

重イオン衝撃による C_{60} 解離の入射粒子依存

京大院工 原子核工学教室 伊藤秋男

1. 緒言

中間凝縮系としてのクラスター粒子はメソスコピック領域特有の物性を発現するものとして近年注目されている。クラスター粒子に対する詳細な研究を行うためには、質量数の揃った試料を相当量必要とするため、現状では系統的な研究は充分には進んでいない。一方、Krätshmer による大量合成法の発見以来 C_{60} クラスター粒子に対する研究は多方面から積極的に成されている。特に、数百°C 程度の温度でも高い蒸気圧が得られるため原子衝突の分野でも幾つかの研究が報告されており、標的あるいは加速イオンとして C_{60} が使用されている。

Hvelplund *et al.*¹⁾ は 50-300keV の $C_{60}^{1,2+}$ イオンを H_2 、He ガス中を通過させ、その分解片を測定した。スペクトル分布は比較的単純で、 $C_{60}^{1,2+}$ 等の親イオンから偶数個の炭素原子蒸発により生成される娘イオンからなり、指数関数的強度分布を示す。また N_2 ガス標的の場合にはより激しい分解が起こり、低質量の $C_n^+(n=1,2,3...)$ イオンが観測されている²⁾。LeBrun *et al.*³⁾ は高エネルギー重イオン衝撃による C_{60} 分解片の TOF スペクトルを報告している。また Walch *et al.*⁴⁾ は低速の多価 Ar イオンを用い、 C_{60} 分解片と電子捕獲したイオンとの間の同時測定を行い、スペクトル分布が捕獲電子数に強く依存していることを見い出している。

これらの実験結果は、衝突による C_{60} の電離度がその後の分解過程を決定づける主要因のひとつであることを示唆している。本研究ではより系統的に調べるために、軽イオン～重イオンを同一実験条件の下で C_{60} に照射し、その分解片スペクトルを測定した。

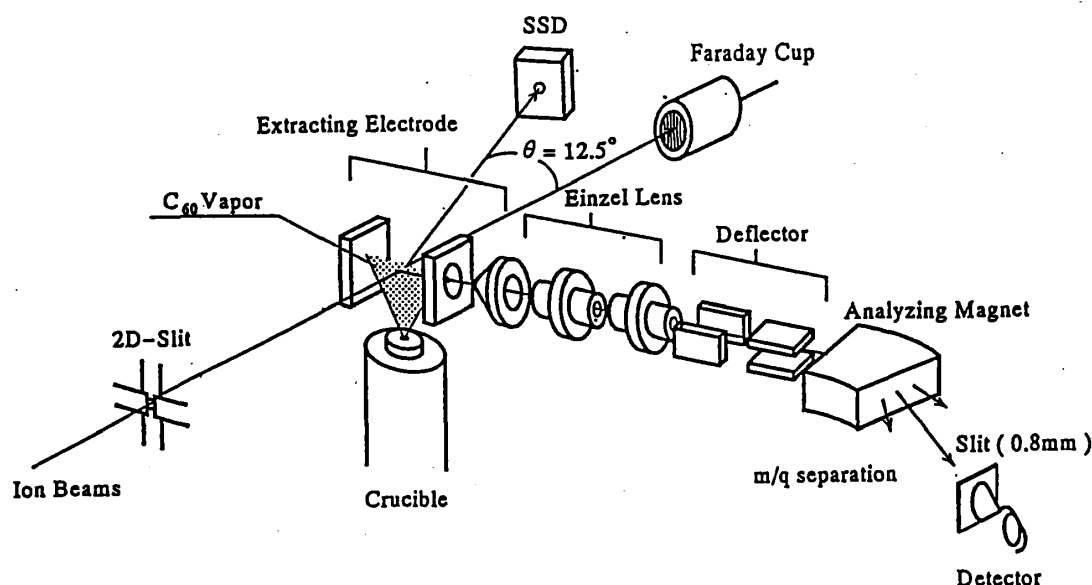


Fig.1. Experimental setup

2. 実験

実験は京大工学部タンデム型コッククロフトワルトン型加速器 (1.7MV) を用いて行った (Fig.1)。入射イオンとして、水素、リチウム、シリコン、金を用い、エネルギーは 0.6 ~ 4 MeV、イオン価数は $1+ \sim 3+$ 、ビーム電流は数 nA である。 C_{60} 蒸気ターゲットは粉末試料を石英製ルツボに入れ 400 ~ 600 °C の加熱により生成した。⁵⁾ C_{60} の衝突による分解イオン片は電場により引出し、集束レンズを通過した後、磁場分析法により質量分析を行い、セラトロンにより検出した。検出器のフロント面に負電圧を印加してイオンエネルギーおよびイオン種による検出効率を調べ、検出効率がほぼ一定であることを確認している。衝突領域の電場勾配を調整することにより、全体の質量分解能を $\Delta m/m=0.67\%$ としている。従って例えば、 C_{60} ($m=720$) の場合、 $\Delta m=4.8$ 、であり、 C_{60} と C_{59} の分離が可能である。

3. 結果と考察

イオン衝突による C_{60} 分解片スペクトルを Fig.2 に示す。この中で、1.3MeV/u C^{2+} 入射のものは、理研重イオンリニアック (RILAC) を用いた TOF 法による測定結果である (別稿報告)。縦軸は強度最大のピークで規格化している。原子番号 Z の小さいイオン衝撃の場合は 1~3 個の電離に伴うスペクトルのみ観測され、分解が殆ど起っていないことが解る。一方、 Z の増大と共に低質量解離片強度は徐々に増加し、電離だけでなく分解が促進している。特に Au^{2+} 入射では、 $C_{1\sim3}^{+}$ の強度は親イオンの C_{60}^{+} と同程度以上である。これらの傾向から、高 Z イオン衝突では多重励起・電離が誘発され、高い内部励起エネルギー状態が形成され、結果的に C_{60} の崩壊を引き起こしていることが解る。

Fig.3 は親イオン ($C_{60}^{2,3+}$) 近傍のスペクトル例を示す。 $C_{58,56}^{+}$ 等の偶数個イオンのみが観測され、奇数個イオンは生成されていないことが解る。これまで報告されている様に、これらのイオンは $C_{2,4}$ 蒸発に伴う解離片であるものと考えられる。また、裾野のピーク強度は親イオンの価数が増加するにつれて大きくなっている。これは、多重電離したクラスターはより簡単に分解することを示唆している。

低質量解離片 C_n^{+} は $n=1\sim12$ が確認された。これらは C_2 蒸発過程とは違う過程で生成されるものと考えられ、より激しい分解機構に基づくものであろう。この領域の炭素クラスターは主に鎖状構造をとるものと考えられるので、形成過程に対してより詳細な研究が必要である。入射イオン種による強度変化の様子を Fig.4. に示す。図は C_1^{+} の強度で規格化している。 Li^{+} 入射の場合は炭素個数 (n) の増加と共に強度が増加し、 Au^{3+} イオンでは減少している。高 Z のもの程分解の度合いが大きいことに対応している。また、スペクトル強度は偶奇数による振動構造を示している。これらはクラスタイオンの安定度を反映しており、凝集エネルギーの違いに依るものと考えられる。⁶⁾

- [1] P. Hvelplund *et al.* ; Phys. Rev. Lett. **69** (1992) 1915.
- [2] S.Della-Negra *et al.* ; Nucl. Instrm. and Meth. **B74** (1993) 453.
- [3] T. LeBrun *et al.* ; Phys. Rev. Lett. **72** (1994) 3965.
- [4] B. Walch *et al.* ; Phys. Rev. Lett. **72** (1994) 1439.
- [5] J. Abrefah *et al.* ; Phys. Lett. **60** (1992) 1313.
- [6] D. Tomanek and M.A.Schluter; Phys. Rev. Lett. **67** (1991) 2331.

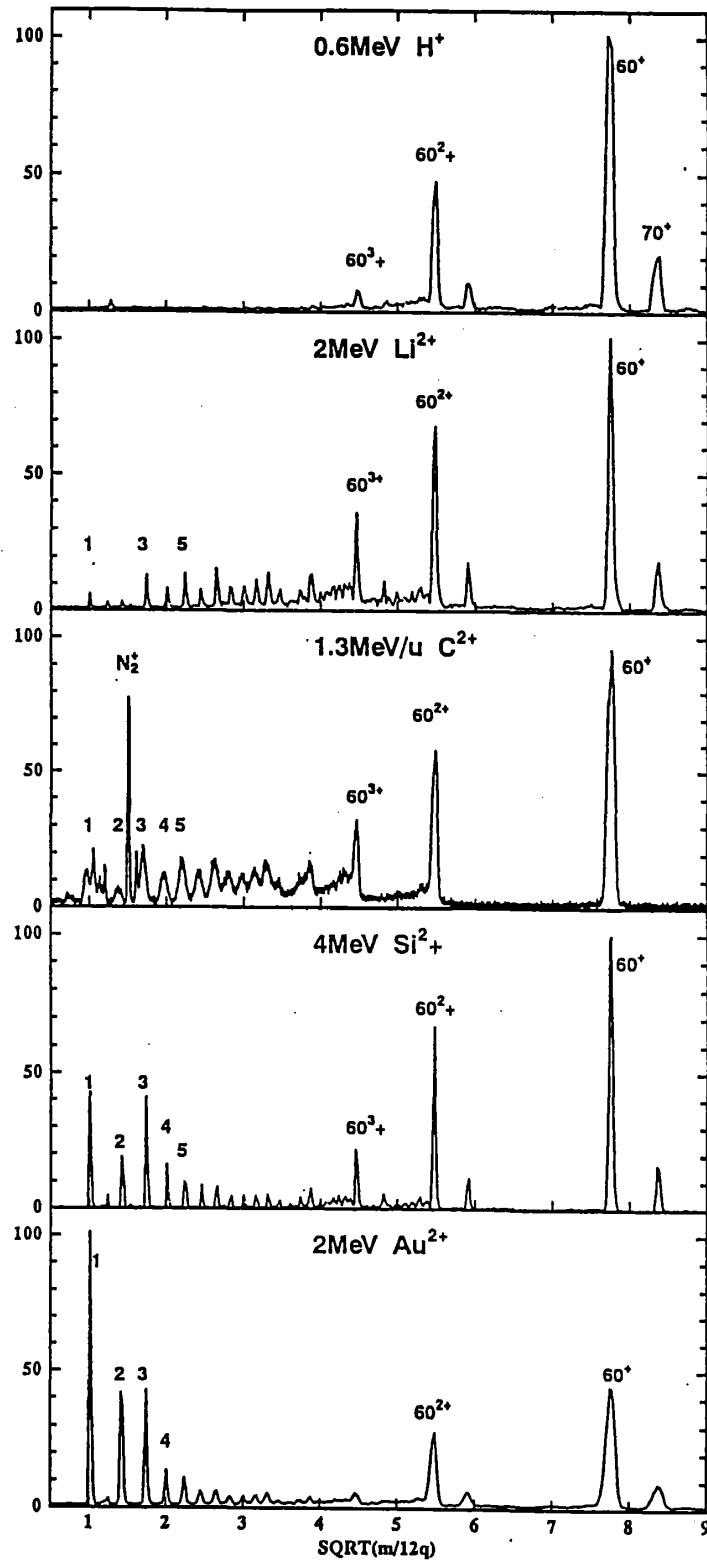


Fig.2. Fragment ion mass/charge spectra by MeV energy projectiles.

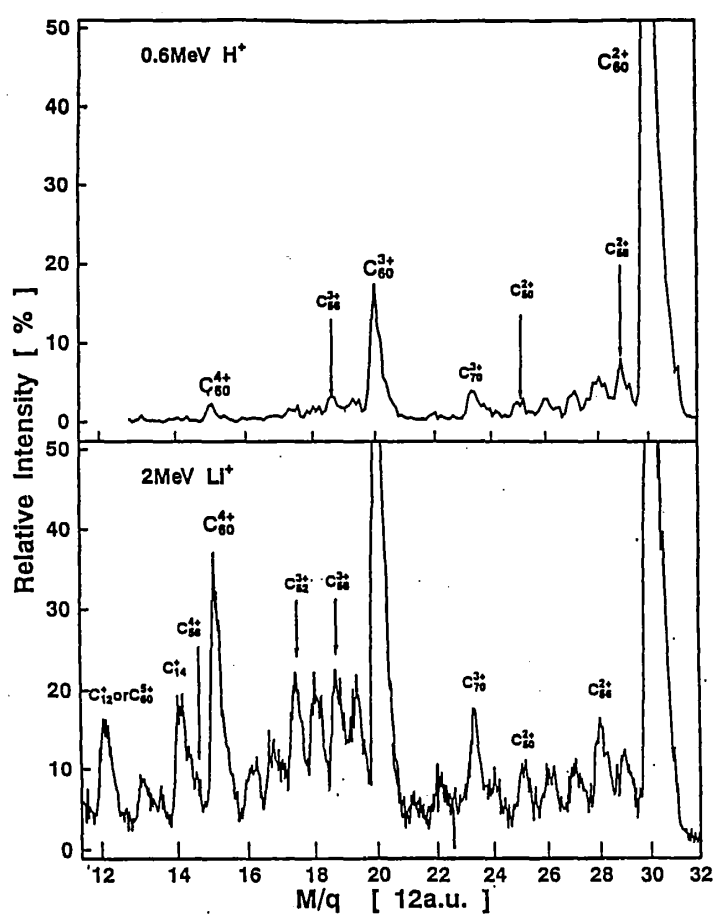


Fig.3. Higher mass ion spectra produced via C_2 -evaporation.

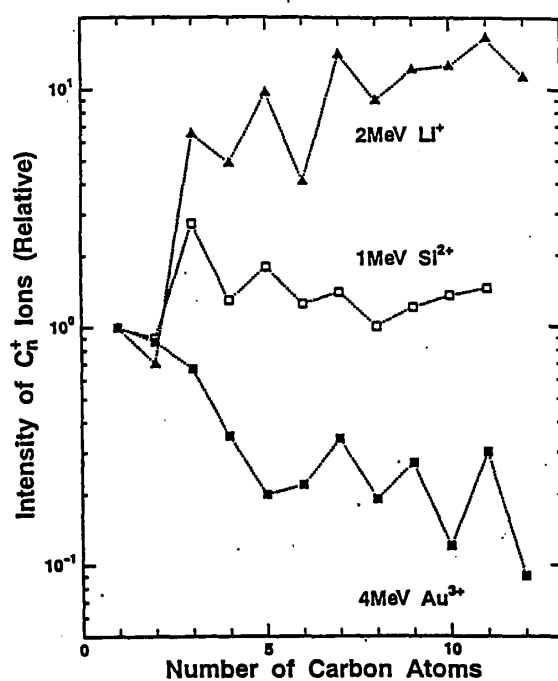


Fig.4. Intensity oscillation of lower mass fragments C_n^+ .