出器として、28×28 mmの大型のSi-SSDを用い、標的SSDと同時計測を行う事によってバックグラウンドを除去する。有功偏極分解能、検出効率、3=MeVに加速された偏極陽子ビームを用いて較正実験を行い求めた。その結果、入射陽子エネルギーが1.8から3.0 MeVに対し偏極分解能 $A = -0.47 \pm 0.03$ 、検出効率約 $10^{-5}$ なる値が得られた。これらの値は、陽子偏極ポラリメーター

として満足すべき値を示し、低エネルギー領域におけるD(d, p)T反応の偏極移行係数の測定が可能となり、現在測定準備を進めている。

(6) (d,  $\alpha$ X)反応における連続スペクトラム領域での偏極分解能

一般に原子核の励起準位はその励起エネルギーが高くなれば、準位密度が増して連続になる。残留核をそのような連続状態に励起すれば放出粒子のスペクトラムは連続である。今回(d,  $\alpha$ X)反応における連続スペクトル領域への反応機構を調べるため二重微分断面積、偏極分解能 $iT_{11}$ ,  $T_{20}$ ,  $T_{22}$ の測定を入射重陽子エネルギー21 MeVで測定した。標的として、 $^{64}\text{Ni}$ ,  $^{197}\text{Au}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ を用いた。実験は、筑波大学加速器センターのタンデム加速器、ラムシフト型偏極イオン源を用いて行った。測定は、汎用大型散乱槽で行い、核反応からの放出荷電粒子は、Si半導体検出器(E)とガス比例計数管( $\Delta E$ )のカウンターテレスコープにより粒子識別を行い、放出 $\alpha$ 粒子のエネルギーを測定した。検出効率を上げるため検出器に工夫をした。E検出器として9個のSi-半導体検出器を用い、それぞれ抵抗で直列に接続し荷電分割法を用いてそれぞれの検出器からの信号を識別した。検出器は、それぞれ5° おきに設置され一度に45° の角度範囲が測定できる。角度分布は、実験室系で60° から150° まで5° おきに測定した。得られた結果の特徴は：(1)  $^{197}\text{Au}$ ,  $^{209}\text{Bi}$ 標的に対して二重微分断面積は二つの成分を持ち、エネルギーの高い成分は、前方で大きな値を持つが低いエネルギー成分は、一定な角度分布を示す。 $^{64}\text{Ni}$ に対しては一成分でほぼ一定な角度分布を示す(図6-1)。(2)  $T_{20}$ は、 $^{197}\text{Au}$ ,  $^{209}\text{Bi}$ 標的に対して後方で放出 $\alpha$ 粒子のエネルギーが20 MeVより大きくなるに従って負の大きな値を示す(図6-2)。 $^{64}\text{Ni}$ に対しては、 $T_{20}$ はほぼゼロである。(3)  $iT_{11}$ ,  $T_{22}$ はほぼゼロである。

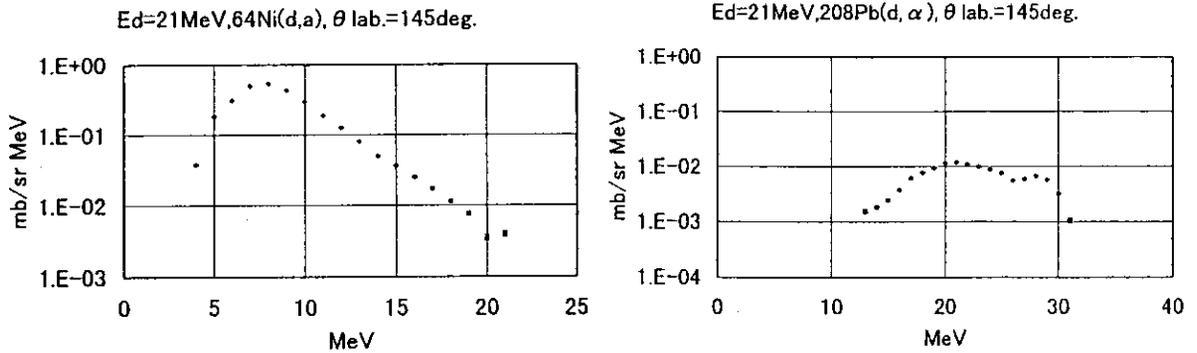


図6-1.  $^{64}\text{Ni}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ (d,  $\alpha$ X)反応、散乱角145° における二重微分断面積。

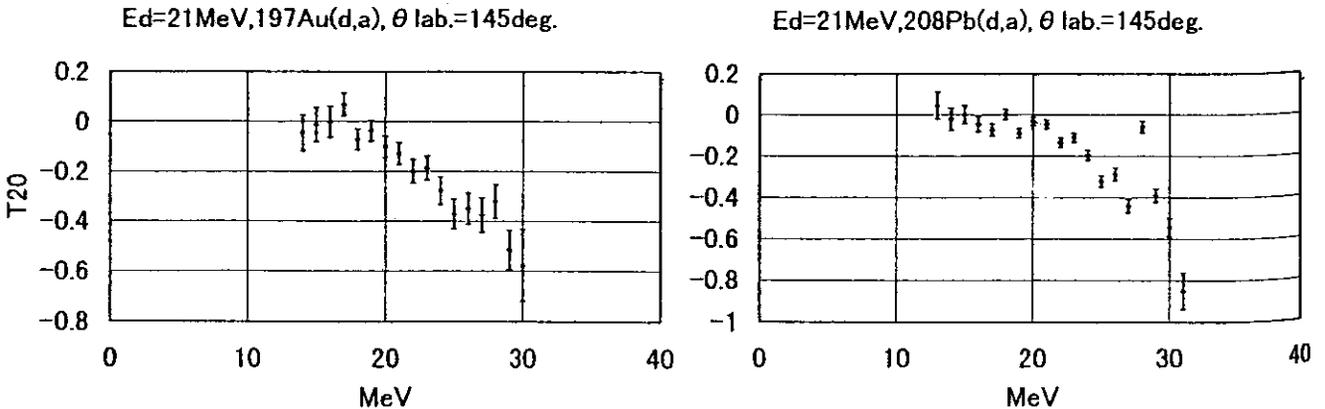


図6-2.  $^{197}\text{Au}$ ,  $^{209}\text{Bi}$ (d,  $\alpha$ X)反応、散乱角145° におけるテンソル偏極分解能 $T_{20}$ 。

【4】高エネルギー原子核実験（三明康郎、佐甲博之、佐藤進、加藤純雄）

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。物質の存在の在り方として全く未知なるQGPの研究をすることは、原子核や素粒子、初期宇宙、さらには自然認識に関する基本的課題である。高エネルギー原子核・原子核衝突は、物質の極限的な高温高密度状態を実験室において作り出す唯一の方法と考えられており、高エネルギー原子核・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いう試みが、米国ブルックヘブン国立研究所 (BNL) や欧州共同原子核研究機構 (CERN) で進められている。我々はハドロン生成の系統的測定によってQGP生成の証拠としようという戦略のもとに、

- (1) 米国ブルックヘブン国立研究所 (BNL) における核子あたり  $< 10 \text{ GeV}$  の実験、
- (2) 欧州共同原子核研究機構 (CERN) における核子あたり  $158 \text{ GeV}$  の実験、
- (3) BNLにおける核子あたり  $100 \text{ GeV}$  の衝突型加速器における実験、

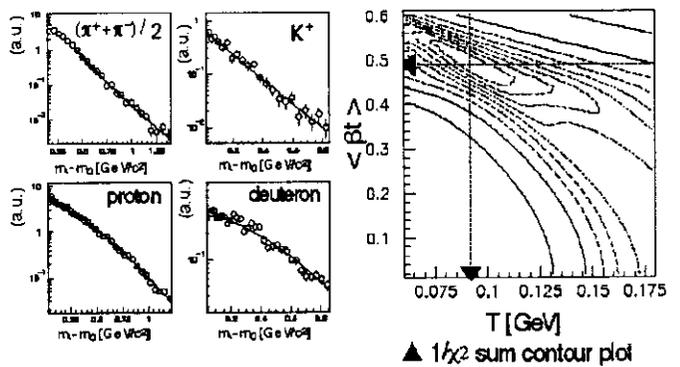
という一連の測定を進めてきた。複雑な衝突反応を理解するために、反応生成粒子の系統的測定による基礎的データの積み上げを行うことによってQGP生成の発見ならびにその性質の研究を目指している。

特に、生成粒子の集団的運動の観測は、重イオン衝突で発生した高温高密度状態における状態方程式の情報を得る手がかりになると考えられている。高エネルギー重イオン衝突の反応中心部では生成粒子の平均自由行程は反応領域に比べて十分短く、流体力学的解釈が有効となると期待される。この立場によると、衝突で生成された高密度状態から粒子は圧力勾配最大の方向に放出され、集団的運動(しばしば Collective Flowと呼ばれる)が生まれるとされる。このような集団運動の観測からは、反応初期に生成された高密度状態の状態方程式に関する情報を得ることが可能となると提唱されている。

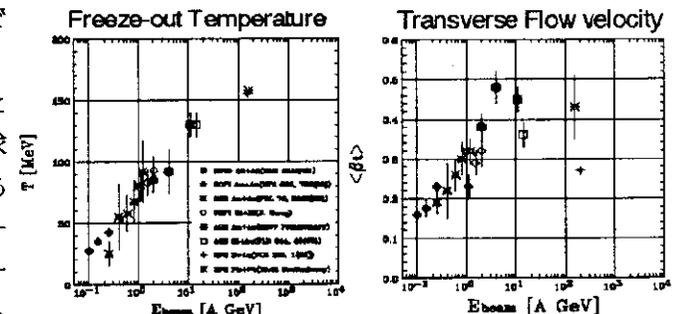
(1) 核子あたり  $< 10 \text{ GeV}$  の原子核・原子核衝突における集団運動の研究

陽子・陽子衝突や陽子・原子核衝突においてほぼ同一の横質量分布を示すのに対し、原子核・原子核衝突では、その衝突中心領域(Mid-Rapidity領域)に生成される粒子の横質量分布は、粒子の質量に比例した横質量分布の傾きを示す。この特徴的な現象は、2粒子相関測定の結果などと共に、ハドロン熱的生成に横方向の共通速度が重畳されたものとして解釈されている。右上図は、この流体力学的模型の考え方に基づいて、我々が測定した核子あたり  $2 \sim 11 \text{ GeV}$  のデータのうちで、核子あたり  $4 \text{ GeV}$  金・金原子核衝突のパイ中間子、K中間子、陽子、重陽子の横質量分布が共通の温度パラメーターと横方向のFlowパラメーターでフィットしたものである。誤差の範囲で一致することがわかった。

このようにして求めた温度パラメーターとFlowパラメーターを系統的に他の実験で同様に求められたパラメータを比較したのが右下図である。ビームエネルギーの増加と共に温度パラメーターが単調に増加しているが、Flowパラメーターは  $10 \text{ GeV}$  付近を境に減少している傾向が見られる。



核粒子の横質量分布と流体力学的模型のフィット

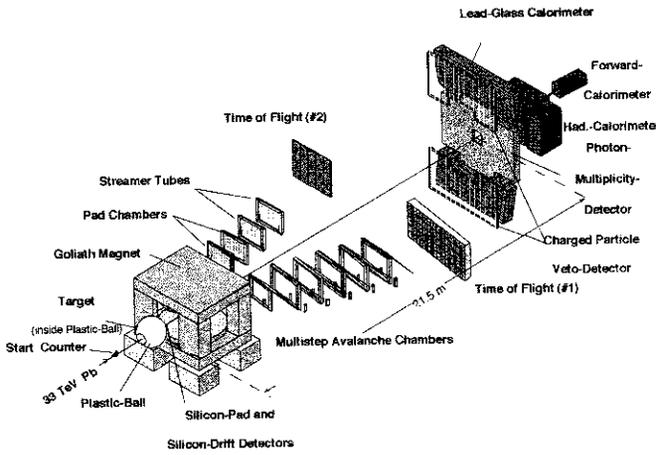


温度 (左) とFlow Parameter (右) のビームエネルギー依存性

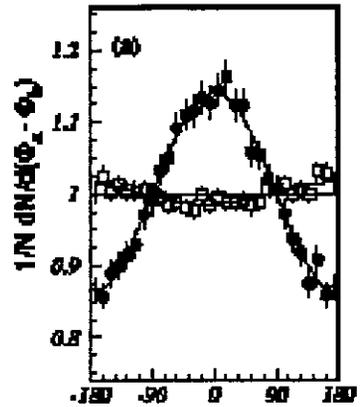
(2) 158A GeV の鉛・鉛衝突における集団運動の研究

クォーク・グルオン プラズマが生成されると相転移付近で状態方程式の著しい軟化が起これと考えられている。これは水の沸騰と同じように相転移を超えると自由度の著しい変化のためにエネルギーに対して圧力が高まらないことによる。この結果、圧力勾配に強く支配される放出粒子の集団運動強度が相転移点付近で低下すると考えられている。

原子核・原子核衝突における集団運動の強度を調べる方法として生成粒子の方位角相関の測定がある。まず、各衝突事象ごとに基準となる方位角を定め、その方位角に対する各粒子の方位角相関を観測し、その分布をフーリエ解析することによって強度が評価される。この相関の精密測定のためには、基準となる方位角を定めることが重要である。我々の行ったCERN・WA98実験（下左図）では、従来の観測からは見つかるとされてきたフーリエ1次成分の集団運動(Directed Flowと呼ばれる)が標的核領域で適切な粒子識別を行った測定を行うと観測可能であることを初めて示した。(下右図)そして、平成9年春に行われたインドにおける国際会議で報告した後に他の多くの実験チームによっても追確認されている。



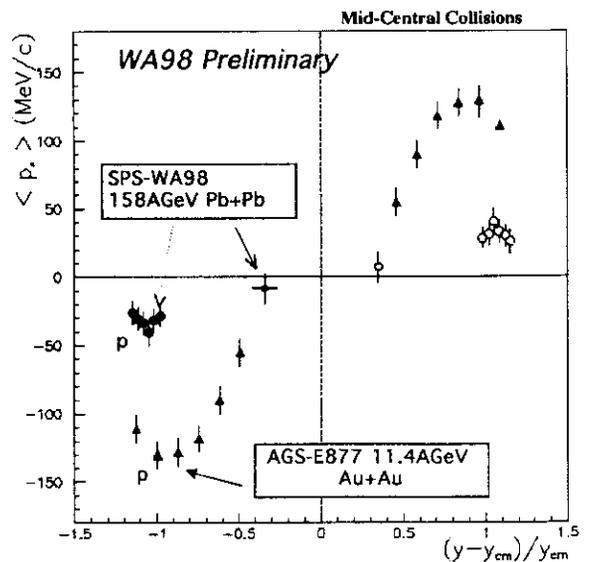
CERN・WA98実験



基準方位角を定める方位角相関

流体力学的模型計算からQGP相転移点に相当するピームエネルギーでは、この標的核領域におけるDirected Flowの強度が著しく低下するという理論的予想があり、集団運動強度のピームエネルギー依存性の観測が重要視されていた。現時点で我々の観測は最高エネルギーでなされたものであるが、核子あたり15 GeV領域で観測されたデータと比較すると約半分程度の強度となった(右図)。集団運動についても半定量的に予測可能とされる標準模型(RQMD)によると核子あたり11 GeVでは実験値より小さな予測値を与えるが、核子あたり158 GeVでは実験値より大きな予測値を与える。

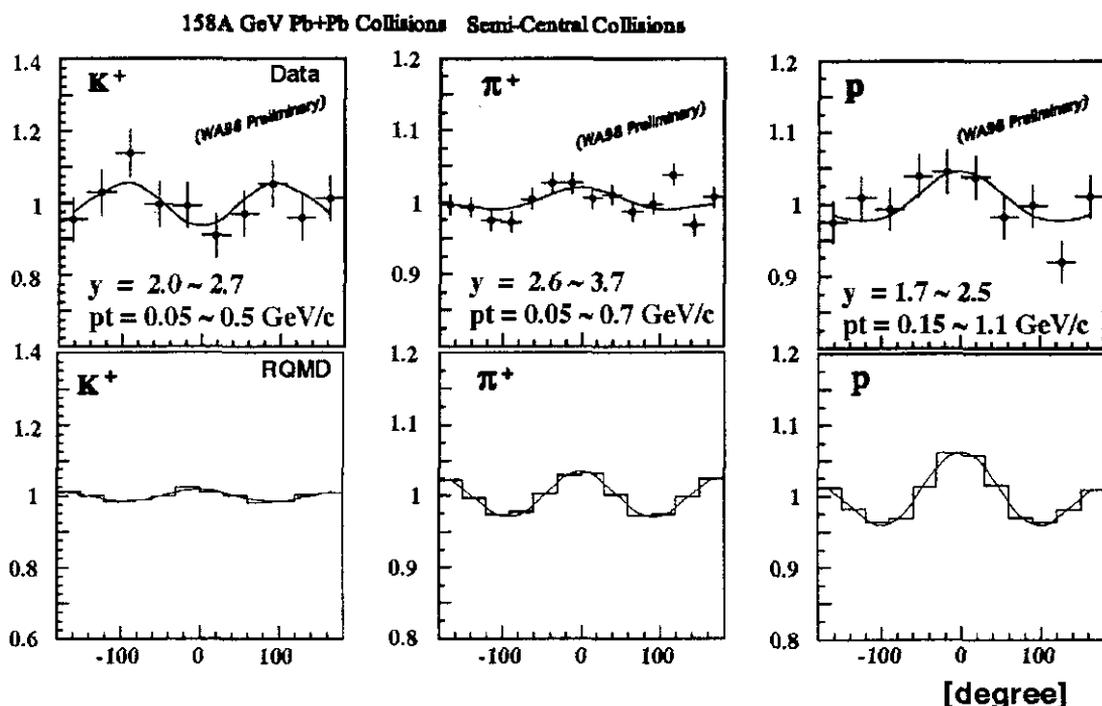
CERNのNA38/50実験グループは、J/ψ粒子の収量を様々な衝突において測定を行ってきた。陽子と原子核の衝突から硫黄+ウランウム衝突に至るまで徐々にJ/ψ粒子の収量が一様に減少し、通常の核物質中におけるJ/ψ粒子の2次の衝突によ



核子あたり11 GeVと158 GeVにおけるDirected Flow強度の比較

て失われたものと定量的に理解されている。ところが、核子あたり158 GeV鉛原子核同士の衝突では、この指数関数的減衰から、さらに減少していることが観測された。QGP生成による抑制効果ではないかと注目されている。この観測事実に関連して、同じ反応を観測した我々の集団運動強度の低下は、158 AGeVでは状態方程式に何らかの変化が起きていることを示唆している可能性があり、今後の理論的解析が待たれる。

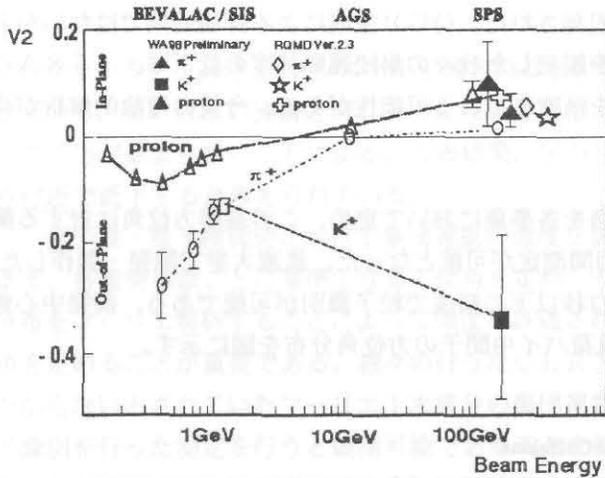
標的核領域における方位角相関測定から基準方位角を各事象において定め、この基準方位角に対する衝突中心領域 (Mid-Rapidity領域)の粒子生成の方位角相関測定が可能となった。筑波大学で開発・製作した高時間分解能飛行時間測定器により時間分解能90ピコ秒以下の精度で粒子識別が可能である。衝突中心領域 (Mid-Rapidity領域)の陽子、正電荷K中間子、正電荷パイ中間子の方位角分布を図に示す。



核子あたり158 GeVの鉛・鉛衝突で観測されたMid-Rapidity領域における方位角分布。  
 上のパネルは左から陽子、正電荷K中間子、正電荷パイ中間子についての観測結果、  
 下のパネルはRQMD模型による計算結果を示す。

この測定では基準方位角は標的核領域に放出された陽子群の向きから定義されており、Mid-Rapidity領域では衝突系の幾何学的対称性から方位角分布のフーリエ第1成分(Directed Flow)は消失し、第2成分(Elliptic Flow)が主成分になると期待される。確かに、観測された分布では、Mid-Rapidity領域からややずれた観測領域となった陽子以外は第1成分強度は誤差の範囲で消失している。158 GeVにおける正電荷K中間子についてのElliptic Flow観測はこれが初めてである。

陽子、パイ中間子は標的核領域に放出された陽子群と同じ方位角面内に放出される傾向が見られる(反応模型との比較から標的核領域に放出された陽子群の方位角は原子核・原子核衝突における反応平面と一致すると考えられている)。ところが、正電荷K中間子はこれらの粒子群とは直交した方位角方向に放出されているように見られる。RQMD模型と上図において比較しているが、陽子、パイ中間子については符号も強度についてもほぼ再現しているが、正電荷K中間子については符号すら合っていないことがわかる。正電荷K中間子の反対符号を説明するには、カイラル摂動模型で予想されるIn-medium potentialが考えられる。RQMD模型の予言する方位角方向に非等方的な陽子分布を仮定し、正電荷K中間子を静的陽子分布の



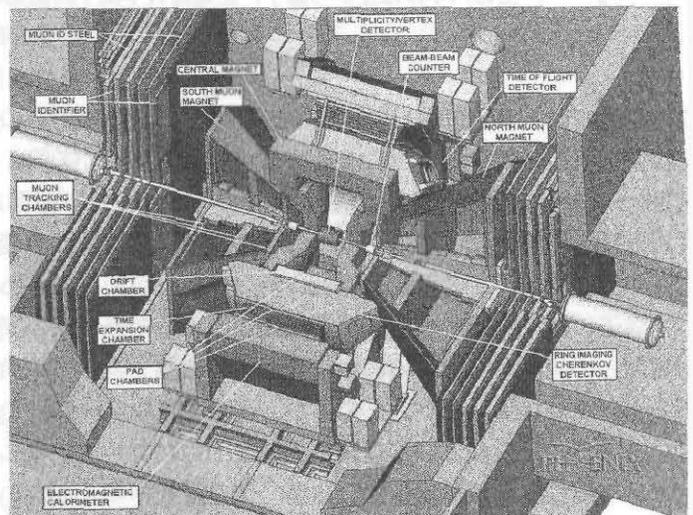
Elliptic Flow強度のビームエネルギー依存性

遮蔽が最も主要な効果と考えられるが、より高エネルギーでは相対論的効果から非関与核子群の影響が消失し、関与部からの方位角非等方放出が現れると解釈される。QGP相転移の有無によりこれらの振る舞いが大きく左右されると予測されており、今後の理論的解析が待たれる。

### (3) 核子あたり100 GeVの衝突型加速器におけるPHENIX実験

米国ブルックヘブン国立研究所(BNL)では世界初の衝突型高エネルギー重イオン加速器(RHIC; Relativistic Heavy Ion Collider)の建設が進められてきたが、いよいよ、平成11年度から核子あたり100 GeVの金の原子核同志の衝突実験が可能となる。衝突型加速器であることから従前の静止標的を用いた実験に比べて、衝突エネルギーが格段に増大し、達成される温度、時間、体積共に大きく増加すると期待されている。反応中心部の数百fm<sup>3</sup>の領域において、2~6 GeV/fm<sup>3</sup>ものエネルギー密度が達成されると予測される。これは、人類が手にしたことのない最高のエネルギー密度であることは言うまでもないが、量子色力学(QCD)が予測するQGP相転移に必要なエネルギー密度を十分に越えると考えられている。

RHICでは、2つの大型実験の実施が予定されている。PHENIX実験とSTAR実験である。STAR実験では、大型のソレノイド電磁石中に大型TPCを組み込み、個々の衝突で発生する粒子すべてを観測し、事象全体を把握することを目標としている。一方、PHENIX計画では、なるべく多種多様なQGP生成のシグナルを同時に測定することをその主な戦略としている。我々はCERN・WA98実験で使用し、実績のある高時間分解能飛行時間測定器をPHENIX実験に組み込む作業をすすめており、平成11年度中の測定開始を目指している。



PHENIX実験

〈 論文 〉

1. Fission-like reaction time in 8.5 MeV/u  $^{84}\text{Kr}+^{27}\text{Al}$ ,  
D.X. Jiang, X. Liu and S.M. Lee,  
Chinese Phys. Lett. 15(1998)95-97.
2. Reaction time and reaction mechanisms of the medium-mass reaction system  $^{84}\text{Kr}+^{27}\text{Al}$  reaction at 8.5 MeV/u,  
X. Liu, S.M. Lee,  
Phys. Lett. B435(1988) 13-18.
3. In-plane angular correlation of alpha particle-fragments in a  $^{84}\text{Kr}+^{27}\text{Al}$  reaction at 8.5 MeV/u,  
X. Liu D.X. Jiang and S.M. Lee,  
Chinese Phys. Lett. 15(1998) 486-488.
4. Crossings of the g-,s- and t-bands in  $^{184}\text{Os}$ ,  
T. Shizuma, K. Matsuura, T. Jumatsu, K. Hata, Y. Sasaki, H. Ishiyama, M. Kato, K. Uchiyama,  
T. Komatsubara, K. Furuno and T. Hayakawa,  
Phys. Lett. B442(1998)53-58.
5. Yrare bands of  $^{121}\text{Xe}$ ,  
C.B. Moon, T. Komatsubara, T. Shizuma, K. Uchiyama, Y. Sasaki, and K. Furuno,  
Euro. Phys. Jour., A 4(1999)107-109.
6. Strongly coupled rotational bands in  $^{113}\text{Sb}$ ,  
C.B. Moon, C.S. Lee, J.C. Kim, J.H. Ha, T. Komatsubara, T. Shizuma, K. Uchiyama,  
K. Matsuura, M. Murasaki, Y. Sasaki, H. Takahashi, Y. Tokita and K. Furuno,  
Phys. Rev. C 58 (1998) 1833-1836.
7. A  $\gamma$ -ray detector array for joint spectroscopy experiments at the JAERI tandem-booster facility,  
K. Furuno, M. Ohshima, T. Komatsubara, K. Furutaka, T. Hayakawa, M. Kidera, Y. Hatsukawa, M.  
Matsuda, S. Mitarai, T. Shizuma, T. Saitoh, N. Hashimoto, H. Kusakari, M. Sugawara, and T. Morikawa,  
Nucl. Instr. Meth. in Phys. Res. A 421 (1999) 211-226.
8. Systematic study of odd-odd nuclei in mass 130 region,  
T. Komatsubara, T. Shizuma and K. Furuno,  
Contributed paper to Nuclear Structure '98, Gatlinburg, p62 (1998).
9. Quadrupole deformation of barium isotopes,  
M. Sugita, K. Uchiyama and K. Furuno,  
Phys. Lett. B 440(1998) 239-245.
10. Measurement of the lifetime of the first  $2^+$  state in  $^{124}\text{Ba}$ ,  
K. Uchiyama, K. Furuno, T. Shizuma, M. Sugita, M. Kato, Y. Tokita, M. Murasaki,  
N. Hashimoto, T. Takahashi, T. Komatsubara, M. Matsuura, T. Tanaka and Y. Sasaki,  
Eurp. Phys. Jour., A 2 (1998) 13-15.
11. T-band phenomena in  $^{183}\text{Re}$ ,  
N. Hashimoto, T.R. Saitoh, G. Sletten, R.A. Bark, M. Bergstrom, K. Furuno, T. Komatsubara,  
T. Shizuma, S. Tromanen and P.G. Varmette,  
Euro. Phys. Jour., A 2(1998)327-330.
12. Rotational bands in  $^{181}\text{Ta}$ ,  
T.R. Saitoh, N. Hashimoto, G. Sletten, R.A. Bark, S. Tormanen, M. Bergstrom, K. Furuno,  
K. Furutaka, G.B. Hagemann, T. Hayakawa, T. Komatsubara, A. Maj, S. Mitarai, M. Oshima,  
J. Sampson, T. Shizuma and P.G. Vanette,  
Euro. Phys. Jour., A 1(1998)1-3.
13. Size distribution of cluster ions and neutral clusters for sputter type cluster source,  
C.K. Chung and S.M. Lee,  
The 9<sup>th</sup> Int. Symp. on Small Particles and Inorganic Clusters, Sept. 1998, Lausanne,  
Switzerland.
14. The characteristics of quasi elastic collisions between noble gas atoms and individual carbons in  $\text{C}_{60}$ ,  
T. Miura, S. Tomita, R. Fujita, T. Muramoto, Y. Yamamura. I. Arai, and S.M. Lee,  
The 9<sup>th</sup> Int. Symp. on Small Particles and Inorganic Clusters, Sept. 1998, Lausanne, Switzerland.
15. Projectile dependence of collisions and dissociations in the scattering between fullerenes

- and noble gas atoms,  
 S.M. Lee, S. Tomita, T. Miura, and R. Fujita,  
 Workshop on collisions involving atomic clusters, June 20-24, 1998, Soenderborg, Denmark..
16. Kaon production in Au+Au reactions at 11.6A GeV/c,  
 L. Ahle, Y. Miake, H. Sako and E866 Collaboration  
 Phys. Rev. C 58(1998)3523-3538.
  17. Search for disoriented chiral condensates in 158 GeV/A Pb+Pb collisions,  
 M.M. Aggarwal, S. Kato, Y. Miake, S. Nishimura, H. Sako, S. Sato, K. Yagi and WA98 Collaboration,  
 Physics Letter B420 (1998)169-179.
  18. Electromagnetic Signatures of QGP(Photons): Experimental Status  
 T. Awes, S. Kato, Y. Miake, S. Nishimura, H. Sako, S. Sato, K. Yagi and WA98 Collaboration,  
 Proc. of 3rd International Conference on Physics and Astrophysics of Quark Gluon Plasma  
 (ICPAQGP 97), 111-119, Mar. 17-21, Jaipur, India (published in1998).
  19. Search for Disoriented Chiral Condensates: An Experimental Perspective.  
 T. K. Nayak, S. Kato, Y. Miake, S. Nishimura, H. Sako, S. Sato, K. Yagi and WA98 Collaboration,  
 Proc. of 3rd International Conference on Physics and Astrophysics of Quark Gluon Plasma  
 (ICPAQGP 97), 167-179, Mar. 17-21, Jaipur, India (published in1998).
  20. Directed Flow Analysis in Pb+Pb Collisions at 158 GeV per Nucleon.  
 S. Nishimura, S. Kato, Y. Miake, H. Sako, S. Sato, K. Yagi and WA98 Collaboration,  
 Proc. of 3rd International Conference on Physics and Astrophysics of Quark Gluon Plasma  
 (ICPAQGP 97), 258 - 269, Mar. 17-21, Jaipur, India (published in1998).
  21. Production of Neutral Mesons in 158 AGeV Heavy Ion Collisions at the CERN SPS  
 C. Blume, S. Kato, Y. Miake, S. Nishimura, H. Sako, S. Sato, K. Yagi and WA98 Collaboration,  
 Proc. of 3rd International Conference on Physics and Astrophysics of Quark Gluon Plasma  
 (ICPAQGP 97) 471 - 474, Mar. 17-21, Jaipur, India (published in1998).
  22. First Evidence of Directed Flow at CERN-SPS Energy from WA98 Experiment,  
 K. Mizuki, S. Kato, Y. Miake, S. Nishimura, H. Sako, S. Sato, K. Yagi and WA98 Collaboration,  
 Proc. of 3rd International Conference on Physics and Astrophysics of Quark Gluon Plasma  
 (ICPAQGP 97) 549 - 553, Mar. 17-21, Jaipur, India(published in1998).
  23. Performance of Multi-step avalanche Chambers Equipped with Two-Dimensional Electronic Readout,  
 L. Carlen, Y. Miake, S. Nishimura, S. Sato, K. Yagi et.al.,  
 Nucl.Instrum.Meth. in Phys. Res. A 412(1998)361-373.
  24. Fabrication and Test of a 70000 Channels Electronic Pad Readout System for Multi-Step Avalanche  
 Chambers,  
 L. Carlen, Y. Miake, et.al.,  
 Nucl.Instrum.Meth. in Phys. Res. A 413(1998)92-104.
  25. Au + Au Reactions at the AGS: Experiments E866 and E917,  
 L. Ahle, Y. Miake, H. Sako, and E866 Collaboration  
 Nuclear Physics A 638(1998) 57c -68c.
  26. Recent Results on Pb + Pb Collisions at 158 A GeV from the WA98 Experiment at CERN,  
 M.M. Aggarwal, S. Kato, Y. Miake, S. Nishimura, H. Sako, S. Sato, K. Yagi and WA98 Collaboration,  
 Nuclear Physics A 638(1998) 147c -158c.
  27. Present Status and Future of DCC Analysis,  
 M.M. Aggarwal, S. Kato, Y. Miake, S. Nishimura, H. Sako, S. Sato, K. Yagi and WA98 Collaboration,  
 Nuclear Physics A 638(1998)147c -158c.
  28. Centrality and Collision System Dependence of Anti-proton Production from p+A to Au+Au  
 Collisions at AGS Energies,  
 L. Ahle, Y. Miake, H. Sako, and E866 Collaboration,  
 Nuclear Physics A 638(1998) 427 - 430.
  29. Collective Flow in 158 A GeV Pb + Pb Collisions,  
 M.M. Aggarwal, S. Kato, Y. Miake, S. Nishimura, H. Sako, S. Sato, K. Yagi and WA98 Collaboration,  
 Nuclear Physics A 638(1998) 459 -462.
  30. The PHENIX Experiment at RHIC,  
 D.P. Morrison, S. Kato, Y. Miake, S. Nishimura, H. Sako, S. Sato, K. Yagi and PHENIX Collaboration,  
 Nuclear Physics A 638(1998) 565c -569c.

31. Spin Physics with the PHENIX Detector System,  
N. Saito, S. Kato, Y. Miake, S. Nishimura, H. Sako, S. Sato, K. Yagi and PHENIX Collaboration,  
Nuclear Physics A 638(1998) 575c -578c.
32. Anti-Proton Production in Au + Au Collisions at 11.7 A GeV/c,  
L. Ahle, Y. Miake, H. Sako, and E866 Collaboration  
Physical Review Letters 81(1998) 2650 -2654.
33. Centrality Dependence of Neutral Pion Production in 158 A GeV Pb + Pb Collisions,  
M.M. Aggarwal, S. Kato, Y. Miake, S. Nishimura, H. Sako, S. Sato, K. Yagi and WA98  
Collaboration,  
Phys.Rev.Lett. 81(1998)4087-4091.

〈 学位論文 (博士論文) 〉

1. 片渕竜也  
Macroscopic migration of implanted deuterium in silicon
2. 倉田美月  
Azimuthal anisotropy of particle emission at target rapidity region in Pb+Pb 158A GeV collisions.
3. 絵野沢和彦  
Study of the azimuthally anisotropic emission of kaons in 158 A GeV Pb+Pb collisions at CERN-SPS.

〈 学位論文 (修士論文) 〉

1. 土屋良起  
(d,  $\alpha$ ) 反応の連続領域における偏極分解能
2. 石山博紀  
セグメント型ゲルマニウム検出器による  $\gamma$  線直線偏光の測定
3. 佐々木康行  
 $\gamma$  線のドップラー効果による  $^{134}\text{Ce}$  の寿命測定
4. 佐々木 玄  
数 keV Xe ビームによって生成された 3d 遷移金属クラスターの質量分布
5. 塩崎祐介  
低エネルギークラスターのための TOF 検出器の開発
6. 嶋山稔英  
Xe ビームのスパッタリングで生成された半導体クラスターの解離パターン
7. 平野太一  
158A GeV の鉛・鉛原子核衝突における低横運動量領域での  $\pi^+ \pi^-$  生成比
8. 島田知弘  
158A GeV の鉛・鉛原子核衝突における HBT 効果測定の集団運動模型による解釈
9. 林 寛  
158A GeV の鉛・鉛原子核衝突におけるパイ中間子、K 中間子、陽子生成の中心衝突度依存性
10. 稲葉 基  
PHENIX 実験のための飛行時間測定器読み出し回路の QVC・AMU の性能評価

〈 国際会議講演 〉

1. 三明康郎  
Collective flow in heavy ion collisions at CERN-SPS WA98, Int. workshop on contemporary physics, April 30-May 2,(1998), Seoul, Korea.
2. 三明康郎  
PHENIX experiment and signatures of QGP, Int. workshop on contemporary physics, April 30-May 2,(1998), Seoul, Korea..
3. 李 相茂

Projectile dependence of collisions and dissociations in the scattering between fullerenes and noble gas atoms,  
Workshop on collisions involving atomic clusters , June 20-24, 1998, Soenderborg, Denmark..

〈 日本物理学会講演 〉

1.  $^{184}\text{Os}$  の核構造  
静間俊行、松浦勝之、古野興平、畑 健治、石山博紀、十松忠士、加藤雅規、小松原哲郎、佐々木康行、内山浩志、早川岳人、  
1998年4月1日、第53回年会、東邦大学
2. Observation of directed and elliptic flow at CERN-WA98 in 158A GeV Pb+Pb collisions (I),  
倉田美月、絵野沢和彦、加藤純雄、栗田和好、佐甲博之、佐藤 進、中條達也、西村俊二、  
三明康郎、宮本裕子、八木浩輔、横田幸男、他 CERN-SPS-WA98 Collaboration。  
1998年4月1日、第53回年会、東邦大学
3. Observation of directed and elliptic flow at CERN-WA98 in 158A GeV Pb+Pb collisions (II),  
西村俊二、絵野沢和彦、加藤純雄、倉田美月、栗田和好、佐甲博之、佐藤 進、中條達也、  
三明康郎、宮本裕子、八木浩輔、横田幸男、他 CERN-SPS-WA98 Collaboration。  
1998年4月1日、第53回年会、東邦大学
4. Measurement of  $\Delta^{++}$  at CERN-WA98 in 158GeV/c,  
佐藤 進、絵野沢和彦、加藤純雄、倉田美月、栗田和好、佐甲博之、中條達也、西村俊二、  
三明康郎、宮本裕子、八木浩輔、横田幸男、他 CERN-SPS-WA98 Collaboration。  
1998年4月1日、第53回年会、東邦大学
5. Measurement of  $\phi \rightarrow K^+K^-$  in 158A GeV/c Pb+Pb collisions from CERN-SPS-WA98  
experiment,  
西村俊二、絵野沢和彦、加藤純雄、倉田美月、栗田和好、佐甲博之、佐藤 進、中條達也、  
三明康郎、宮本裕子、八木浩輔、横田幸男、他 CERN-SPS-WA98 Collaboration。  
1998年4月1日、第53回年会、東邦大学
6. 重陽子弾性散乱における分解過程の寄与  
青木保夫、奥村紀浩、城 哲男、高橋憲秋  
1998年10月6日、1998年秋の分科会、秋田大学
7. 液体ヘリウムを用いた陽子偏極ポラリメーターの開発  
山口充孝  
1998年10月4日、1998年秋の分科会、秋田大学
8. Free BSD LynxOS を用いたデータ収集システム  
木村博美、小松原哲郎  
1998年10月3日、1998年秋の分科会、秋田大学
9. Ba 同位体における  $B(E2; 0_1^+ \rightarrow 2_1^+)$  の系統的研究  
内山浩志、杉田道昭、古野興平  
1998年10月3日、1998年秋の分科会、秋田大学
10. 回転バンド交差領域における  $B(E2)$  の振る舞い  
池田秋津、古野興平  
1998年10月6日、1998年秋の分科会、秋田大学
11. シリコンへの重水素イオン注入によるフレーキングとパーコレーション  
片渕竜也、河地有木、田岸義宏  
1998年9月26日、1998年秋の分科会、琉球大学
12. 数 keV 領域での希ガス原子・炭素原子散乱  
三浦 崇、藤田留美子、今中雅士、富田成夫、李 相茂  
1998年9月26日、1998年秋の分科会、琉球大学
13. 液体 He フリー超伝導電磁石を用いた ECR イオン源の設計  
栗田哲郎、中川孝秀、李 相茂

- 1998年9月28日、1998年秋の分科会、琉球大学
14. 高速 Xe 原子衝突による金属クラスターの成長  
佐々木 玄、鄭 春均、李 相坤、塩崎祐介、樋野和彦、李 相茂  
1998年9月25日、1998年秋の分科会、沖縄国際大学
  15. マグネトロンスパッタリングによる金属クラスターの生成  
鄭 春均、佐々木 玄、塩崎祐介、樋野和彦、李 相坤、李 相茂  
1998年9月25日、1998年秋の分科会、沖縄国際大学
  16. 低速クラスター TOF 測定のための検出器開発  
塩崎祐介、佐々木 玄、鄭 春均、樋野和彦、李 相坤、李 相茂  
1998年9月25日、1998年秋の分科会、沖縄国際大学
  17. Beam energy dependence of the transverse and longitudinal expansion in Au+Au collisions at 2-11A GeV(AGS-E866),  
中條達也、林 祥子、加藤純雄、熊谷荒太、三明康郎、佐甲博之、八木浩輔、  
他 E866 Collaboration。  
1998年、秋の分科会、秋田大学
  18. Observations of azimuthally anisotropic flow of Kaons at CERN-SPS-WA98 in 158A GeV Pb+Pb Collisions,  
絵野沢和彦、加藤純雄、倉田美月、栗田和好、佐甲博之、佐藤 進、中條達也、西村俊二、  
三明康郎、宮本裕子、八木浩輔、横田幸男、他 CERN-SPS-WA98 Collaboration。  
1998年、秋の分科会、秋田大学
  19. Study of Delta++ production at CERN-SPS-WA98 in 158A GeV Pb+Pb collisions,  
佐藤 進、絵野沢和彦、加藤純雄、倉田美月、栗田和好、佐甲博之、中條達也、西村俊二、  
三明康郎、宮本裕子、八木浩輔、横田幸男、他 CERN-SPS-WA98 Collaboration。  
1998年、秋の分科会、秋田大学
  20.  $^{100}\text{Mo}(\text{pol. p,d})^{99}\text{Mo}$  反応(21 MeV)の測定と空孔状態の分散状況の観測  
的場 優、若林源一郎、桑原智子、小西大輔、シャファル・デイン、北村哲也、廣渡成幸、  
荒巻富士夫、青木保夫、広田克也、奥村紀浩、城 哲男  
1999年3月28日、第54回年会、広島大学
  21. 陽子、重陽子全反応断面積測定系の開発  
奥村紀浩、青木保夫、広田克也、城 哲男、高橋憲秋  
1999年3月28日、第54回年会、広島大学
  22. 数 keV における  $\text{C}_{60}$  内イオン・炭素原子散乱に見る多体効果  
三浦 崇、新井一郎、今中雅士、富田成夫、李 相茂  
1999年3月29日、第54回年会、広島大学
  23. Xe 原子スパッタリングによる原子クラスターの生成と崩壊  
嶋山稔英、佐々木 玄、新井一郎、李 相茂  
1999年3月28日、第54回年会、広島大学
  24. シリコン中での注入重水素の巨視的移動とパーコレーション  
河地有木、片渕竜也、田岸義宏  
1999年3月28日、第54回年会、広島大学

〈 原子力学会講演 〉

1. D(d,p)T 反応を用いた注入重陽子測定  
河地有木、片渕竜也、山口充孝、田岸義宏  
1998年9月29日、秋の大会、福井工業大学
2. D(d,p)T 反応を利用した注入重陽子の内部密度分布測定  
河地有木、片渕竜也、山口充孝、田岸義宏  
1998年3月23日、春の大会、広島大学

〈 国内研究会講演 〉

1. 重陽子弾性散乱における分解過程の寄与  
青木保夫  
スピン物理研究会, 1998年8月3日, 大阪大学核物理研究センター
2. 筑波大学加速器センターにおけるスピン偏極実験  
田岸義宏  
スピン物理研究会, 1998年8月3日, 大阪大学核物理研究センター
3. 地球科学試料の水素分析  
古野興平、村崎麻美、木村博美、大和良広、田島義一、大島弘行、石井 聡、高橋 務、  
第11回タンデム加速器及びその周辺技術の研究会、1998年7月2,3日、東京工業大学。
4. g-factor measurements with transient magnetic field,  
古野興平  
タンデム領域の核物理研究会、1998年7月23,24日、日本原子力研究所（東海研究所）。
5. タンデム加速器によるガンマ線分光と境界領域研究  
古野興平  
物質科学シンポジウム「タンデム領域の重イオン科学研究会」、主催：日本原子力研究所、  
1999年1月12,13日、水戸-藝文ホール
6. ピコ秒領域の原子核励起状態の磁気モーメント測定  
古野興平  
物質科学シンポジウム「タンデム領域の重イオン科学研究会」、主催：日本原子力研究所、  
1999年1月12,13日、水戸-藝文ホール
7. 数 keV 原子とフラーレンの散乱  
三浦 崇、富田成夫、藤田留美子、李 相茂  
超微粒子とクラスター懇談会、第2回研究会、1998年4月22-24日、
8. クラスター分裂  
李 相茂  
平成10年度特定（重点）領域研究「多自由度トンネル」研究会、  
1998年12月20日-23日、三重県志摩郡阿児町賢島、賢島研修センター
9. 数イオンとフラーレン内炭素原子散乱に見る多体効果  
三浦 崇  
京都大学基礎研究会、マイクロクラスターとその周辺、1998年12月7-9日
10. Scaling of cluster size distribution in sputtering ion source  
新井一郎  
京都大学基礎研究会、マイクロクラスターとその周辺、1998年12月7-9日
11. AGS-SPS の高エネルギー重イオン物理の総決算  
三明康郎  
JHF K arena workshop, 1999年3月、KEK.