

24aWK-5

# 中間エネルギーにおける入射核破砕片の 運動量分布と生成断面積

"Momentum Distribution and production cross section of projectile fragments  
at intermediate energies"

高知工科大学 百田 佐多生

共同研究者

放射線医学総合研究所

金澤 光隆，北川 敦志，須田 充

佐々木 誠，平井 正明

高知工科大学

野尻 洋一，齋原 光和子，坂本 麻子

## 0 . 重イオンビームの応用

### 重イオンビームとそれから生成される二次ビーム

- 1 ) 原子核物理学
- 2 ) 宇宙物理学
- 3 ) 物性物理学
- 4 ) 生物 , **医療**

↑  
11P078 二次ビームコースを利用した  
入射粒子破碎断面積の測定

NRS (放射線医学総合研究所)

HMAC 加速器で加速した $^{12}\text{C}$  (290 MeV/A) の  
照射によるガン治療

$^{12}\text{C}$  以外のビームの利用

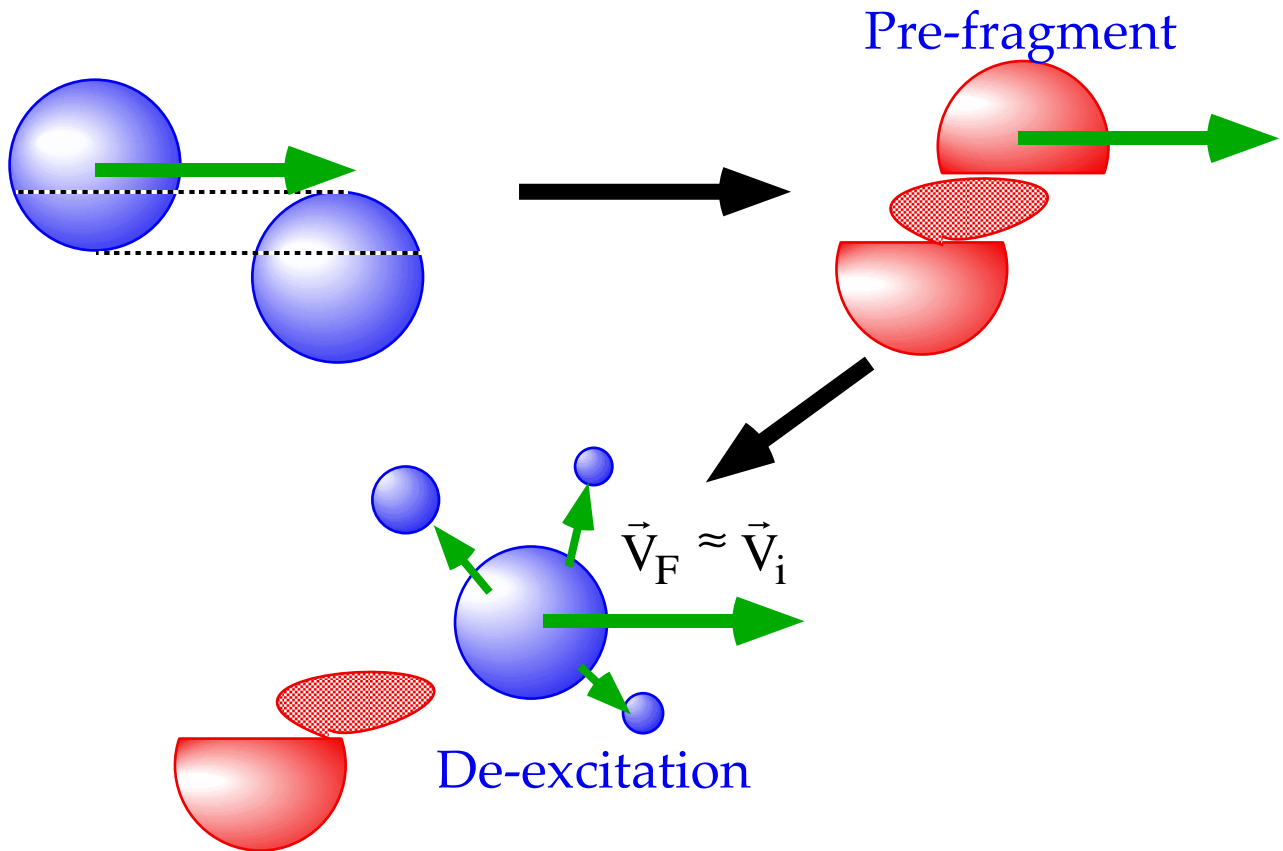
入射粒子の生体に与える影響



⋮  
**破碎片の運動量分布や生成断面積  
データまだ不十分**

# 1 . 入射核破砕過程による破砕片の生成

Projectile fragmentation ( $\geq 100 \text{ MeV} / A$ )



1 ) 良質のビームが得られる。

$$\vec{V}_F \sim \vec{V}_P$$

Separation in flight

2 ) 不安定核ビームの生成に適している。

ビーム強度

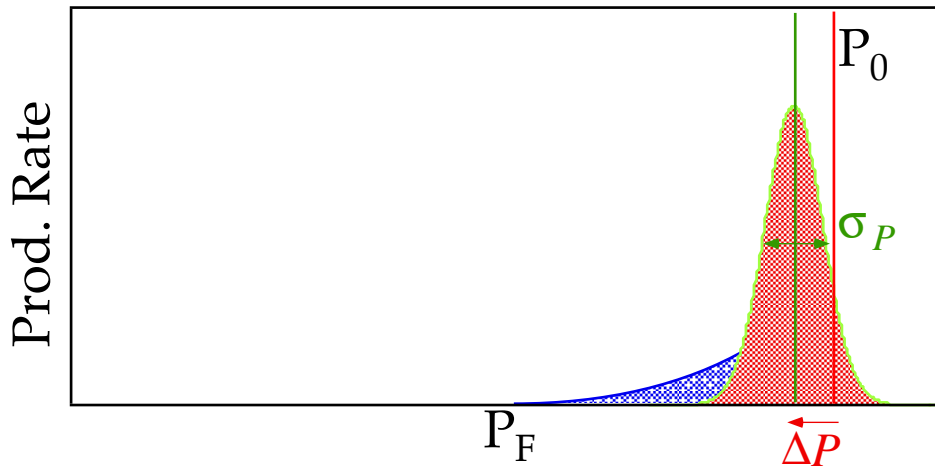
A . 生成断面積

B . ビームラインのアクセプタンス

etc .

## 2 . 破碎片の運動量分布と生成断面積

### 1 ) 破碎片の運動量分布



1) Velocity shift :  $\Delta P$

Excitation energy & Binding energy

2) Momentum distribution :  $\sigma_P$

A. Fermi momentum of nucleons in nucleus

ref. A.S. Goldhaber, Phys. Lett. **47B** (1973) 306

B. Deflection by nuclear force ( $P_T$ )

3) Low momentum component :

Multi-step processes

### 2 ) 破碎片の生成断面積

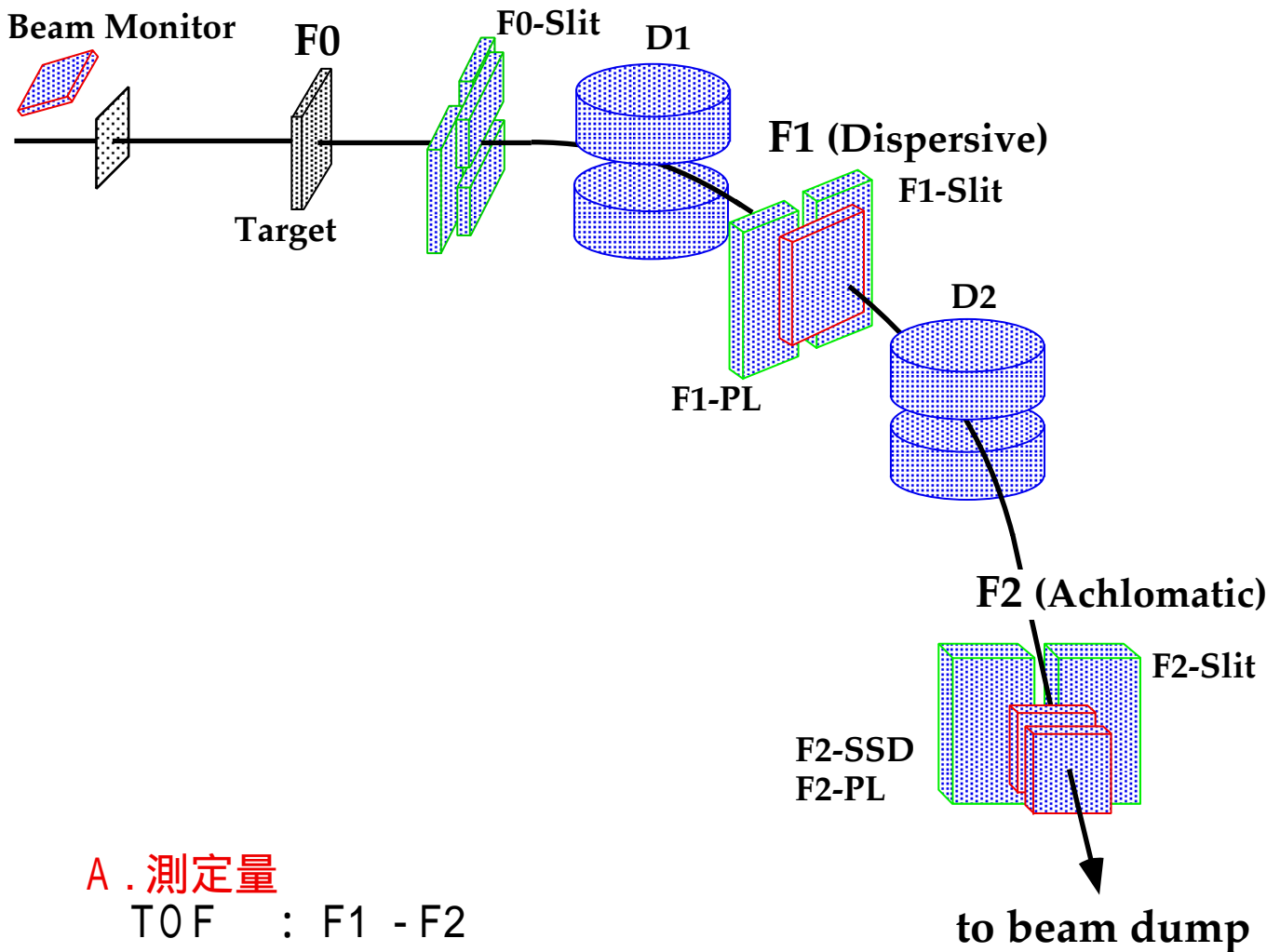
EPAX2 by Summerer et al.

Normalization

$$\sigma_{\text{Prod.}}(A, Z) = \underbrace{n}_{\text{Normalization}} \times \underbrace{Y_A}_{\text{Mass yield}} \times \underbrace{\exp(-R|Z_{\text{prob}} - Z|^{U_{n(p)}})}_{\text{Charge dispersion}}$$

入射エネルギーや標的核依存性は？

### 3 . 測定



#### A . 測定量

TOF : F1 - F2  
 $\Delta E$  : F2

#### B . 破碎片の生成率の導出

ビーム強度による規格化

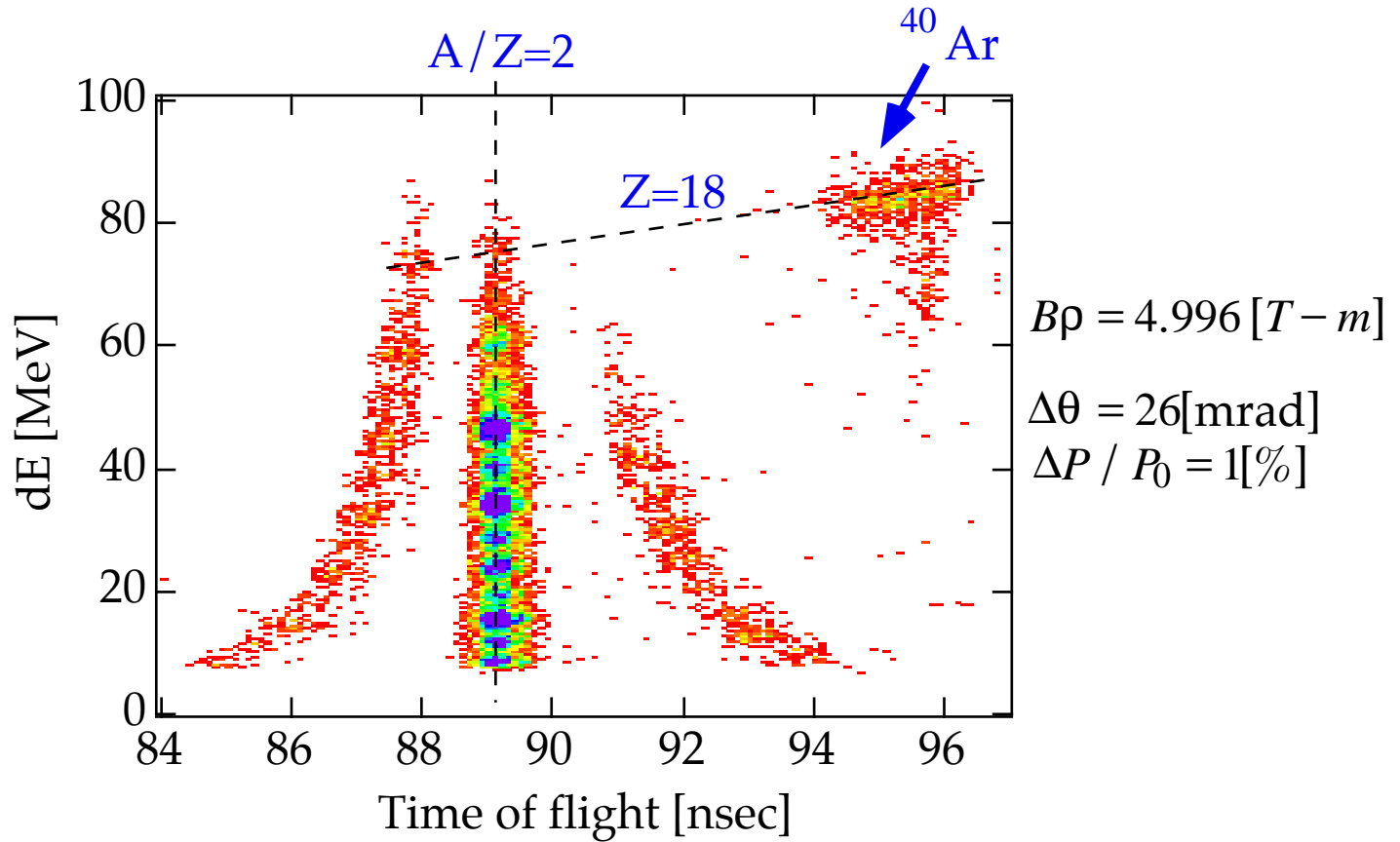
Beam intensity was measured by SEM  
: secondary electron monitor

#### C . 生成断面積の導出

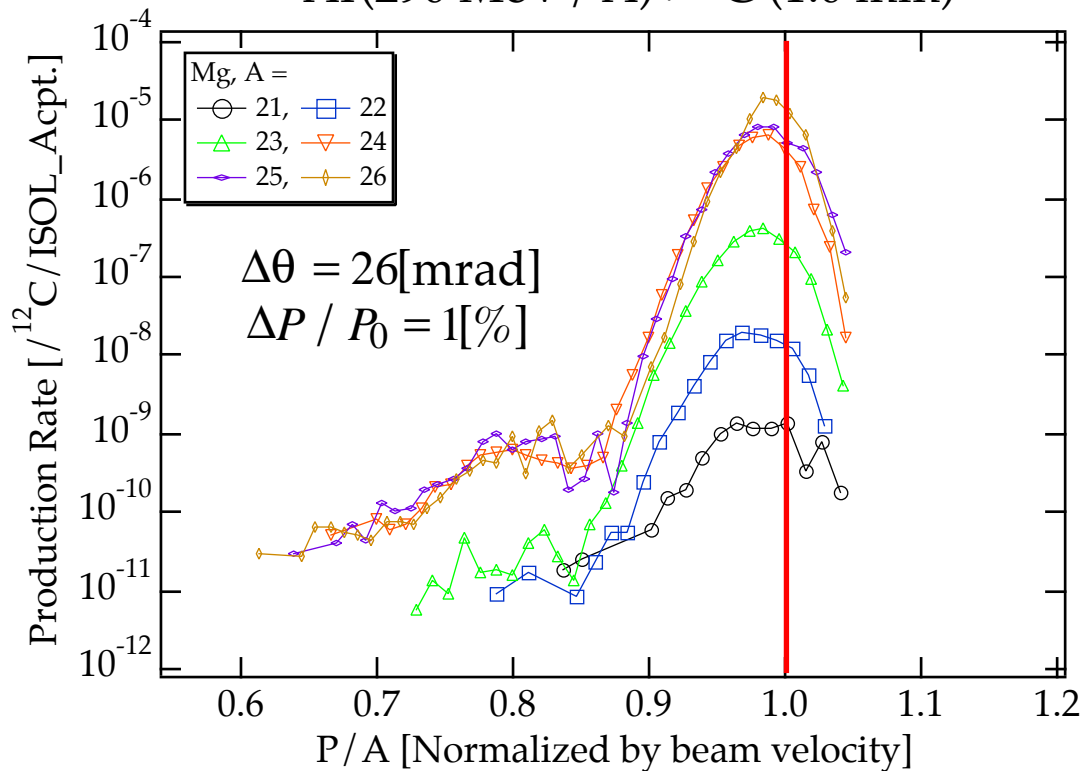
- 1) 反応標的の厚さ
- 2) 二次ビームコースのアクセプタンス  
による規格化

## 4 . 破碎片の同定と運動量分布

$^{40}\text{Ar}(290 \text{ MeV} / A) + ^{197}\text{Au}(0.333 \text{ mm})$



$^{40}\text{Ar}(290 \text{ MeV} / A) + ^{12}\text{C}(1.0 \text{ mm})$



## 5 . 破碎片の生成断面積

1 ) 今までに行った測定

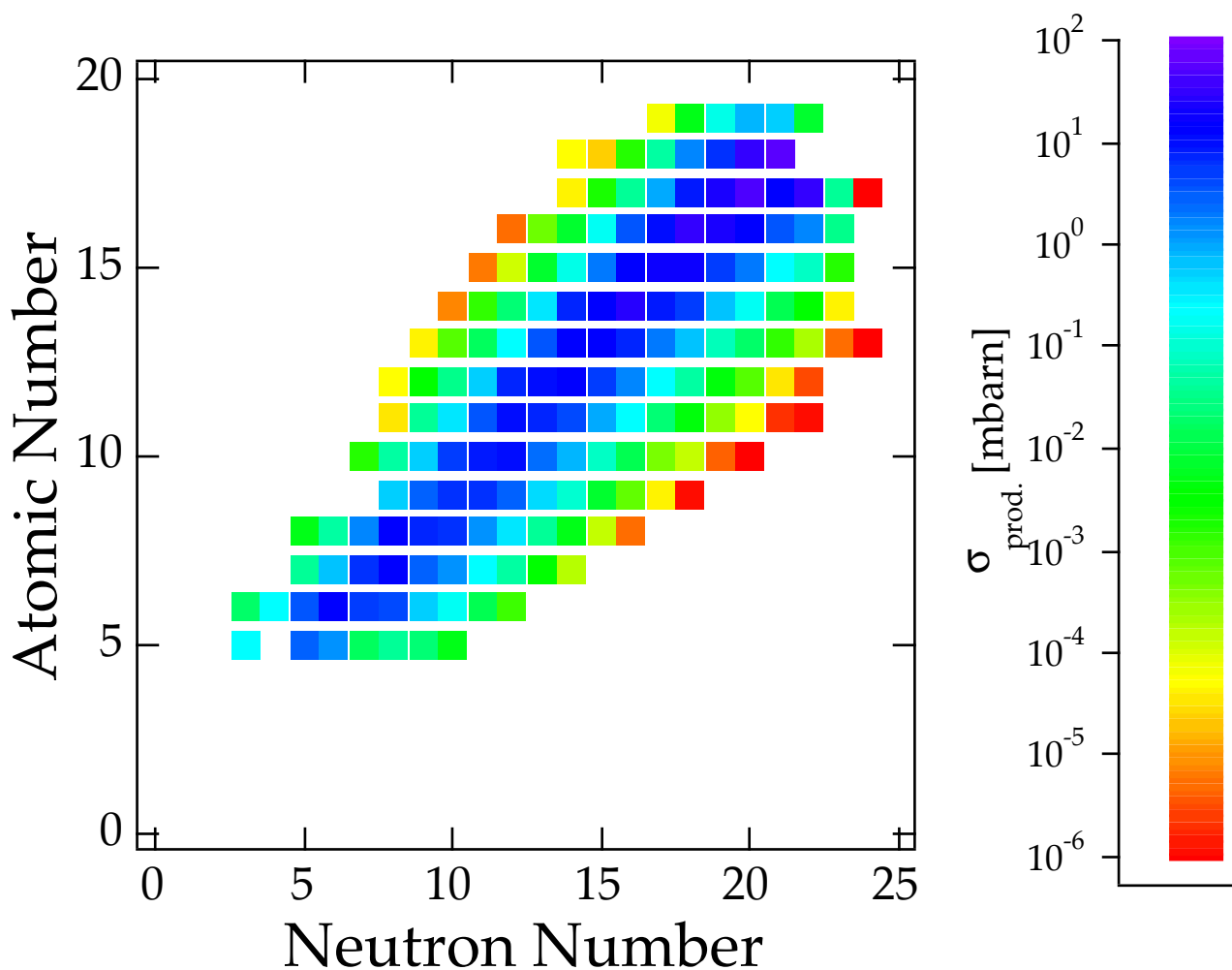
Primary beam :  $^{12}\text{C}$ ,  $^{14}\text{N}$ ,  $^{16}\text{O}$ ,  $^{40}\text{Ar}$

Target :  $^{12}\text{C}$ ,  $^{27}\text{Al}$ ,  $^{197}\text{Au}$

Energy : 290, 420 MeV / A

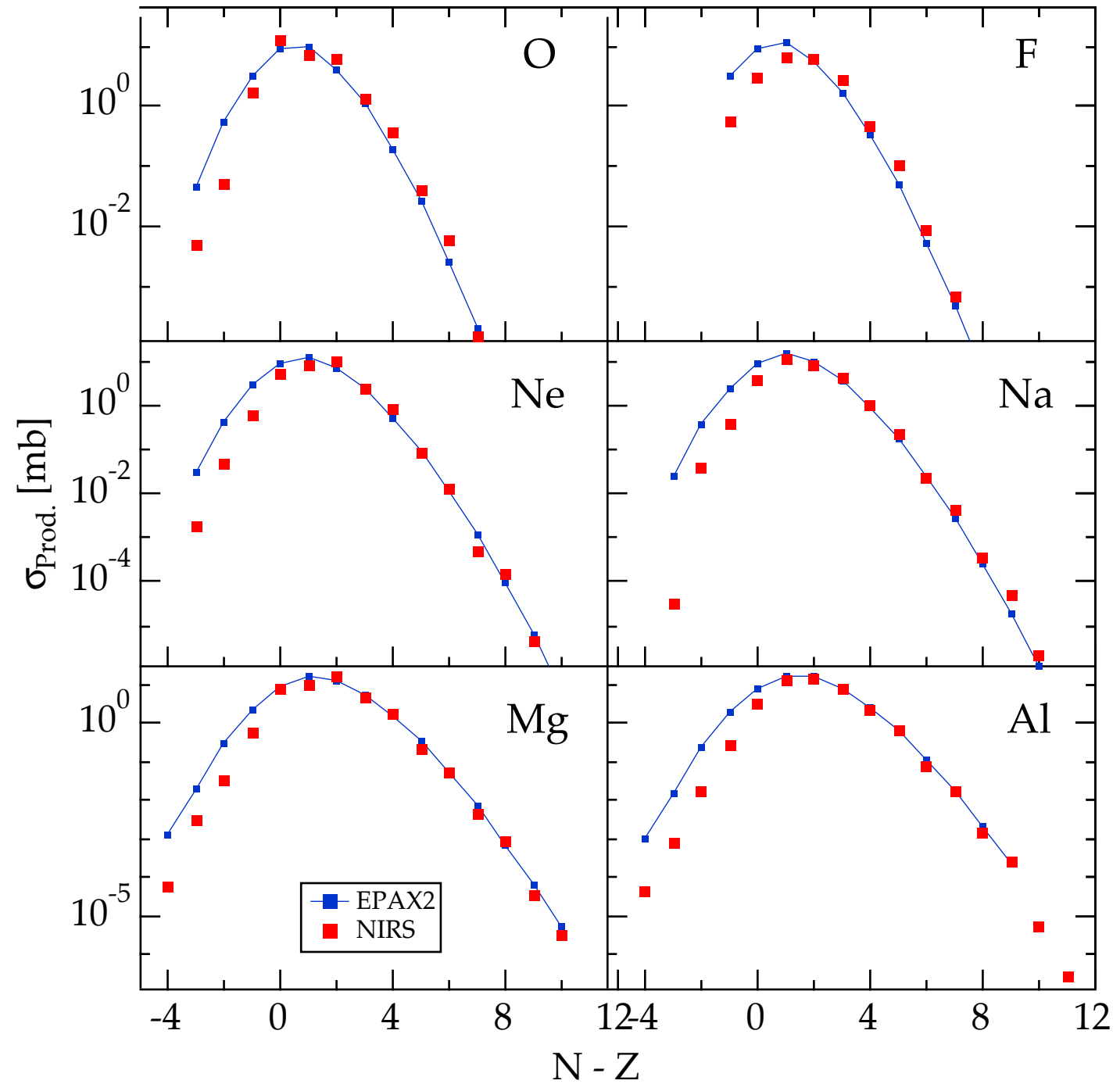
2 ) 測定された破碎片の生成断面積

反応 :  $^{40}\text{Ar}(290 \text{ MeV / A}) + ^{12}\text{C} (1.0 \text{ mm})$



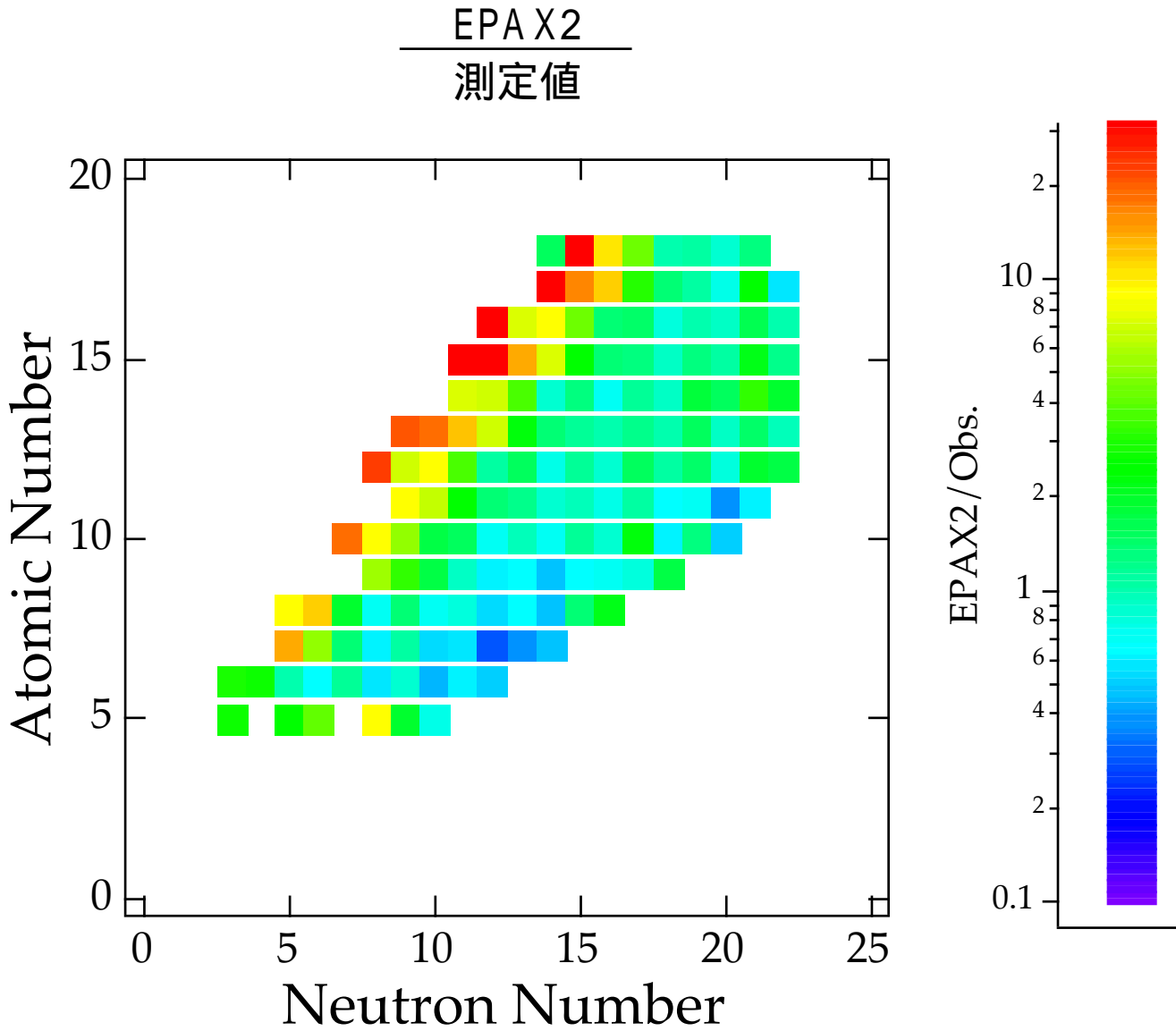
## 6 . EPA X2 との比較 I

反応： $^{40}\text{Ar}(290\text{ MeV}/A)+^{12}\text{C}(1.0\text{ mm})$





## 7 . EPA X2 との比較 II



EPA X2 は

安定核と中性子過剰核      Good

陽子過剰核      Over-estimation

$^{12}\text{C}$ ,  $^{16}\text{O}$  の場合は ?

## 8 . 生成断面積のエネルギー依存性 I

今回の結果 **290 MeV/A** :  $^{40}\text{Ar} + ^{12}\text{C}$  (NIRS-HIMAC)

1) **90 MeV/A** :  $^{40}\text{Ar} + ^9\text{Be}$  (RIKEN-RIPS)

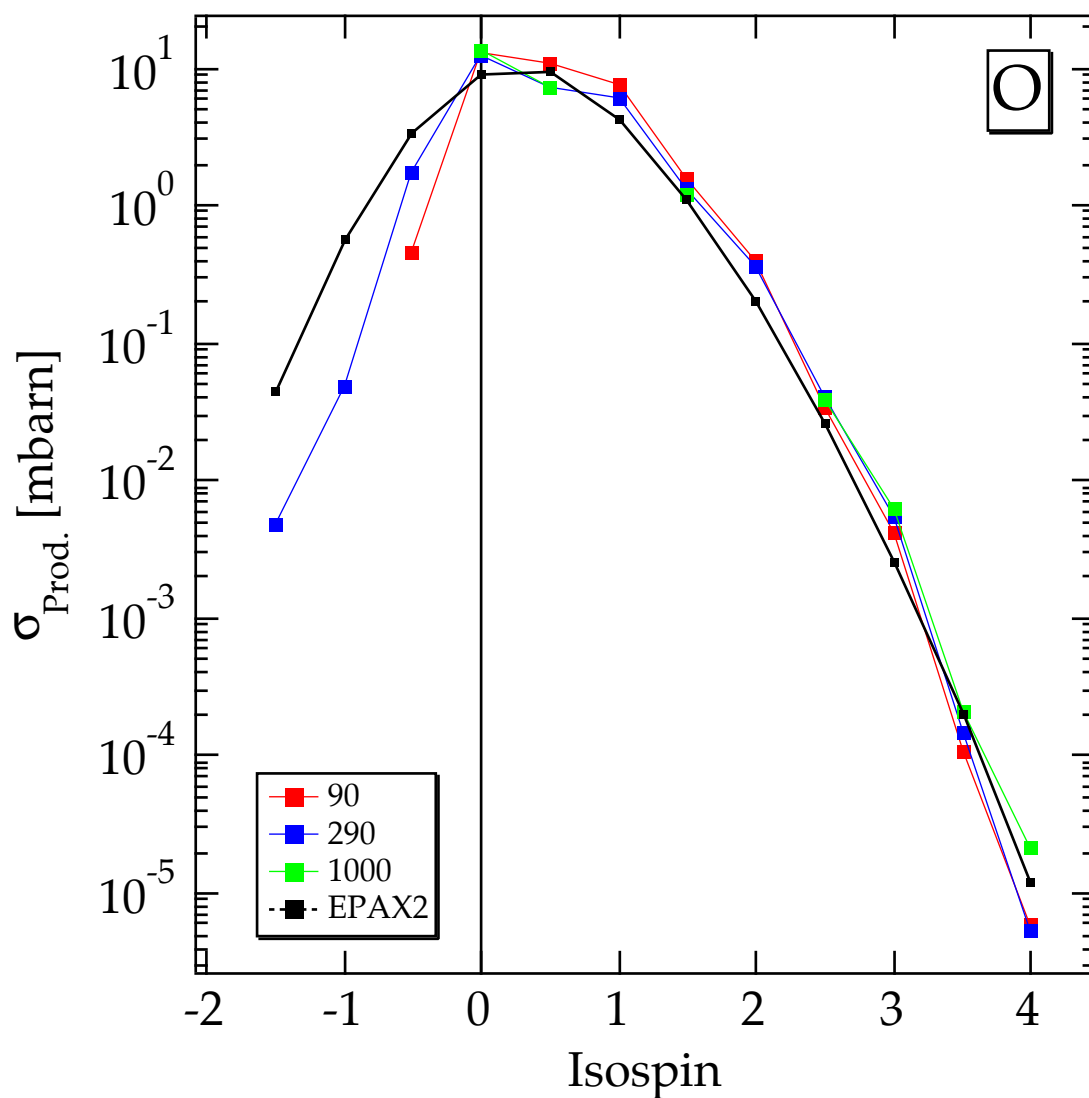
S. Momota et al., to be published in Nucl. Phys. A

2) **1000 MeV/A** :  $^{40}\text{Ar} + ^9\text{Be}$  (GSI-FRS)

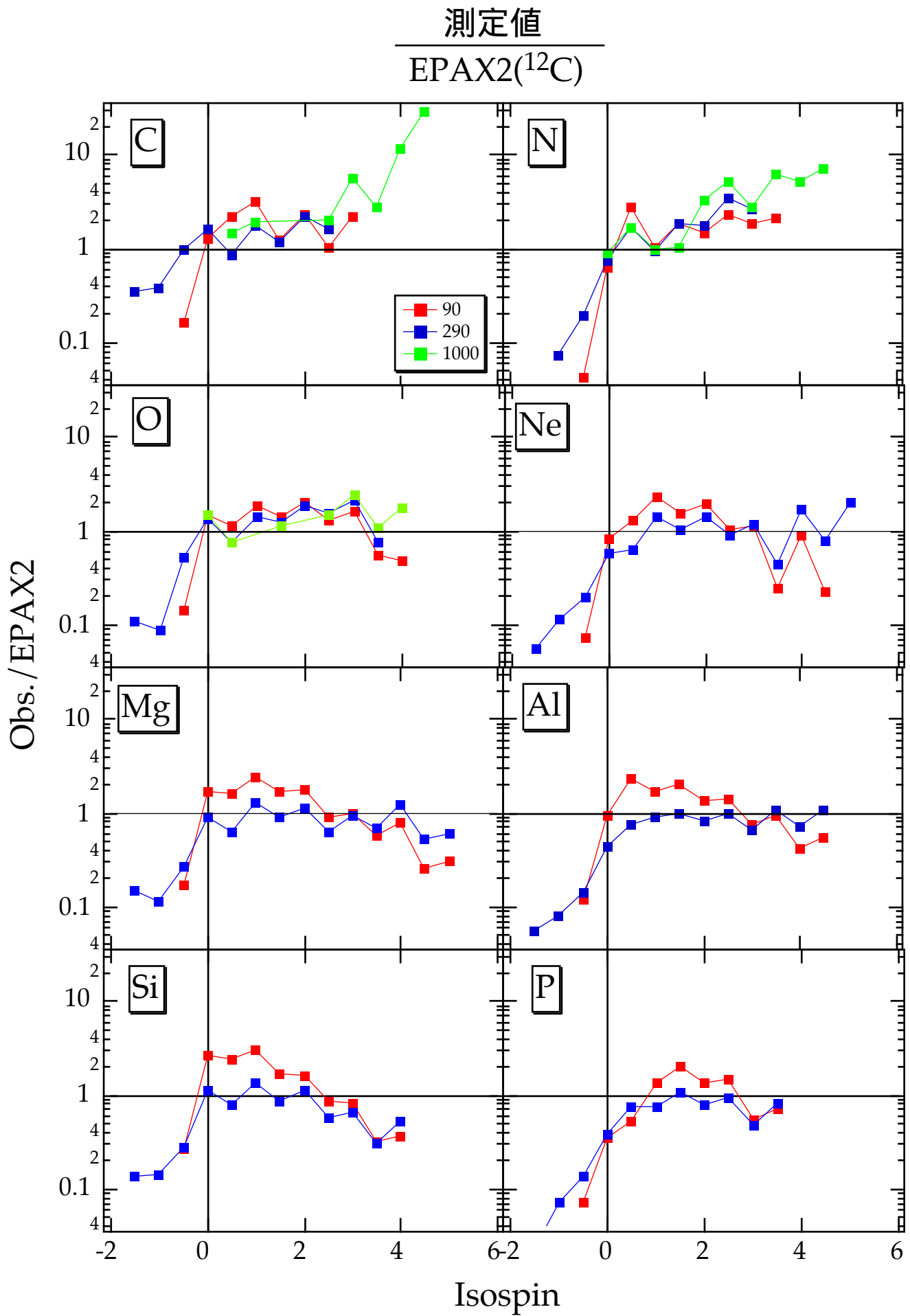
A. Ozawa et al., Nucl. Phys. **A672** (2000) 411

$$A(^{40}\text{Ar})^{1/3} + A(^9\text{Be})^{1/3} = 5.50$$

$$A(^{40}\text{Ar})^{1/3} + A(^{12}\text{C})^{1/3} = 5.71$$

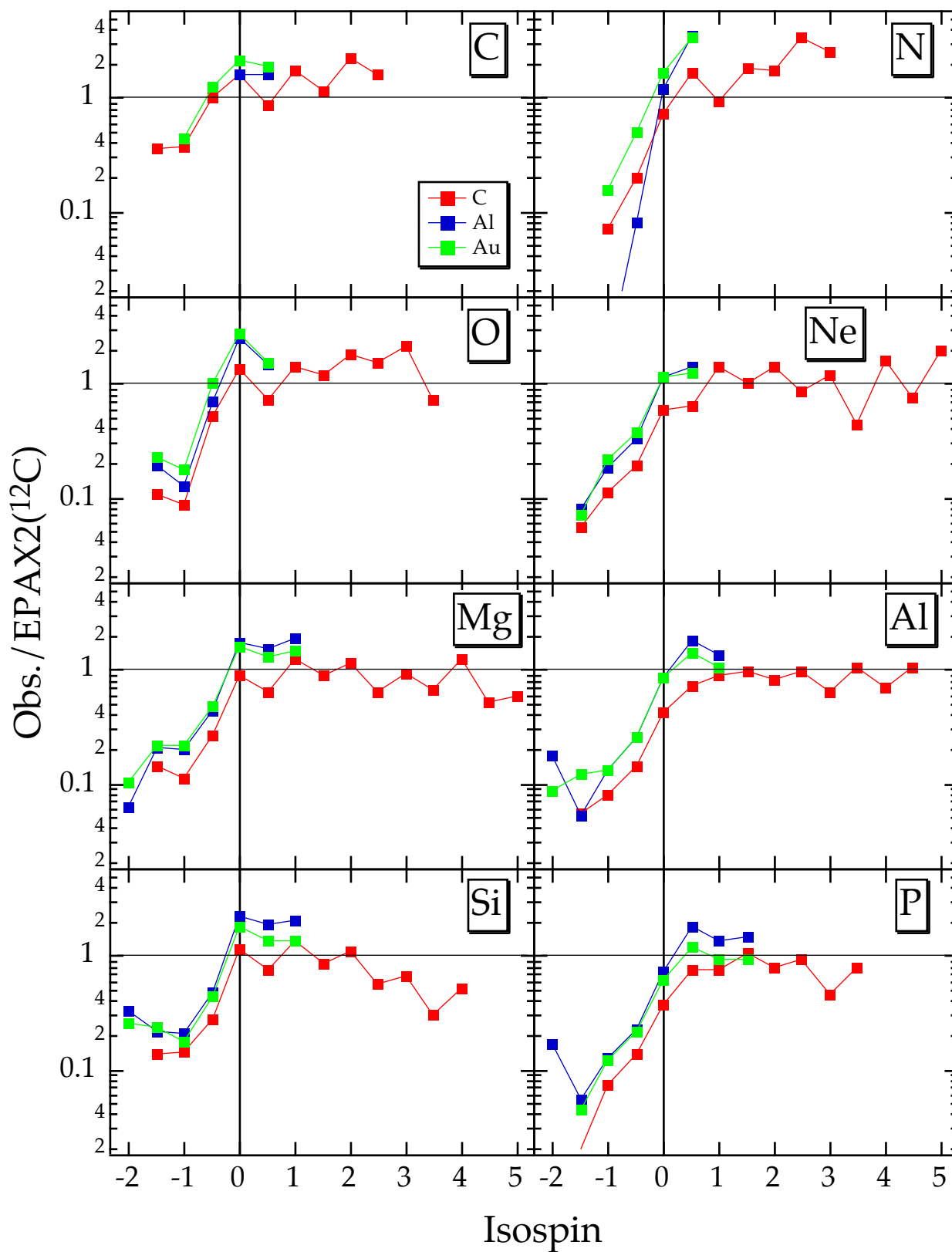


# 9 . 生成断面積のエネルギー依存性 II



# 10 . 生成断面積の標的核依存性

- 1)  $^{40}\text{Ar} + ^{12}\text{C}$  , 290 MeV/A, 1
- 2)  $^{40}\text{Ar} + ^{27}\text{Al}$  , 290 MeV/A, 1.2
- 3)  $^{40}\text{Ar} + ^{197}\text{Au}$  , 290 MeV/A, 2.1



## 1 1 . まとめ

- 1) 放射線医学総合研究所HIMAC加速器と二次ビームコースを利用して破碎片の運動量分布を測定し、生成断面積を導出した。
- 2) 入射ビームが $^{40}\text{Ar}$ のとき、EPAX2は安定核や中性子過剰核は実測値とよく一致するが、陽子過剰核で実測値より大きい値を与える。
- 3) 生成断面積の系統性の導出
  - A. 入射エネルギー依存性
  - B. 標的依存性

運動量分布の解析や角度分布の測定



破碎片生成メカニズムの解明

重イオンビームが関与する現象の予言とコントロール

# 生成断面積のエネルギー依存性

