「はやぶさ」XRSに係る論文撤回の申し入れに関する記者説明会

平成２６（２０１４）年８月２９日

宇宙航空研究開発機構

目次

１. 説明会の目的　　（研究主幹　藤本正樹）

２. 資料１ 「蛍光X線分光器（XRS）について」
（名誉教授　加藤學）

３. 資料２ 「データ解析方法について」（准教授　岡田達明）

４. 資料３ 「本論文の位置付け及び論文撤回に至る経緯」
（研究主幹　藤本正樹）

５. 質疑応答

「蛍光X線分光器（XRS：X-Ray Spectrometer）について」

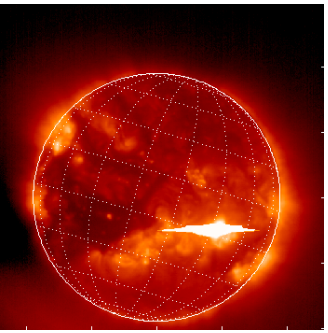
宇宙航空研究開発機構　宇宙科学研究所
名誉教授　加藤學

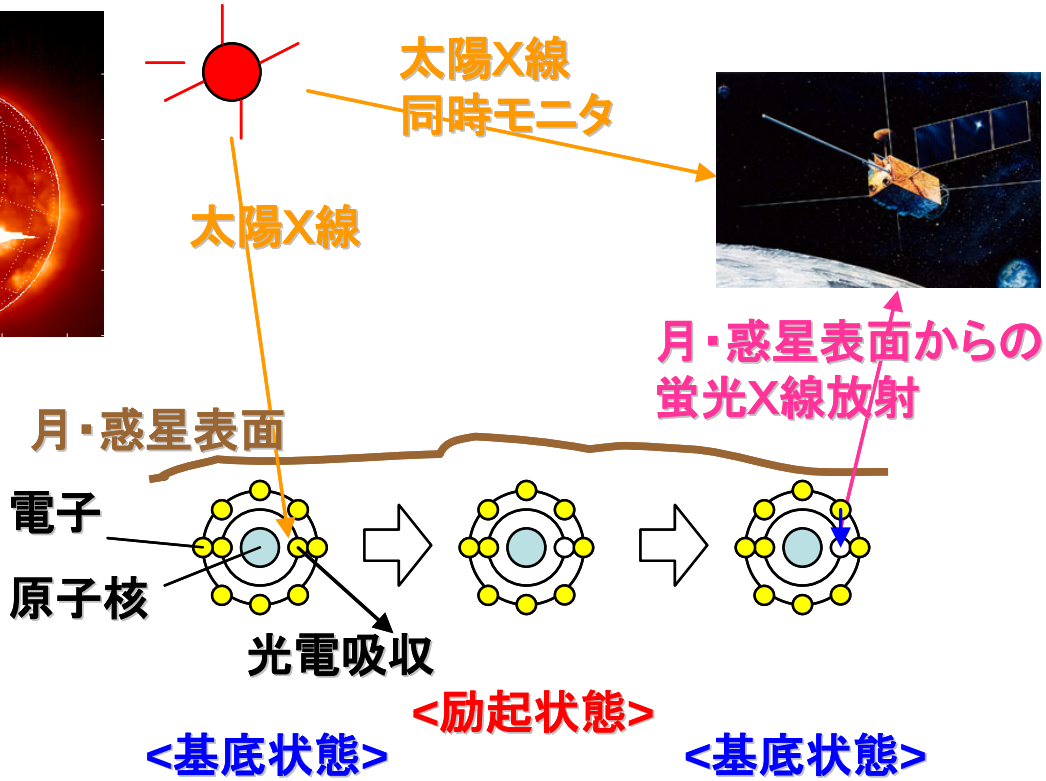
蛍光X線分析器XRSとは

- 観測の目的と原理
- 太陽X線
- X線検出器
- HAYABUSA/XRSの構成

XRSの観測目的と原理

太陽X線を利用したリモート蛍光X線（XRF）分析





元素	K_α(keV)
O	0.53
Fe (L)	0.71
Na	1.04
Mg	1.25
Al	1.49
Si	1.74
S	2.31
K	3.31
Ca	3.69
Fe	6.40

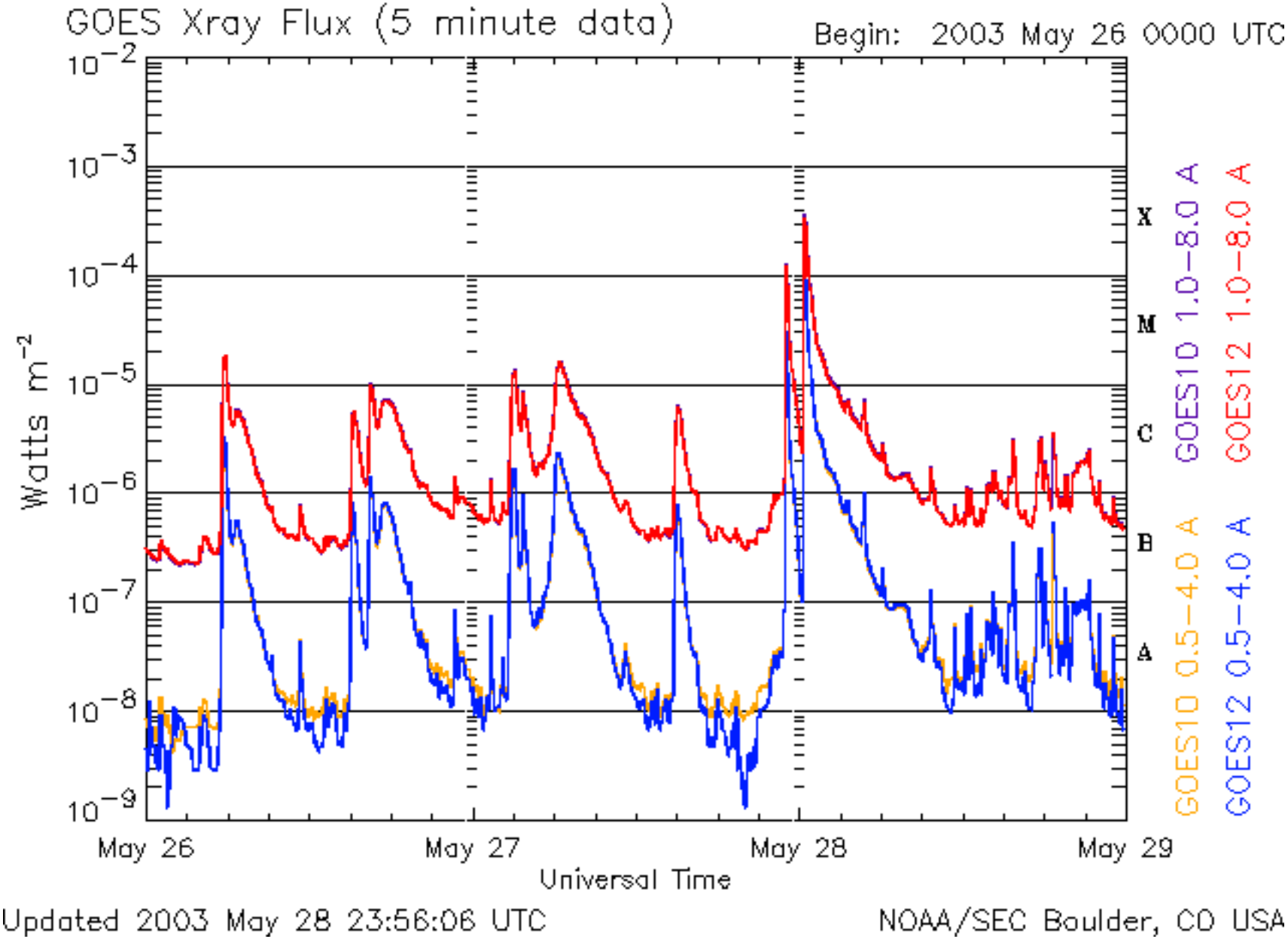
主な元素

太陽活動静穏時：
Mg, Al, Si, (Fe)
フレア発生時:
Mg, Al, Si, Ca, Fe

- 太陽X線が月惑星表面に照射することによって、月惑星の昼側表面からは構成元素に固有なエネルギーをもつX線（蛍光X線）が励起される。上空へ向けて放射されている。
- 蛍光X線を周回衛星から観測することで、表面の構成元素を特定する。
- 時間変動する太陽X線の同時モニタ観測は必須で、それによって定量分析を実現する。

（注：図は著者ら作成）

太陽X線の変動

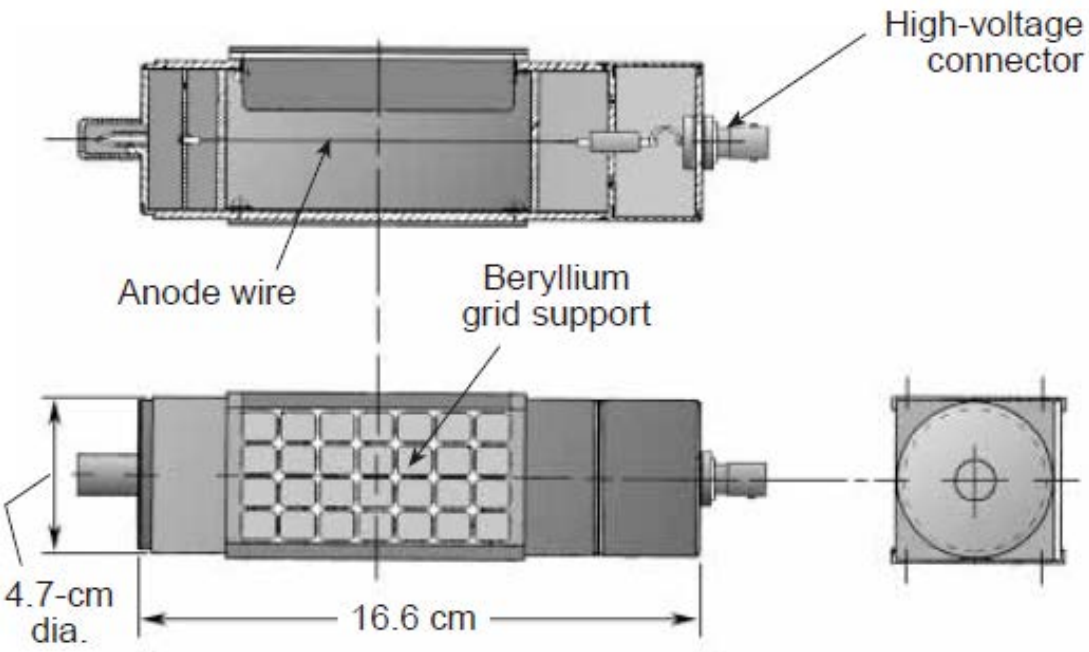


（注：図はアメリカ海洋大気庁（NOAA）より引用）

X線検出器

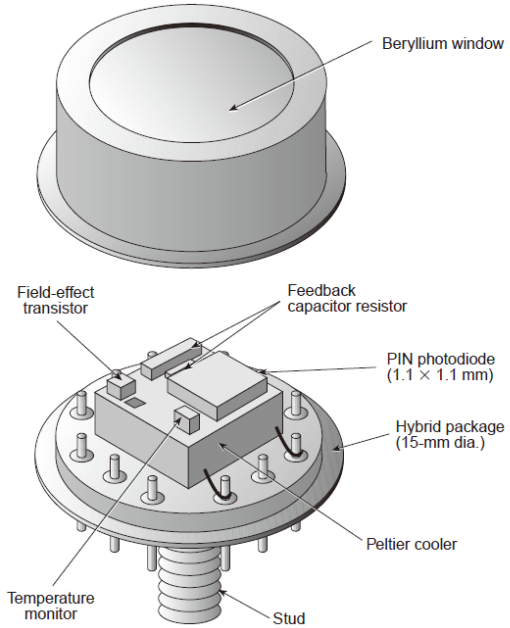
資料1

高圧ガスチューブ



比例計数管
Proportional Counter PC

固体素子SD

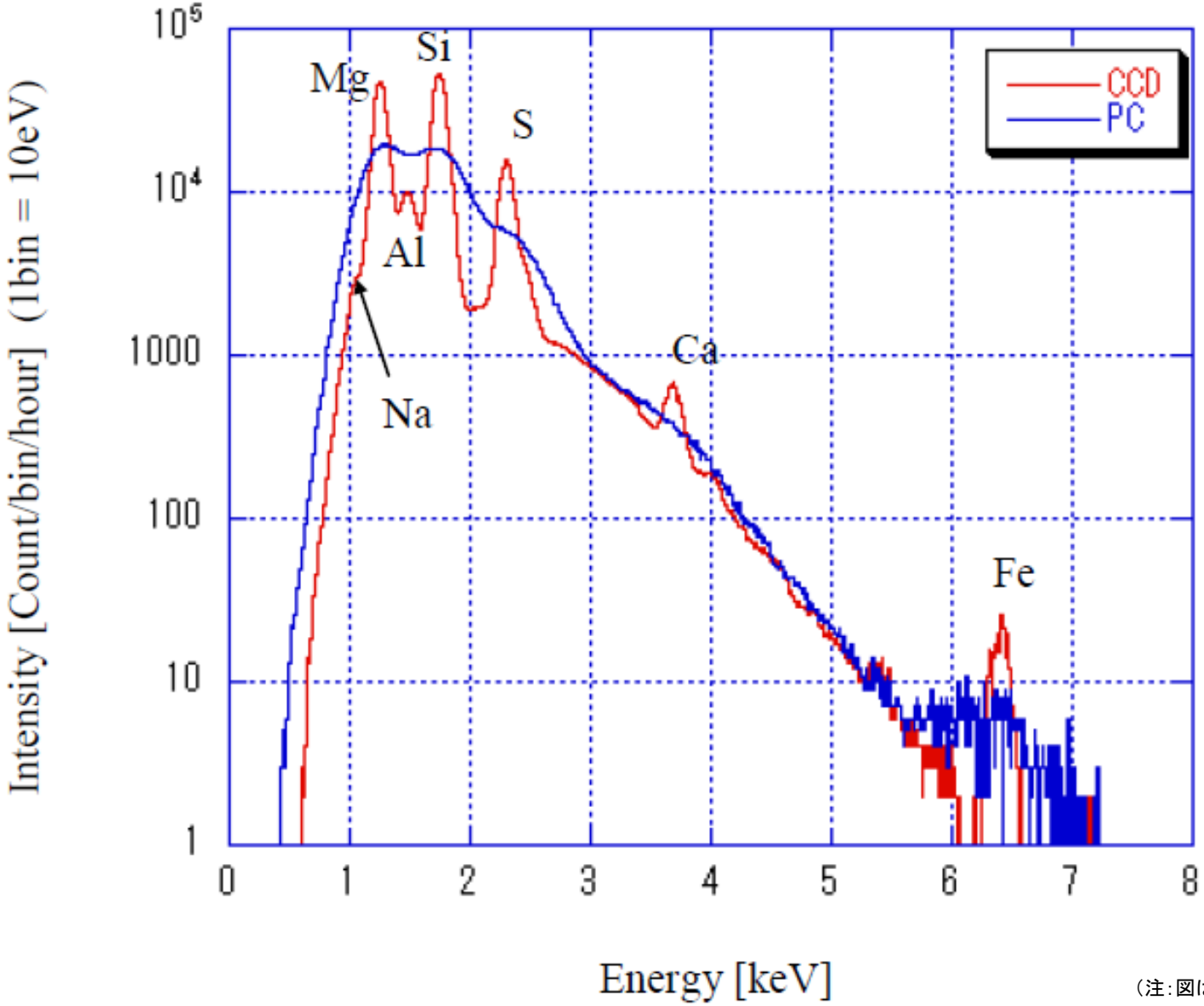


PIN-フォトダイオード

CCD

（注：図は著者ら作成）

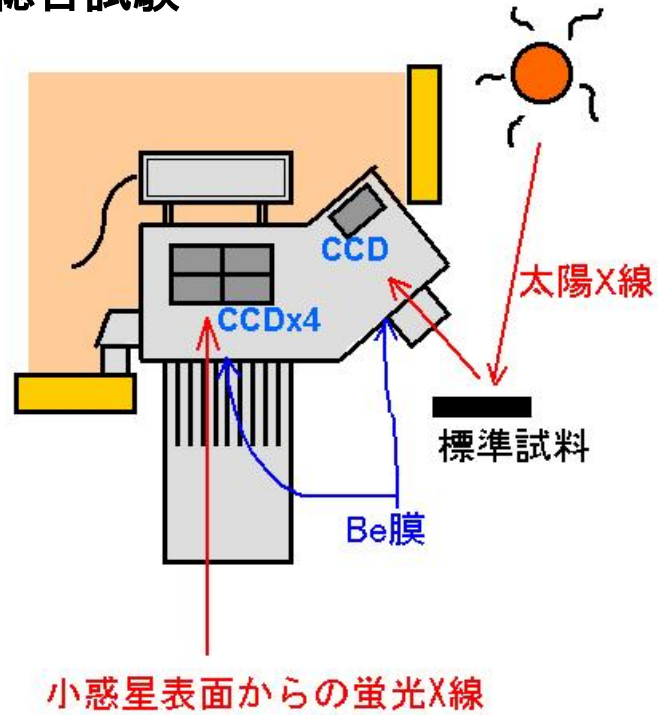
X線検出器のエネルギー分解能



（注：図は著者ら作成）

MUSES-C(HAYABUSA)／XRS

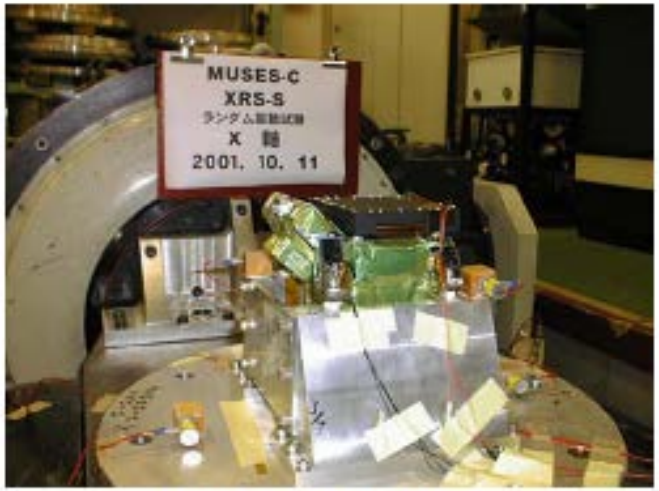
- スペックの決定、搭載機器設計
- CCD駆動、読出し回路の開発
- 搭載機器製作
- 環境試験の実施
- 打上前総合試験



標準試料：コンドライト隕石に近い組成のガラスからなり、ここからの蛍光X線と小惑星表面からのものとを比較することにより小惑星表面組成の定量化を測る。

（注：図は著者ら作成）

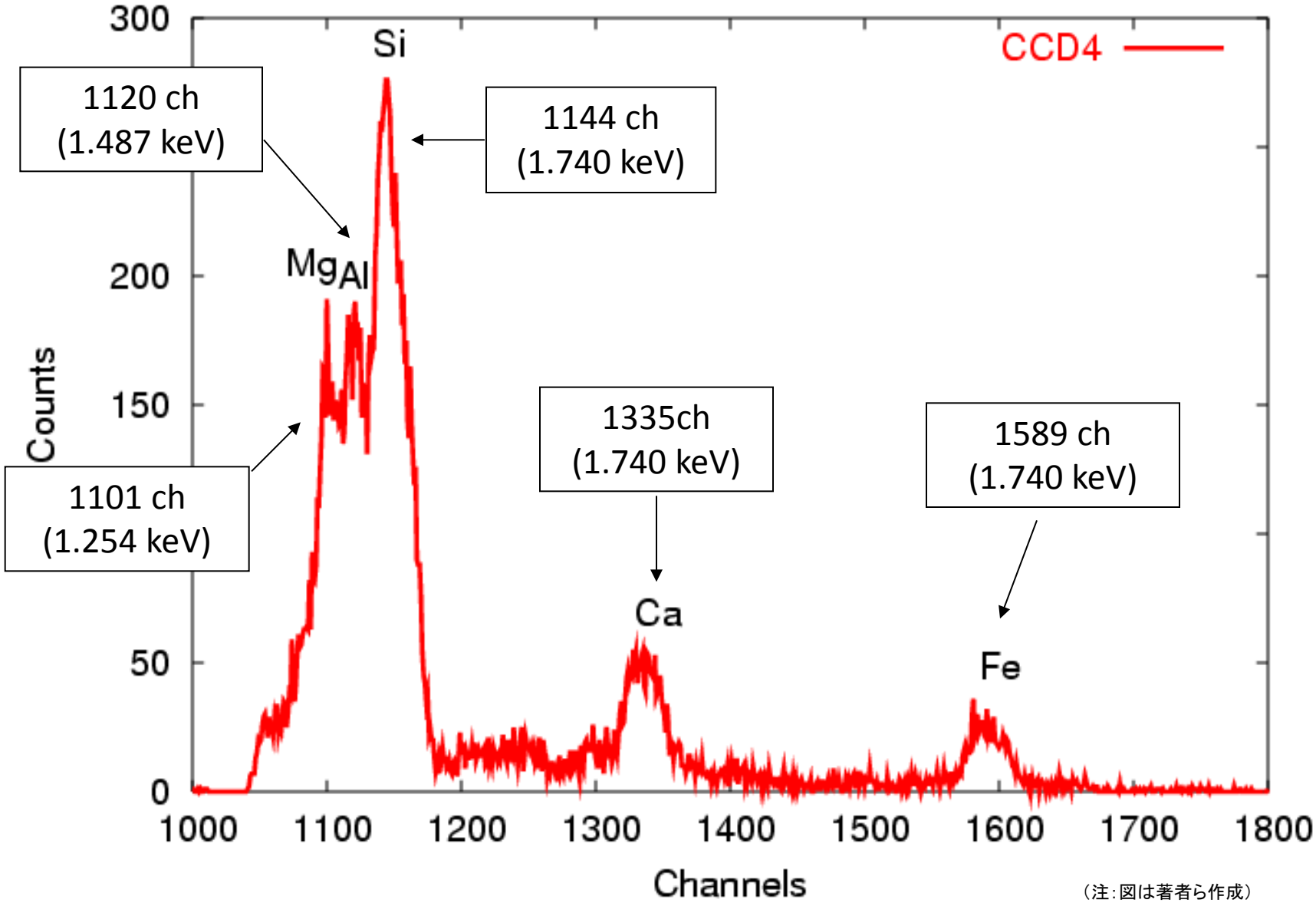
音響試験@NASDA/SITE



振動試験@MEC

資料1

打上２週間後の太陽X−フレア発生時に標準試料からの蛍光X線をCCDで観測



（注：図は著者ら作成）

「データ解析方法について」

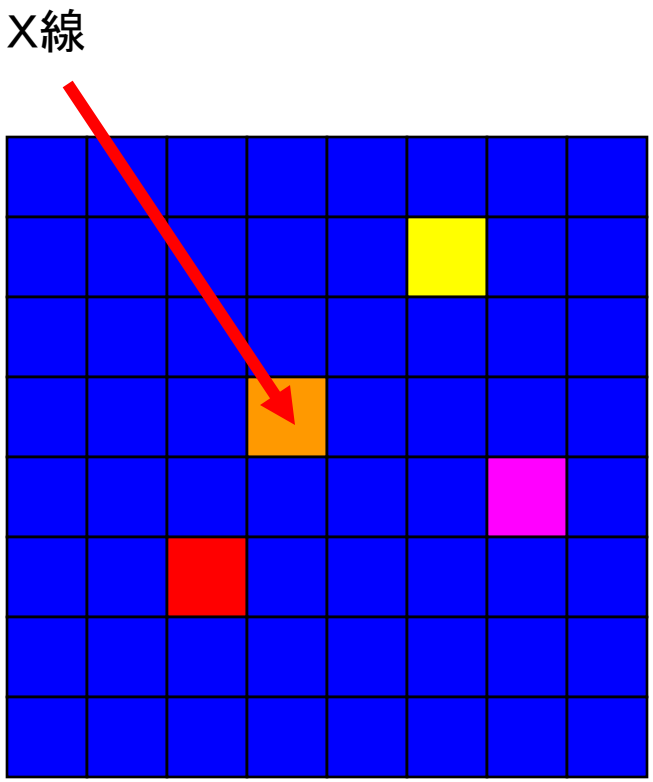
宇宙航空研究開発機構　宇宙科学研究所
太陽系科学研究系
准教授　岡田　達明

データ解析手順

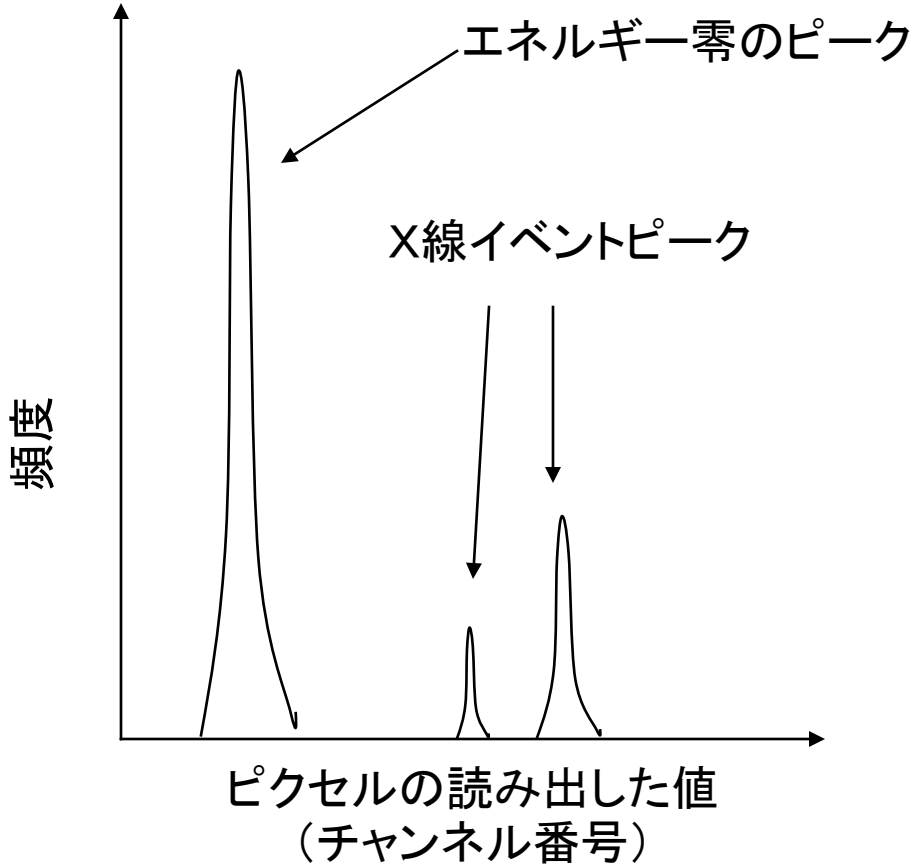
○CCDによる観測データ（X線スペクトル）の特徴

- CCDにX線の光子が入射すると光子のエネルギーに比例した個数の電子が生成される.
- CCDの読み出し時間内で同じ画素内に複数個の光子が入射する確率は低く，読み出した電荷の値（チャンネル番号と呼ぶ）が入射したひとつのX線光子のエネルギーを示すと考える.
- エネルギーチャンネルごとに光子数をカウントし、横軸にエネルギー、縦軸にカウント数をとってグラフ化する.
- １データは5分間積分したX線スペクトルである.
- グラフ（スペクトル）に元素に固有の輝線を同定し、それを定量的に解析することで元素組成を求める

X線CCDによるスペクトルの測定



※1024x1024ピクセル



X線CCDの各ピクセルがX線の検出器

各ピクセルの値→ヒストグラム作成→X線スペクトル

（注：図は著者ら作成）

○エネルギー較正方法
（チャンネル番号とエネルギー値との対応付け）

- 打上前の地上実験で決定するのが基本である.
- おおむね1次式で示すことができる.
  （エネルギー）＝（ゲイン）×（チャンネル番号）＋（オフセット）
- 地上実験の過程でXRSの温度変化によるX線スペクトルの変動が大きいことが判明した. その原因をゲインの変動とみていた.

↓

小惑星の環境では温度変化があり、地上実験結果を参照しないことにした。その代わりに、観測されたX線スペクトルから強い蛍光X線ピークを抽出し, エネルギー較正をその場でデータを参照しながら、やり直す方式を採用することにした.
事前予測は、イトカワが典型的なコンドライト的組成であればMgとSiの蛍光X線ピークが強く出るはず、であったことがこの背景にある

○ピーク抽出方法

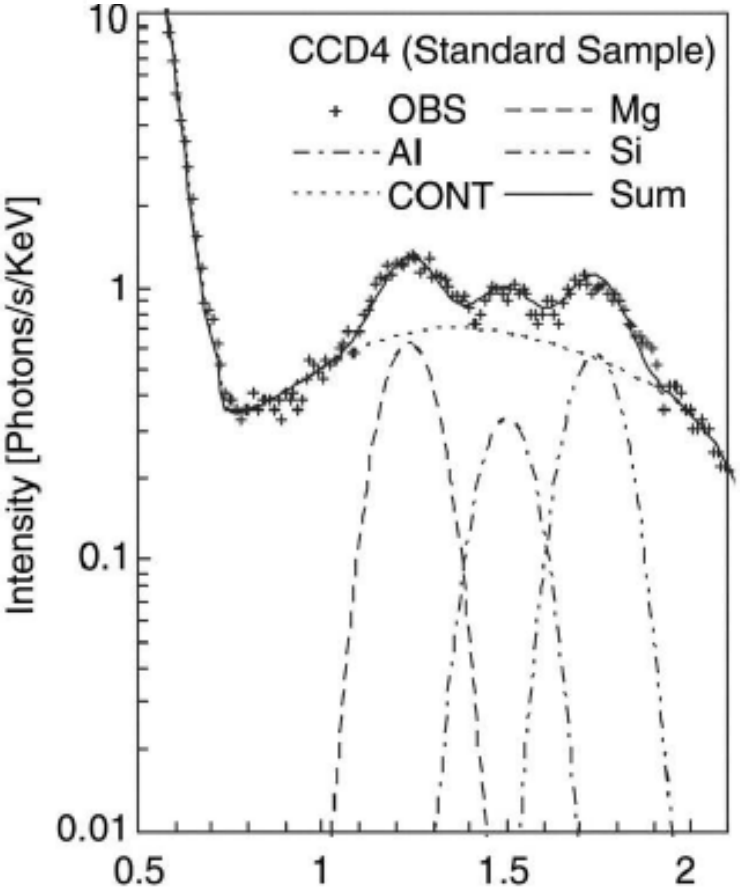
- 観測したX線スペクトルに対して，前後１１点のデータ点を用いて平滑化を行った.
- 平滑化後のX線スペクトルに対して，ピーク抽出を行った.
- 目立つ2つのピークについてMg，Siの蛍光X線ピークであるとして，エネルギー較正を行った.

○元素分析

- 決定したエネルギー較正に従って，横軸（チャンネル番号）をX線エネルギーに変換した.
- 各元素のX線エネルギーは固有であるため，グラフから各元素の蛍光X線強度がえられる（上限のみの場合もあり）.
- 小惑星からのX線と，既知組成の標準試料からのX線の比較から元素組成が決定される.

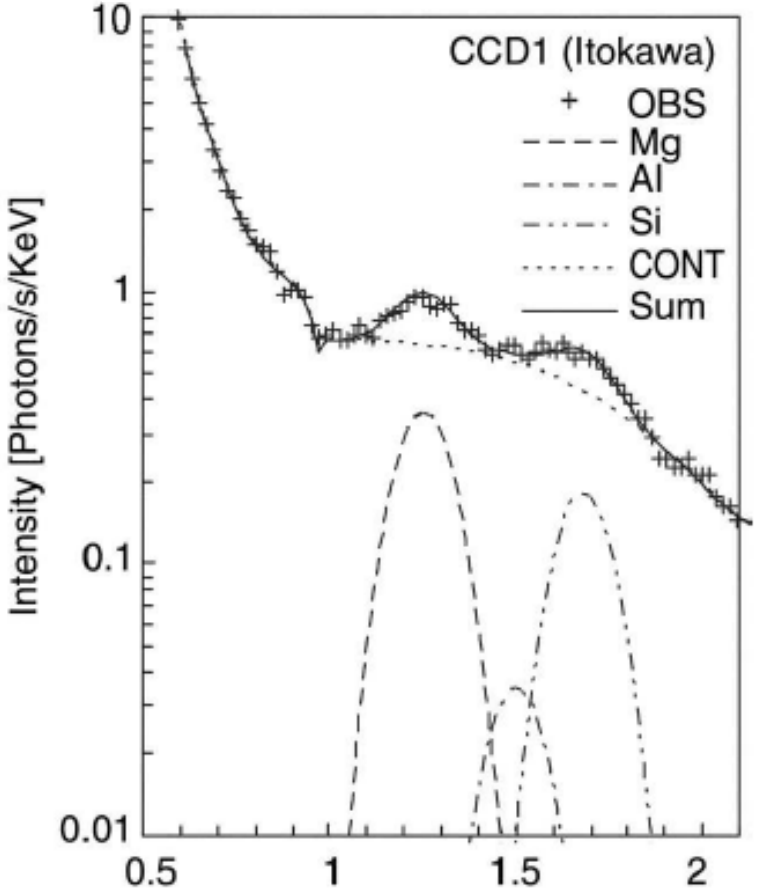
XRSによる観測データ
（サイエンス論文より抜粋）

標準試料からのX線



X線エネルギー（キロ電子ボルト）

小惑星からのX線



X線エネルギー（キロ電子ボルト）

（注：左右両図とも、Okada et al. Science, 312, 1338-1341, 2006 より引用）

今回の解析の問題点

（A）エネルギー較正

- 蛍光X線ピークの抽出にあたり，エネルギー較正にはゲイン変動があることを仮定したが，その後の調査によりオフセットの変動で説明できることがわかった.
- Mgのピークと同定したチャンネル番号が装置由来のピークと一致しており，それと誤認した.

（B）統計的有意性

- ピーク位置抽出後は，元のX線スペクトルに対して解析を行う必要があるが，誤って平滑処理後のX線スペクトルを使用していたことがわかった.
- そのため，見かけ上は統計的有意になったが，実際はランダムなノイズでも同様の結果を示す可能性が排除できない.

データ解析手順のまとめ

本論文で用いたデータ解析方法は地上の分析装置で使用されている方法を参考にした．ノイズに対する信号の相対強度（S/N）が良好なことが前提である．本論文では観測時に太陽X線が弱く，S/Nの悪い条件であったにも関わらず，そのことに十分な注意を払わずにこの解析方法で進めたことに問題があった．

結果として、「事前予想」に大きく引きずられる形で解析作業を進めることになってしまった

太陽X線強度が弱かった等の悪条件があったとしても、S/Nの悪い条件を想定してのデータ解析手法の整備を、観測をする前から進めておかなかったことが、最も反省すべきことであり今後に生かすべき教訓だと考える

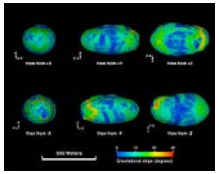
「本論文の位置付け
及び論文撤回に至る経緯」

宇宙航空研究開発機構　宇宙科学研究所
太陽系科学研究系
研究主幹　藤本　正樹

地上観測・近傍観測・試料分析の関係

資料3

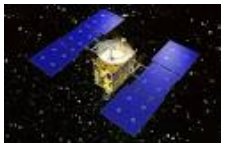
1. 地上観測



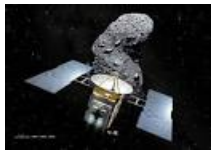
地上観測で推定されたイトカワ形状モデル

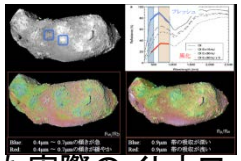
〇地上からのスペクトル観測により、太陽系全体の姿は概観できる。
〇探査ターゲットを選べる。
×個々の天体形状や物質および物理状態は仮説の域をでない。

2. 打上げ・航行



3. 近傍観測





探査機から観測された実際のイトカワ

〇地上取得データの校正検証と天体サイズスケールの物質や状態を概観できる。
〇サンプリング地点を選べる。
×その物理的なメカニズムや、経験した歴史については仮説の域を出ない。

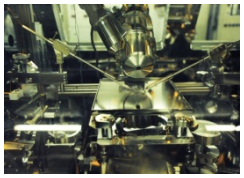
4. サンプル採取

5. カプセル回収

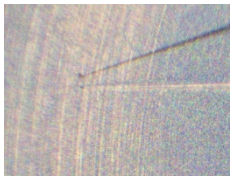
隕石とは異なり、天体の軌道、採取地点の産状の情報を持ち、大気突入時の加熱や地球物質の汚染を受けない状態で、試料を回収、分析することで、仮説として提唱されていた理論について、強力な裏付けが可能

それぞれ異なるスケールの情報であり、お互いが相補的であると同時に統合することで全体像が見えてくる

6.サンプル分析



マニュピレータ



マニュピレータによるピックアップ

<u>サンプルリターンにより、</u>地上観測等で主張された仮説が、**<u>物質科学的な手法により裏付け</u>**がされる。

1. はやぶさ：小惑星形成シナリオ、年代、温度等
2. はやぶさ2：有機物の進化（複雑化）

（注：はやぶさプロジェクト作成）

「論文撤回」に至る経緯（1／4）

はやぶさXRS観測データを用いたサイエンス論文に関する、現在までの経緯を以下に示す。

① 2003年5月 :「はやぶさ」打上げ

② 2005年9-12月 :「イトカワ」近傍での観測機器による
リモートセンシング
（蛍光X線分光器による観測含む）

③ 2006年6月2日 : 当該論文サイエンス誌に掲載

④ 2010年6月 :「はやぶさ」地球帰還

「論文撤回」に至る経緯（２／４）

⑤　2012年12月　JAXAの諮問委員会である研究委員会（宇宙理学委員会、宇宙工学委員会、宇宙探査委員会の合同委員会）による「はやぶさ」総括合同評価報告書において、「かぐや」搭載のXRSに発生した放射線による劣化不具合と同種の問題は無かったか確認が行なわれた。

その検討の中で、はやぶさXRS観測結果・データ解析については、その取扱いについて 再評価を行うべきであるとの指摘が行われた。

このため、XRS（蛍光X線観測器）のハードウェア と、得られたデータの解析手法についての評価を別途行う事とし、この作業に当たっては宇宙科学研究所において研究を統括する立場の研究系主幹・研究総主幹 が観測された生データに立ち返って再解析の指導を行うとともに、その結果を宇宙理学委員会に報告することを本総括評価の申し送り事項とするとされた。

「論文撤回」に至る経緯（3／4）

⑥　2013年9月9日　⑤を受けて、宇宙理学委員会（宇宙科学研究所所長諮問委員会；研究委員会の1つ）にて、宇宙研研究総主幹（前任）より当該論文のデータ解析についての評価結果として、「著者らはサイエンスに訂正記事を出し、その後可能であれば正しい結果を計算し直して論文として発表し直す事が科学者としての責務である」と報告された。

⑦　2013年12月～14年7月　諮問委員会である宇宙理学委員会の報告を受けて、宇宙科学研究所でより慎重に評価を行うべく外部委員を含む「研究評価委員会」を設置し評価を実施した。

「論文撤回」に至る経緯（４／４）

⑧　2014年7月　「研究評価委員会」より、「論文の主張は、妥当ではないと判断する。したがって、論文は撤回されるべきである」と報告された。また、「意図的にデータを改ざんした事実はないと委員会は判断した」と報告されている。

⑨　2014年8月16日　著者らから論文を「撤回」する意思が宇宙研所長へ示された。

⑩　本日、著者らは論文撤回の申し入れをサイエンス誌編集部に対して実施した。