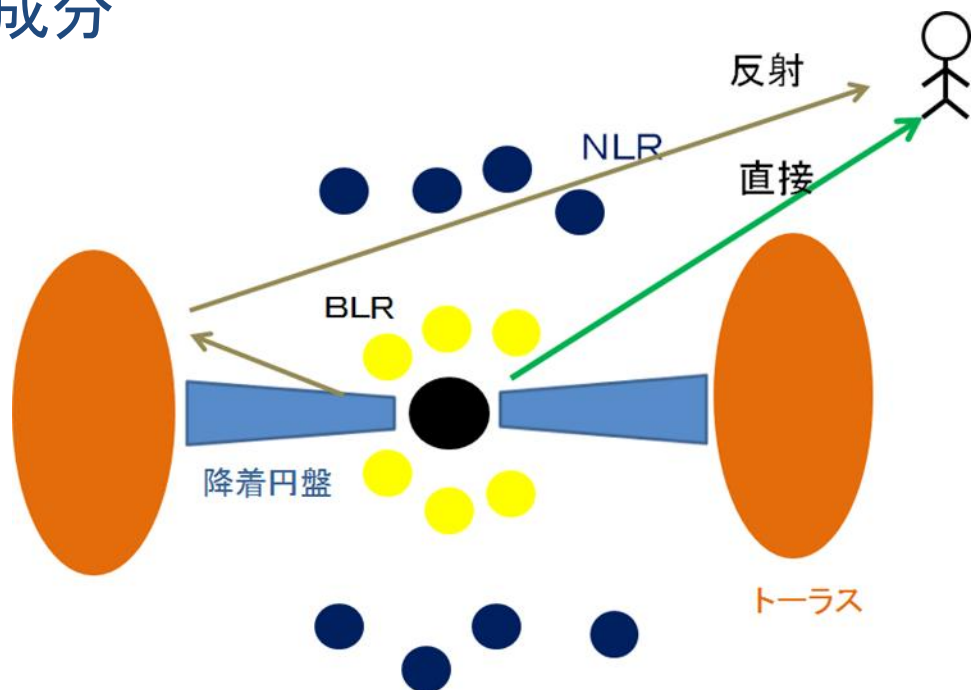
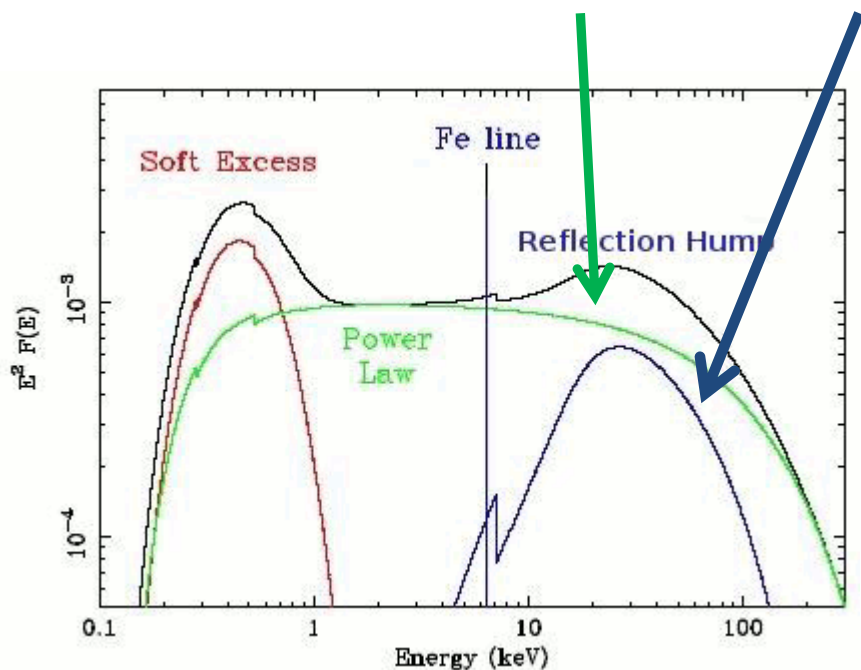


活動銀河核トーラスのFe,Niアバundance

林数馬、深沢泰司(広島大学)

AGNのX線スペクトル

X線スペクトル = 直接成分 + 反射成分



直接成分・・・中心からの放射を直接見ている成分

反射成分・・・トーラスなどの周辺物質によって散乱された成分
(輝線を含む)

反射成分は輝線を含むため、その強度から元素のアバんだンスの推定が可能

アバンダンスに関する先行研究

特にFe、Niに関する先行研究

- XMM-Newton によるCircinus Galaxy の観測 (Silvano et al. 2003)
 - Feのアバンダンスが $A_{Fe} = 1.7$
 - Ni と Fe- K_{α} のラインのフラックスの割合 Ni/Fe が0.055~0.075
- 「すざく」による NGC3783 の観測 (Reynolds et al. 2012)
 - 降着円盤のFeのアバンダンスが $Z_{Fe} = 2 - 4Z_{\odot}$
- XMM-Newton と「すざく」によるAbell 1656 の観測 (Matsushita et al. 2012)
 - Ni/Fe の比が 0.6-1.5 solar
- 可視光の観測からもBLRのアバンダンスが大きいことが分かっている

天体は太陽組成と異なるものが多いが、
X線のモデルは多くが太陽組成(Anders & Grevesse 1989)を仮定している。

目的

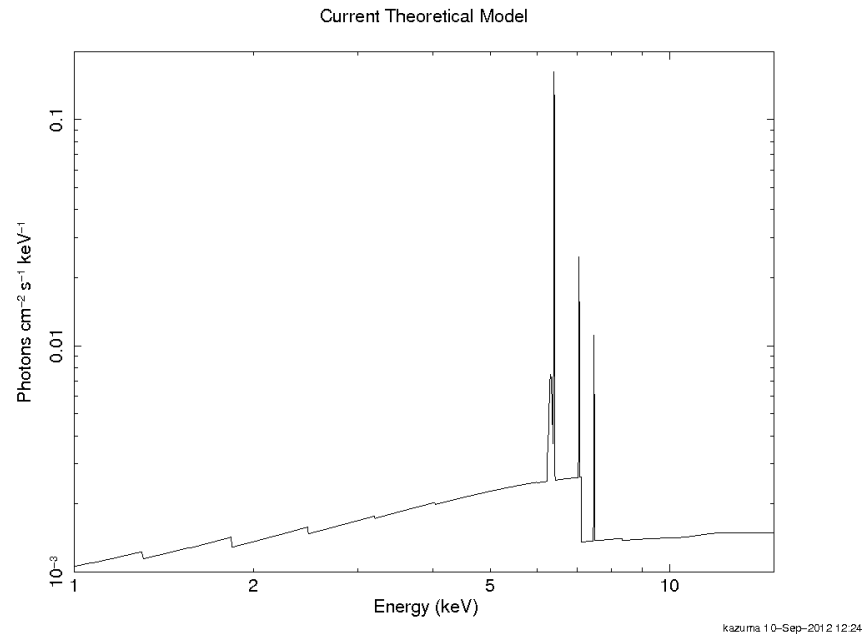
現在使われているX線の反射モデルでは、
吸収・輝線などの情報が不足している。

そこでモンテカルロシミュレーションを用いて
吸収・輝線などを含む反射スペクトルのモデルを構築した。

本講演では、そのモデルを用いてわかった、
FeとNiの輝線のジオメトリの依存性と
そのアバンダンスについて報告する。

X線反射スペクトルのモデル

- pexrav : 無限平面での反射を考えたモデル。輝線の情報は入っていない。
- pexmon : pexravにFeとNiの輝線を入れたモデル。



問題点

- 吸収・多重散乱の効果が入っていない
- 輝線に関する情報が不十分 →アバンダンスに関して議論できない

反射スペクトルのモデル構築

・ツール Geant4.9.2.p04

Geant4・・・粒子と物質の相互作用をシミュレートするソフトウェア。

高エネルギー実験機器の設計などに使われる。

・物質は一様分布、太陽組成比

・水素1コに対して・・・Fe : 4.68×10^{-5}

Ni : 1.78×10^{-6}

・中心から 4π 方向に E^{-2} に比例する光子を入射
(1 ~ 100 keV)

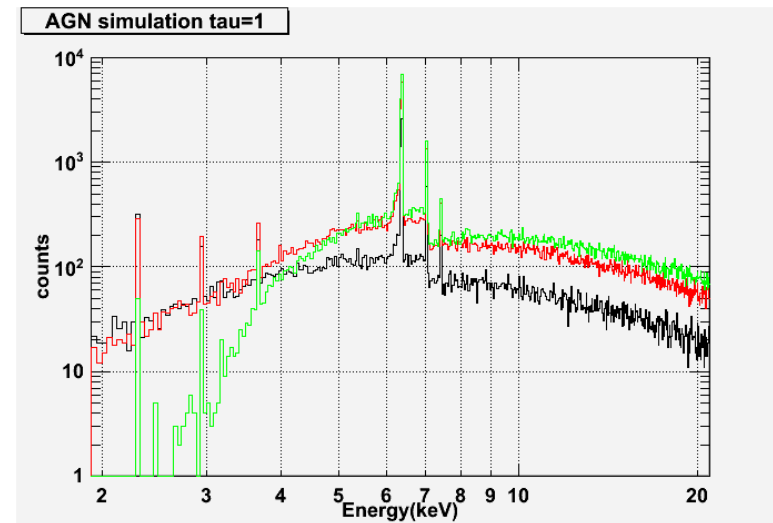
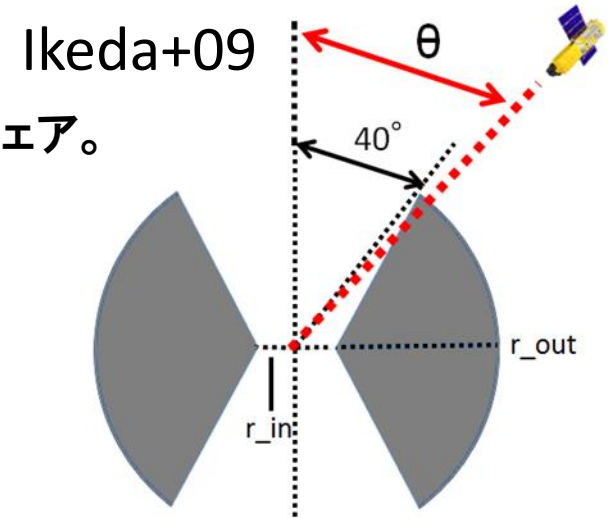
・シミュレーションで得られたデータを用いて

-トーラスの密度

-鉄のアバンダンス

- Θ

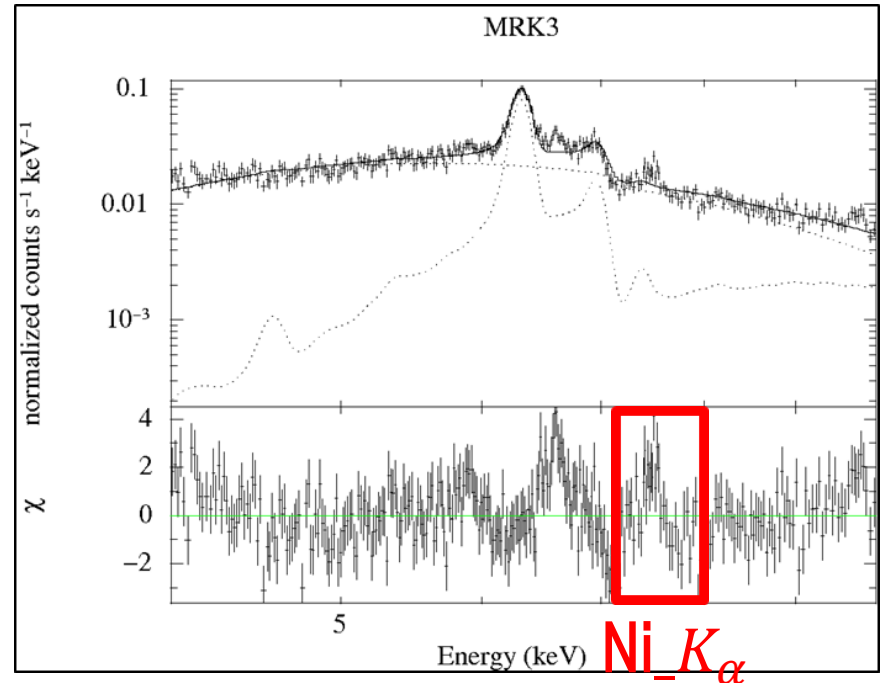
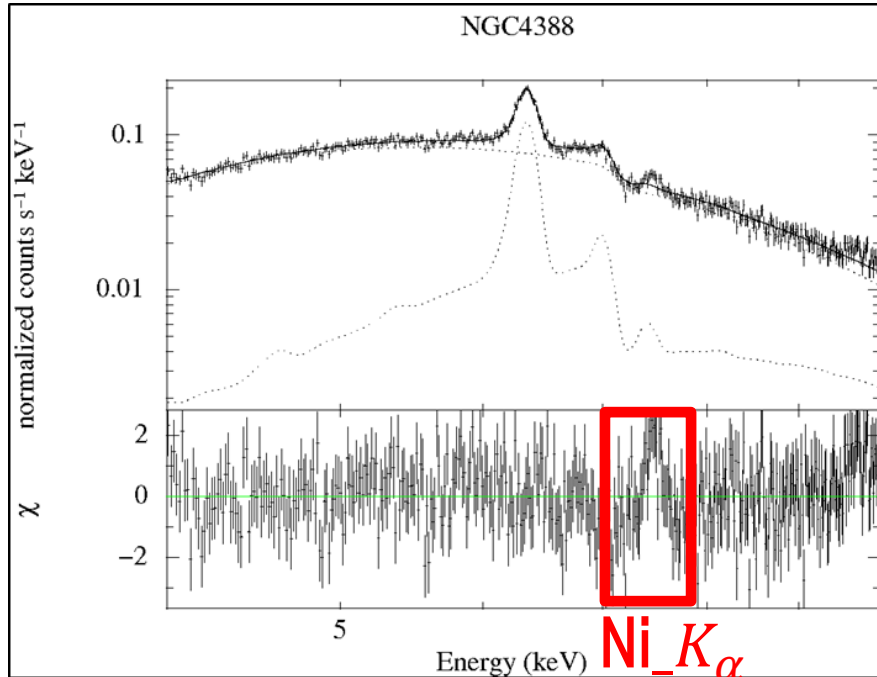
の3つをパラメーターとするモデルを構築した。



シミュレーションで得られた
スペクトルの Θ 依存性

天体への適用とずれ

- ・X線衛星「すざく」で観測された8天体に適用
- ・吸収×power-law + 反射成分(シミュレーションモデル) でfitし、Ni/Feを比較



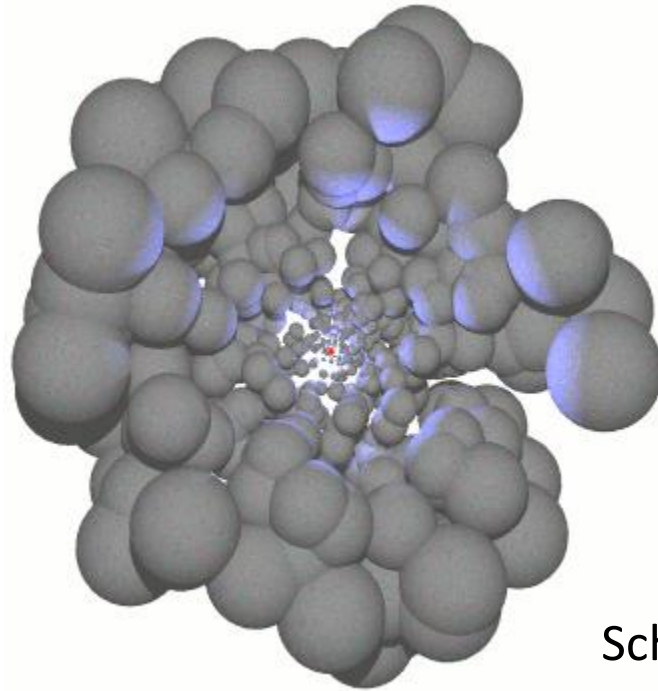
Ni/Fe	観測値	シミュレーションモデル	pexmon
NGC4388	0.10 ± 0.03	0.030 ± 0.006	0.033 ± 0.009
Mrk3	0.13 ± 0.03	0.022 ± 0.006	0.04 ± 0.01

この他の6天体でも同じ傾向がみられた

ジオメトリを変えることで解決できないか？

clumpyなトーラスモデル

- 安定したガスの供給には、均一なトーラスではなく clumpyなトーラスが必要 (Honig & Beckert 07)



Schartmann et al. 2008

特に赤外領域のシミュレーションではclumpyなトーラスを用いることが主流(Kawaguchi & Mori 2011)

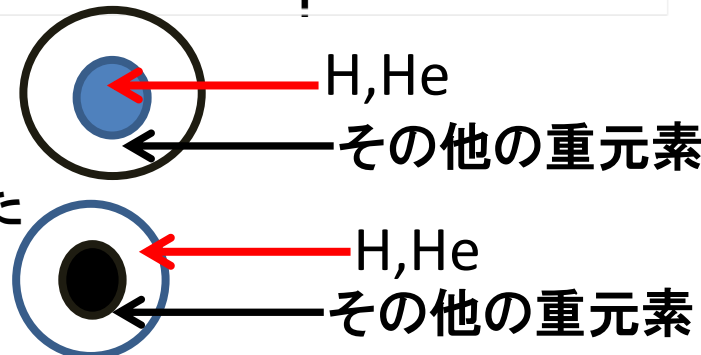
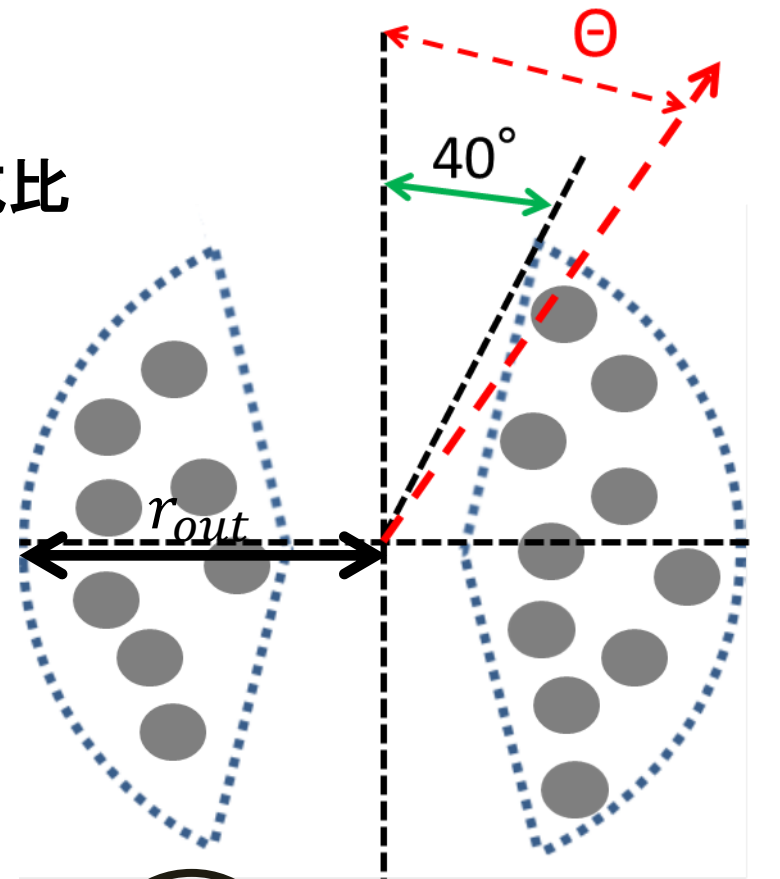
Clumpyなモデルでのシミュレーション

- ・物質分布をブロッブ状とした
- ・ブロッブは球状として、組成は太陽組成比
- ・配置はジオメトリの制約内でランダム
- ・クランプ数 10^5 コ
- ・クランプの半径 $0.006 \times r_{out}$
- ・充填率 ~ 0.03
- ・平均柱密度 $\sim 5 \times 10^{23} \text{ cm}^{-2}$

- ・ダスト粒子を再現するため
ブロッブがシェル構造の場合も行った。

- 内側はH、Heのみ、
- 外側がそれ以外の重元素

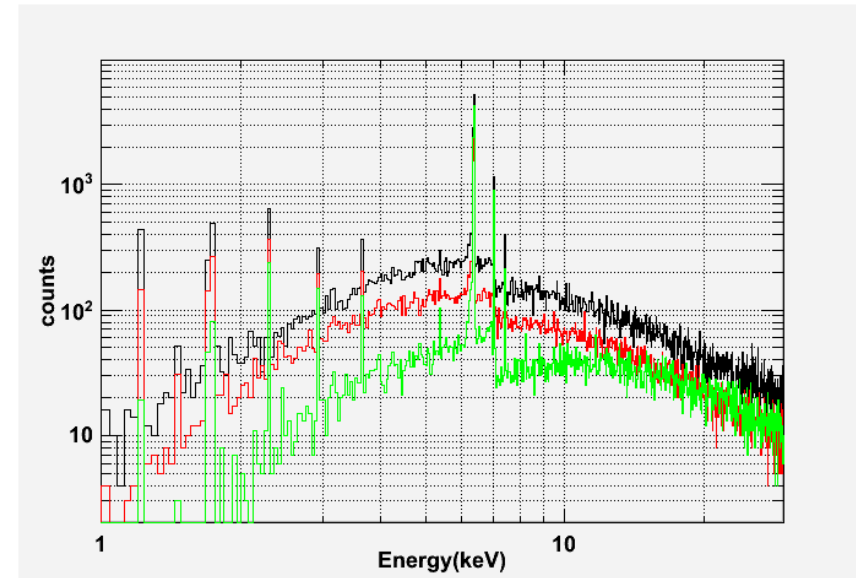
(ダスト粒子を再現するのは難しいため極端な例で行った)
位置関係が逆の場合(内側:重元素、外側:H,He)でも行った



鉄輝線のEquivalent Width

ジオメトリごとに鉄輝線(6.4 keV)のEquivalent Width を比較した

	EW (keV)
一様なトーラス	1.27
ブロッブ状のトーラス	1.50
殻構造をもつブロッブ	4.30
内側に重元素の殻	5.68



- ブロッブ状のトーラスは一様なトーラスに比べてEWが少しだけ大きくなる
 - ブロッブ状のため、連続成分が下がった可能性
- 殻構造をもつトーラスはEWが大きい
 - 重元素が固まっているため多重散乱が増加し、連続成分の強度が落ちた

Ni/Feの比較

それぞれのジオメトリでFe(6.4 keV) とNi(7.4 keV) のライン強度比を比較

	Ni/Fe
一様なトーラス	0.050
ブロッブ状のトーラス	0.044
殻構造をもつブロッブ	0.032
内側に重元素の殻	0.033

	Ni/Fe
NGC4151	0.09 ± 0.02
NGC4388	0.10 ± 0.03
Circinus galaxy	0.056 ± 0.008
Mrk 3	0.13 ± 0.03

- 一様物質に比べてブロッブ状のトーラスはNi/Feが小さい
 - ブロッブ状にしたため反応確率が下がった
- 殻構造の場合は小さい
 - 重元素が固まっているため多重散乱が多くなり、出にくい

どの値も観測データから求めた値よりも小さい
ジオメトリだけで説明することは難しそう

まとめ

- モンテカルロシミュレーションを用いてX線の反射スペクトルのモデルを作成した。
- トーラスのジオメトリは、
 - ①一様な物質
 - ②ブロッブ状のトーラス
 - ③ブロッブが殻構造をもったトーラス、 の3つで行った。
 - ブロッブ状トーラスでは大きく変わらない。
 - 重元素が固まっているとEWが大きくなる。
- Fe, Niのアバンドランスの絶対値は、重元素の分布に依存する。
- Ni/Feは太陽組成よりも大きい可能性