

Development of Impact Ionization Dust Detector for in-situ Measurement of Cosmic Dust

宇宙機搭載用衝突電離型ダスト計測器の基礎開発実験

平井隆之(東京海洋大学)、大橋英雄(東京海洋大学)、小林正規(千葉工業大学)
佐々木晶(国立天文台)、柴田裕実(京都大学)、野上謙一(獨協医科大学)、
岩井岳夫(東京大学)、藤井雅之(FAMサイエンス、JAXA、早稲田大)

2009年10月8日～10日 第27回 Grain Formation Workshop/
平成21年度 銀河のダスト研究会@大阪産業大学梅田サテライト教室

Contents

1. 現在の太陽系内のダスト
2. その場計測
3. その場計測器の開発実験
4. まとめ、方針

現在の太陽系内ダスト

黄道光として観測されたり、成層圏・深海底で採集される。

太陽系内のダストは太陽放射圧の制動効果(ポインティング・ロバートソン効果)により、螺旋軌道を描きながら太陽へ落ち込む。

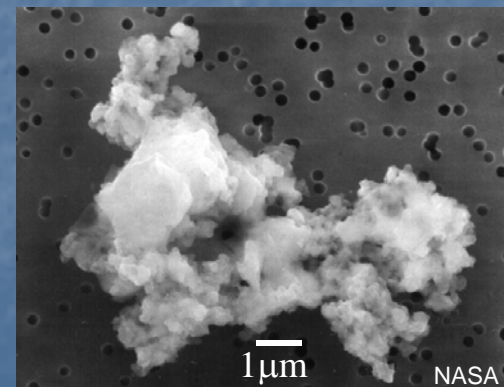
太陽系形成時、星間雲に含まれていたダストで、原始惑星や微惑星に取り込まれずに惑星間空間に残ったものがあったとしても、太陽系が生まれた45億年前から現在まで生き残ることはできない。

黄道光として観測されるダスト雲や、その場計測器により宇宙で検出されるダストは、**太陽系内外から供給されている。**

彗星、小惑星が主な供給源。
その他に星間空間、太陽系外縁天体など。



黄道光



成層圏で採集されたダスト

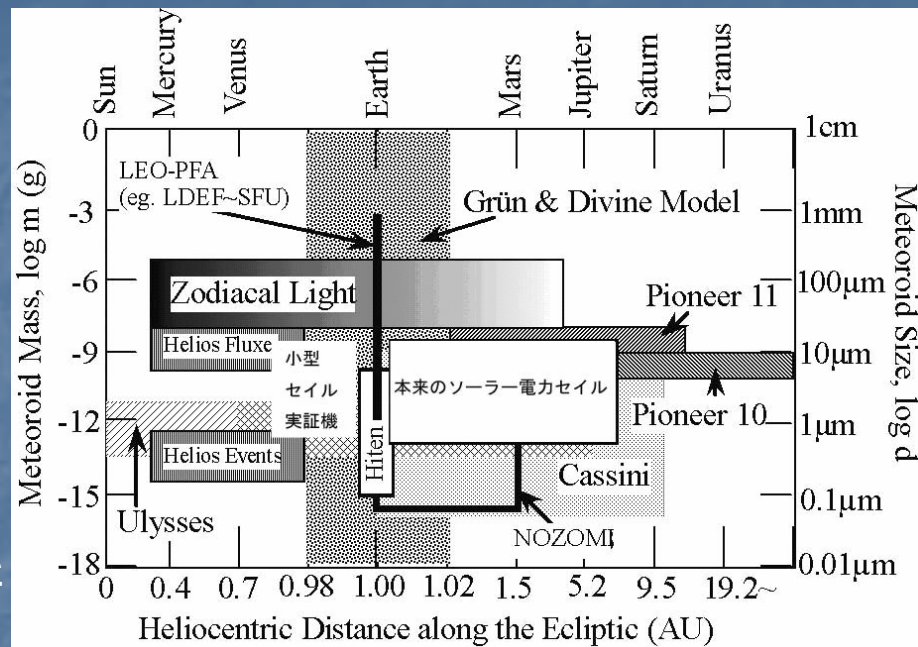
ダストのその場計測

その場計測の重要性

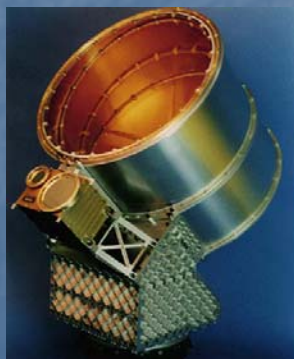
ダストの空間分布、質量(サイズ)分布、
起源、軌道進化過程、物理・化学的特性を推定。

ダストのその場計測器は**衝突電離型**と**圧電検出型**が多くの搭載実績を重ねている。

超低密度(0.001~0.1g/cm³)エアロジェルを用いた**非破壊捕集型**は、宇宙で捕えたダストを地上で分析する。



ダストのその場計測マップ Yano (2008)



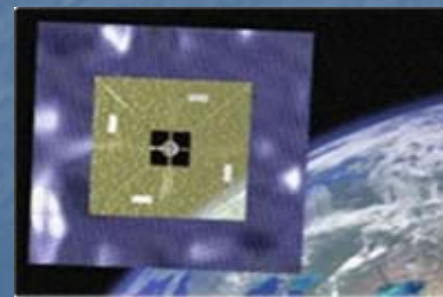
Cassini 搭載「CDA」
1997年打ち上げ
(衝突電離型)



のぞみ搭載「MDC」
1998年打ち上げ
(衝突電離型)

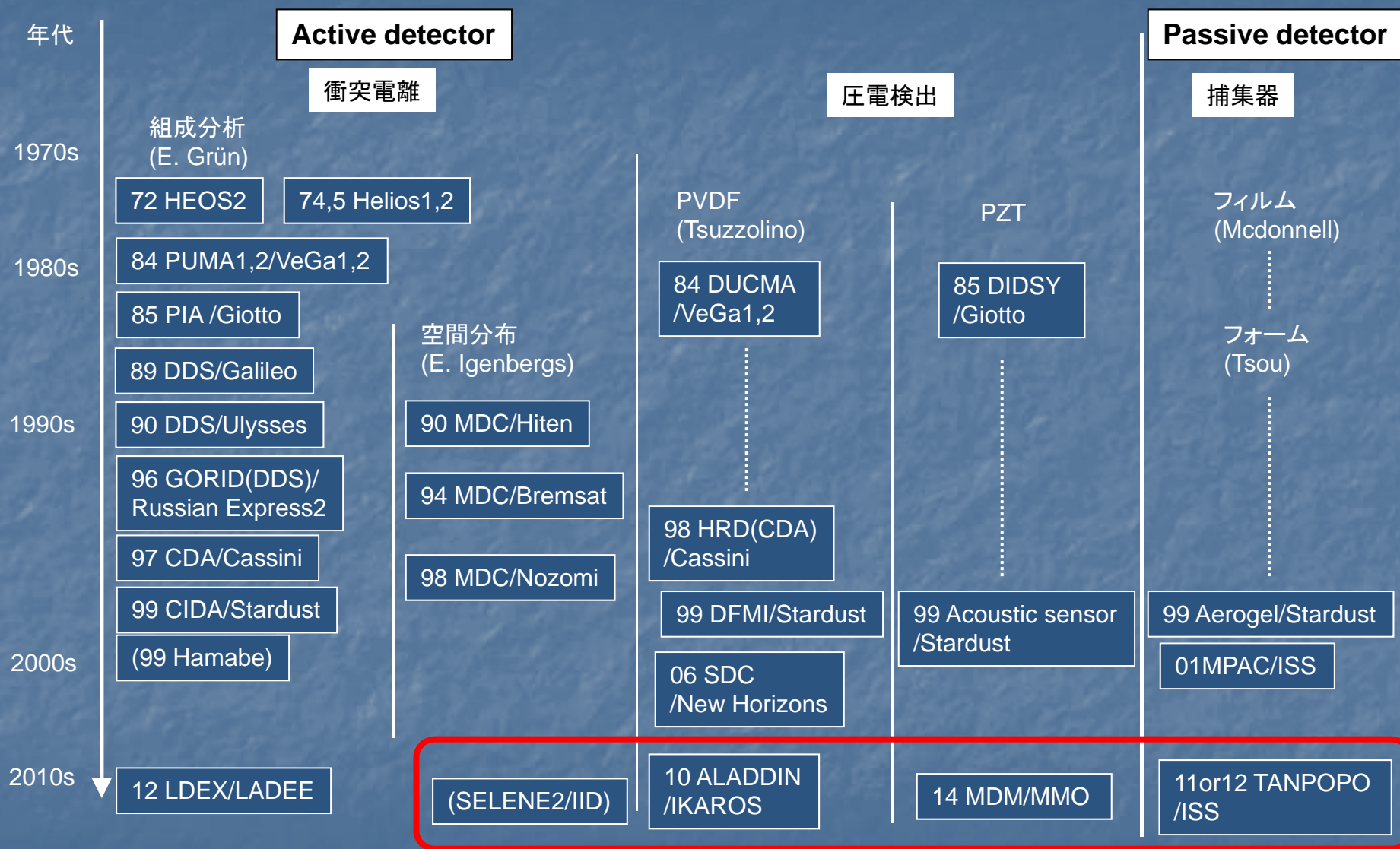


Stardust搭載エアロジェル製捕集器
1999年打ち上げ
(非破壊捕集型)



IKAROS搭載「ALADDIN」
2010年打ち上げ予定
(圧電検出型)

ダストその場計測の歴史



※この他の原理の計測器は省略している。
 ※70s以前はPZTや捕集板が主流であった。

今後10年間で計画されている日本のミッションに搭載予定

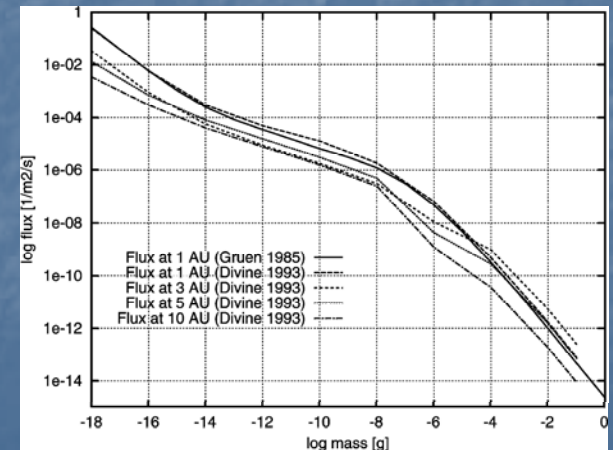
研究の目的

ダストその場計測器が計測対象とするダストは、そのフラックスが小さいため、一度の観測では十分な統計量を得ることができない。
観測機会を増やし、十分な統計量を得るためには、**計測器の軽量化と検出面積の拡大**が必須。



計測器の構造を単純化し、**軽量で大面積**の計測器を開発。
計測器の**最適な構造条件の追究**。

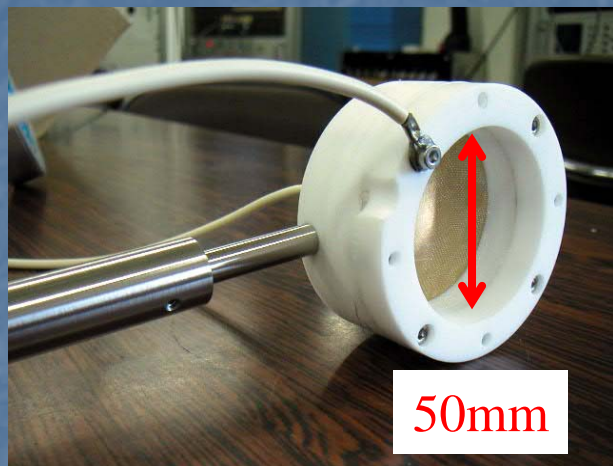
ダスト計測器	センサー面積 (m ²)	総重量 (kg)	Reference
HITEN-MDC	0.010	0.60	Münzenmayer et al., 1997
NOZOMI-MDC	0.014	0.73	Igenbergs et al., 1998
CASSINI-CDA	0.10	17	Srama et al., 2004
?-IID4th	0.040	3.8	this work



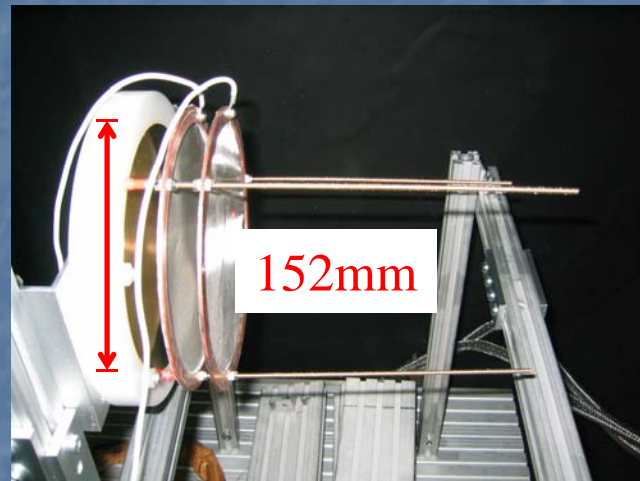
ダストフラックス Grun et al. (1985) and Divine (1993).

IID (Impact Ionization dust Detector)

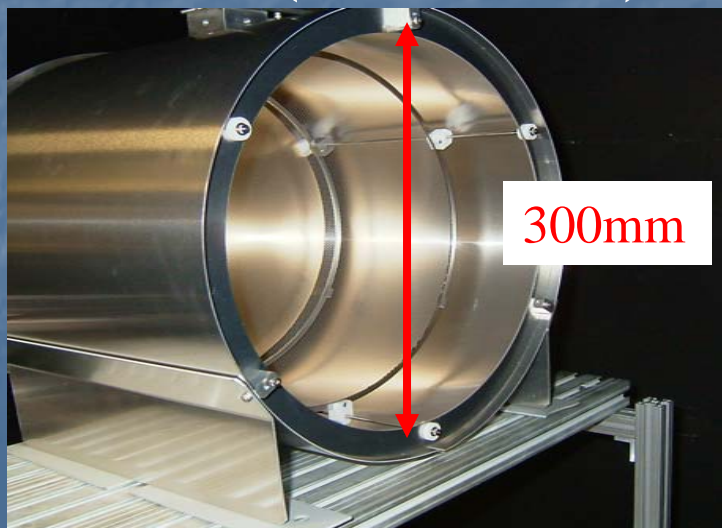
1号機 (2002-2003)



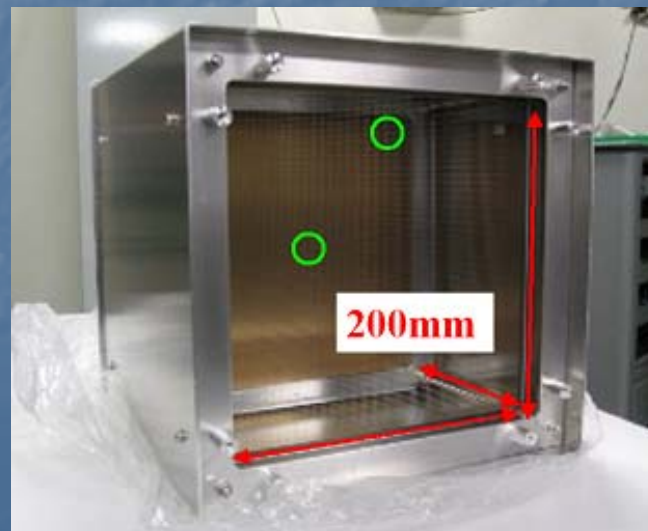
2号機 (2003-2006)



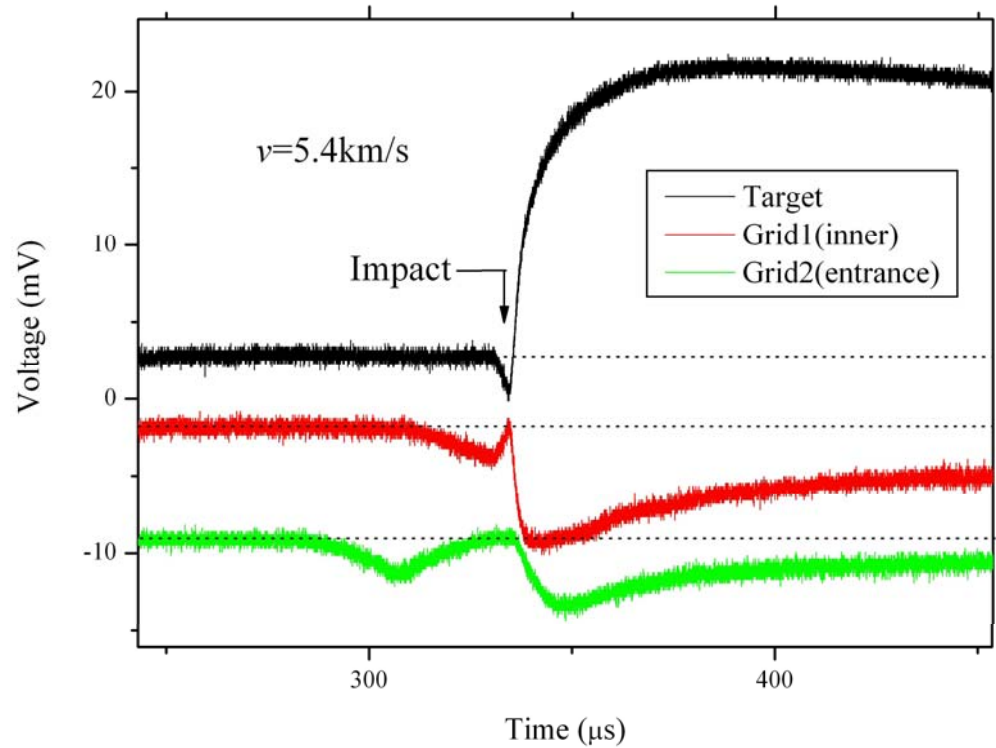
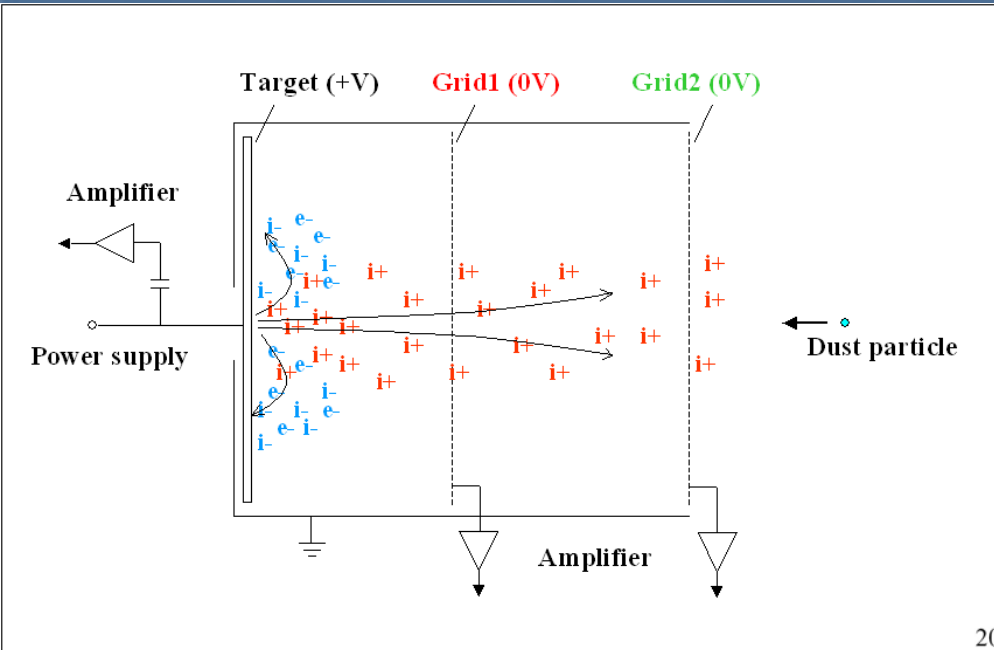
3号機 (2006-2007)



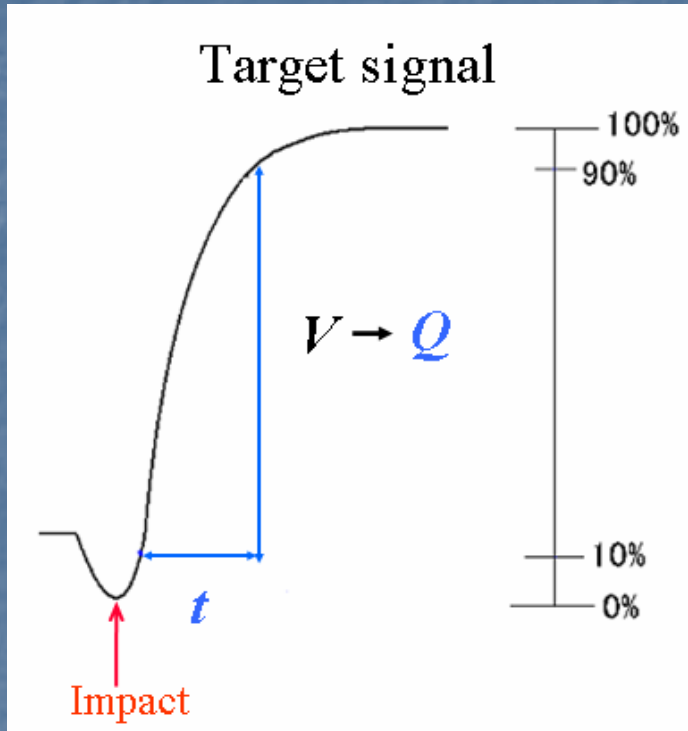
4号機 (2007-)



IIDの計測原理



衝突シグナルの解析



$$t = c_g v^\alpha$$

$$\pm Q / m = c_r v^\beta$$

t : 立ち上がり時間 v : 速度

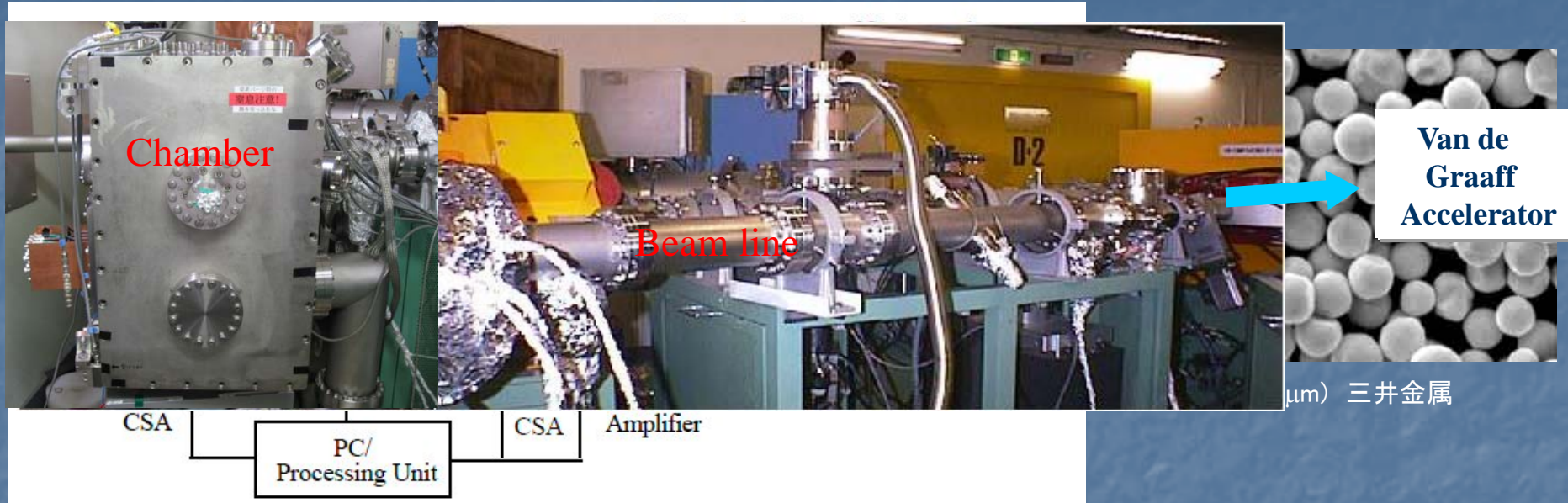
Q : 電荷 m : 質量

c_g, c_r, α, β : 定数

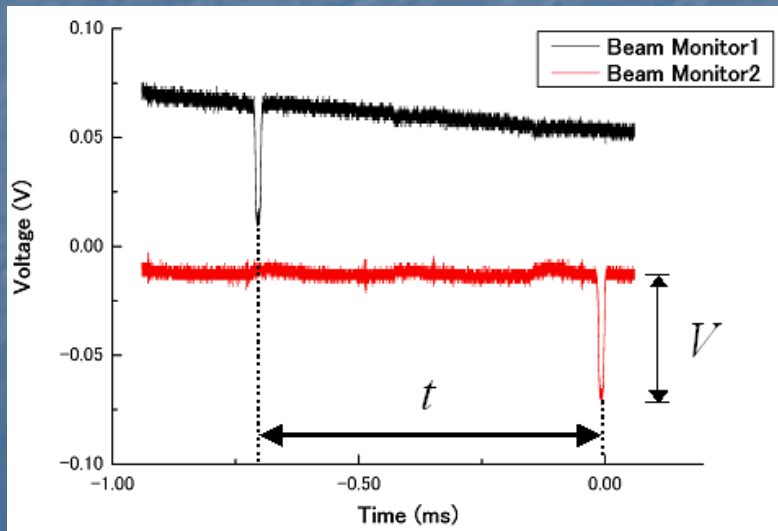
[Friichtenicht, 1964, Auer and Sitte, 1968]

較正実験によりこれらの係数を求めておくと、衝突で発生したプラズマのシグナル解析から、ダストの速度と質量が求められる。

微粒子加速器を用いた衝突実験



ヴァンデグラフ型ダスト静電加速器 Hasegawa (2001)



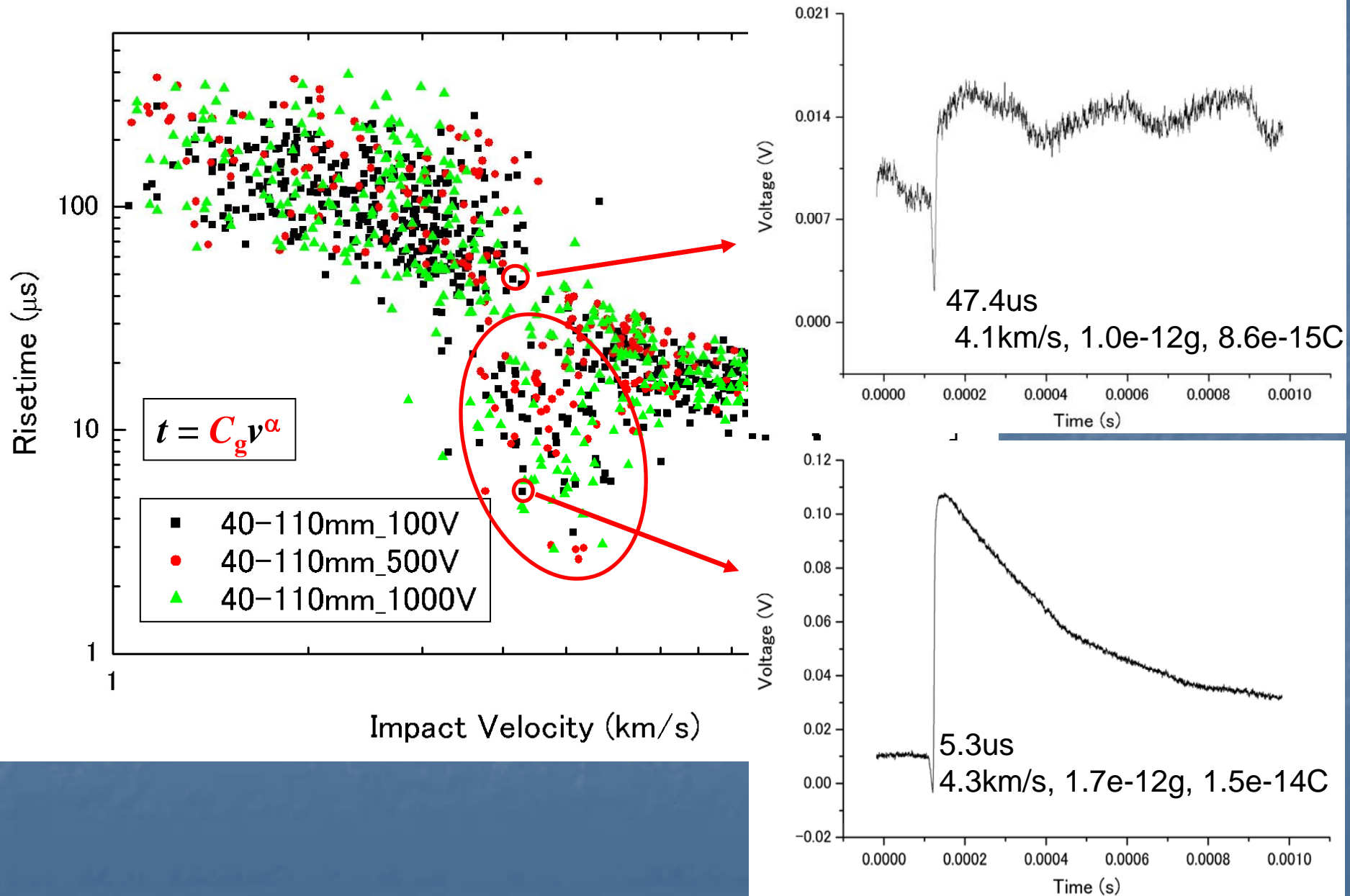
ビームモニタシグナル

$$v = \frac{L}{t} \quad \frac{mv^2}{2} = qU$$

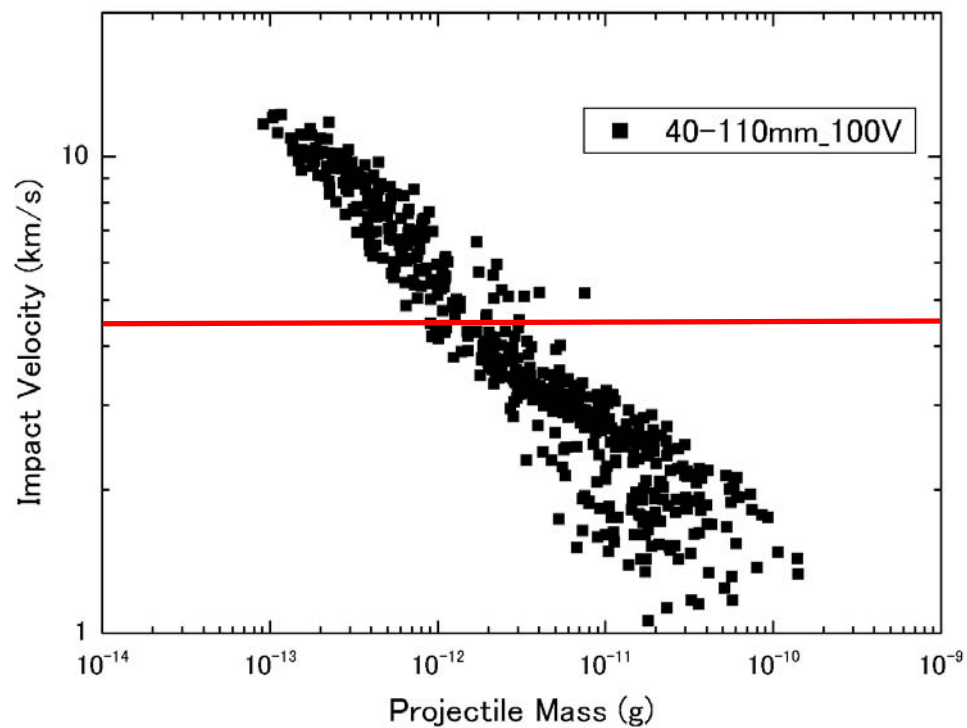
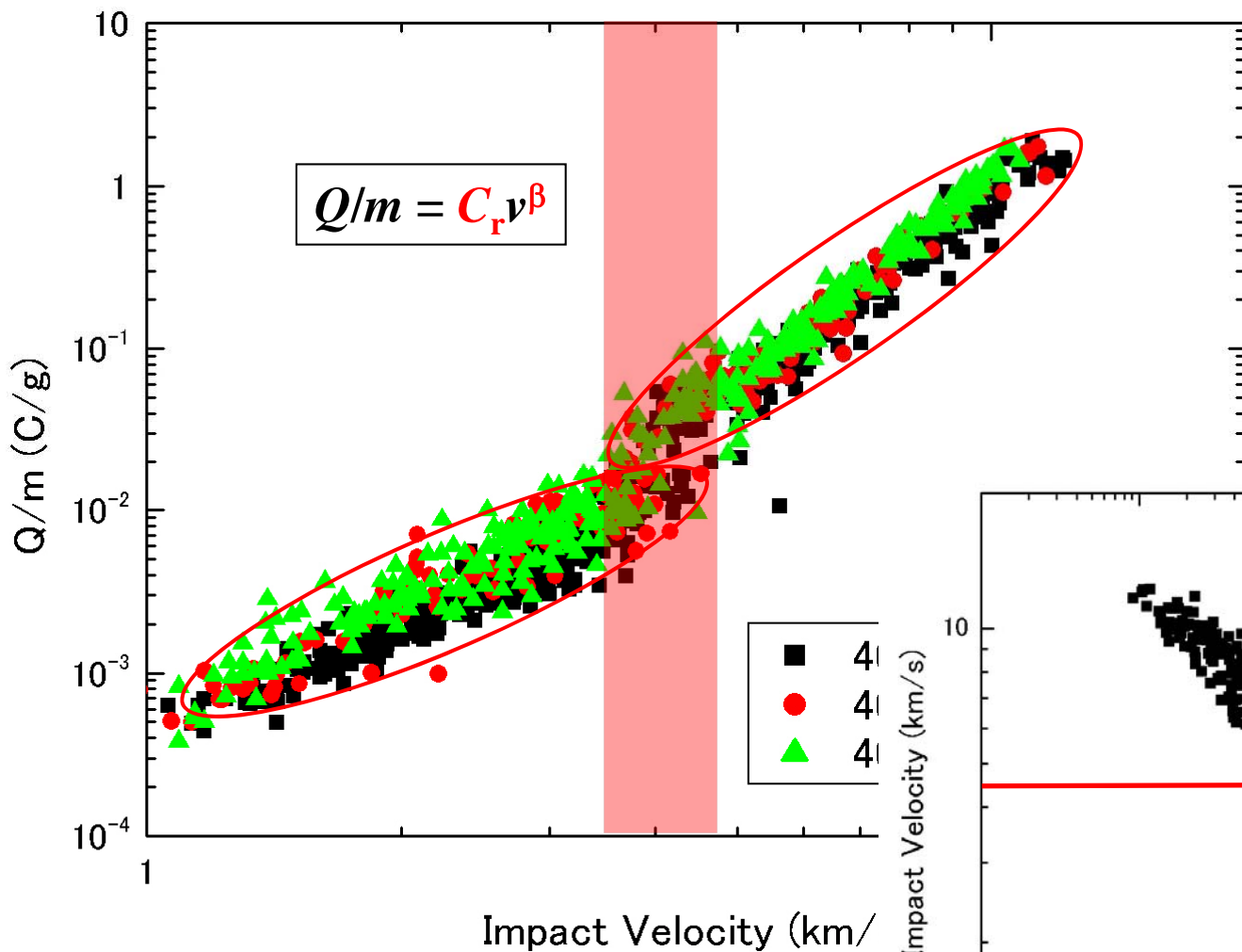
速度: v
電極間距離: L
飛行時間: t

質量: m
誘起電圧: V
帯電電荷: q
加速電圧: U

衝突速度と立ち上がり時間



衝突速度と電荷質量比

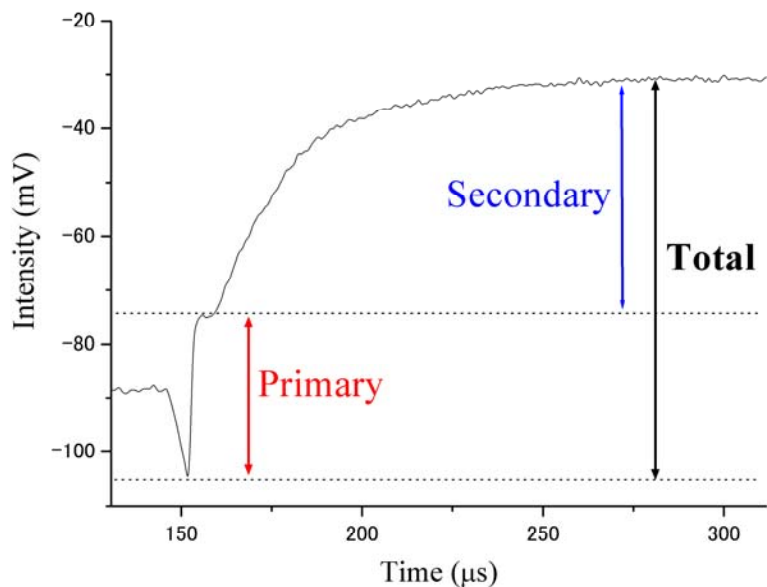


まとめ

- ひとまず速度、質量を推定できる相関は得られた。
- 4km/s付近から傾向の分化(Risetime)、ずれ(Charge/mass)。
- 相関の電場依存性は見られない。

方針

計測器の構造条件



シグナルのシミュレートから
最適な構造条件を決定。

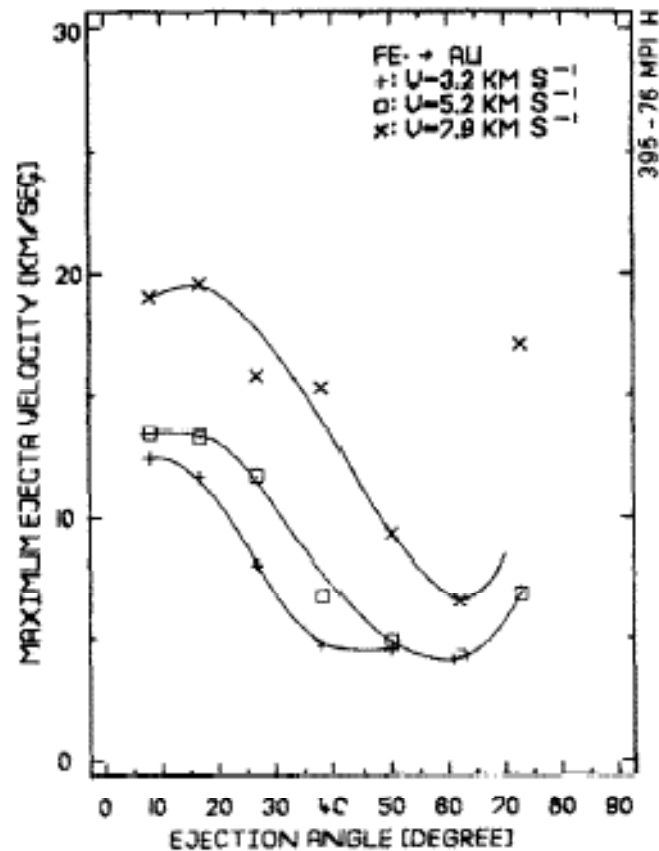


FIG. 3. THE MEAN EJECTA VELOCITY FOR THREE DIFFERENT IMPACT VELOCITIES AS A FUNCTION OF THE EJECTION ANGLE WITH RESPECT TO THE TARGET SURFACE.

Eichhorn (1977)

電荷質量比を求める実験式

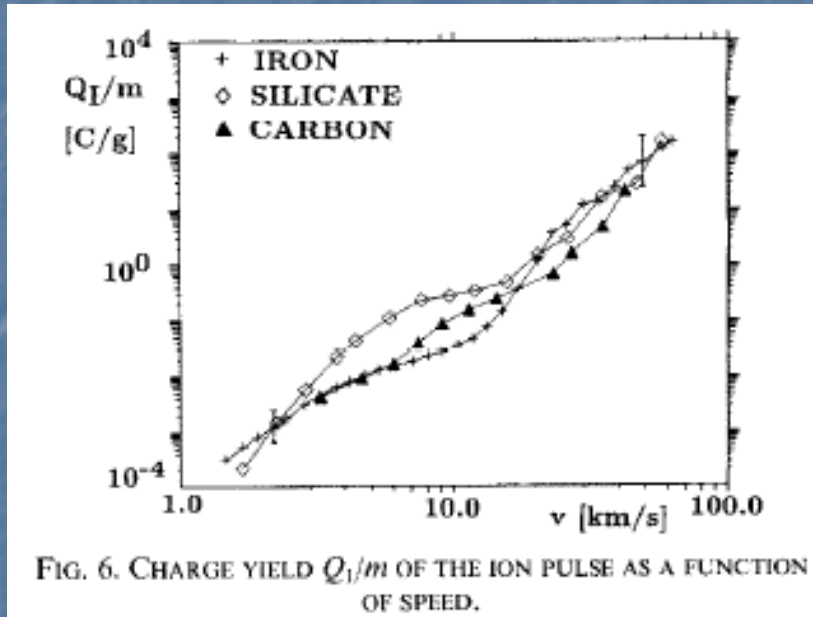
$$Q/m = C_r v^\beta$$



$$Q = C_r m^\alpha v^\beta$$

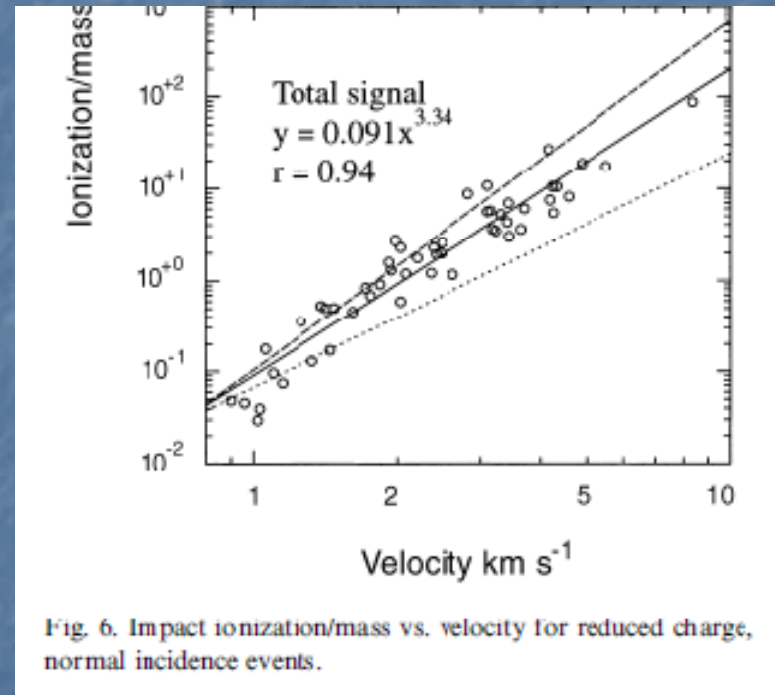
元々は...

組成依存性



Goller and Grun (1998)

粒子帯電量依存性



Burchell et al. (1998)

式の拡張が必要。