#### 天の川銀河中心領域のX線観測

# X線トモグラフィによるSgr A\*の活動(1000年の活動) GC South/North プラズマ(10万年の活動) 高階電離鉄輝線の起源(100万年?の活動) 銀河面の中性鉄輝線の起源

鶴 剛 (Kyoto University)

on behalf of the Suzaku GC team.

20141003\_GC\_Suzaku\_CTA\_v2.key

# I000年間の活動 ~X線反射星雲の3-D配置~

2

#### Ryu et al. 2009, PASJ, <u>61</u>, 751 Ryu et al. 2013, PASJ, <u>65</u>, 33

Ryu FY2012 Doctor Thesis, Kyoto Univ.



204pointings, 5.96Msec SWG, AO, LP, KP x2 (|1|<3.5°, |b|<5°) 36 refereed papers,7 Doctor Theses.

#### Suzaku Spectrum of the GC region



## **6.7-keV Line Image (He-like Fe Kα)**





 Thermal Plasmas smoothly distribute in the GC region. 5

- The origin is still under debate.
  - Truly diffuse plasma filling in the GC region.
- Or, collection of faint unresolved point

sources.





• K-edge :  $N_H = 2 - 10 \times 10^{23} \text{ cm}^{-2}$ Time Variable :

Size ~10 lys,  $\tau$  ~ 10 yrs

 $\Rightarrow$  lonizing particle is X-ray "X-ray Reflection Nebula (XRN)"

- Need a source with  $L_X \sim 10^{39} \text{ergs/s}$
- No such bright source.
- Sgr A\* is only one possible source.

Echo of the past activity of Sgr  $A^*$ 



 $\rightarrow$  Look back time.

# position of XRN is necessary.

#### "X-ray Tomography"

- The GC thermal plasma distributes smoothly.
- An XRN (e.g. Molecular Cloud: MC) is located in the GC thermal plasma.
- If an XRN (MC) is located in the near side of the thermal plasma, then soft X-rays from the plasma is absorbed by the XRN due to photo-absorption.
- In the case that the XRN (MC) is located in the far side of the thermal plasma, soft X-rays from the plasma is un-absorbed.





**Spectral Modeling** 





#### **3-D distribution of XRNe**



#### Light curve of Sgr A\* in the past



- Sgr A\* had been in active phase 50 600 years ago.
- Sgr A\* made nearly one order of magnitude variation in a short time (<10 years) at a couple of times.</li>

How about before 600 yrs ago ?

# GC South Plasma : I0万年前の活動 ~再結合プラズマの発見~

#### Nakashima et al. 2013, ApJ, 773, 20

Nakashima FY2013 Doctor Thesis, Kyoto Univ.

#### **Bipolar X-ray emission from the GC**



- M = 710M<sub>@</sub>
  - $E = 1.6 \times 10^{51} ergs$

n=0.16cm<sup>-3</sup>

● I0~I00個分のSNRに相当

●星団は無い

⇒SNRやSuper Bubbleではない

#### **Recombining Plasma**



- 強い再結合連続線(RRC)
- 電離非平衡:イオン化温度 > 電子温度(kTe=0.46keV)
- ●イオン化温度:初期 kT<sub>init</sub>=1.63keV & 0.16cm<sup>3</sup> → ~1×10<sup>5</sup>yr経過

## イオン化温度 > 電子温度:2つのシナリオ

6

- 平衡状態から電子温度を下げる
  - I0<sup>5</sup>-I0<sup>7</sup>yr前に爆発的星生成活動あり (Matsunaga+II,Yusef-Zadeh+09)
  - 超新星爆発 ⇒ 銀河中心領域で高温プラズマ
  - 銀河面垂直に吹き出す
  - ●断熱膨張によりkTeが下がった.
  - 音速で膨張に必要な時間~8x10<sup>4</sup>yr ← 観測と無矛盾
- 平衡状態からイオン化温度を上げる
  - 元々低温のプラズマが存在していた
  - Sgr A\*からのX線による光電離が起こる. Lx ~ 7.6x1043ergs/s
  - GC Plasma には、光電離 (RP)の痕跡がない.

⇒ Sgr A\*からのX線放射はビーミングか?

# 高階電離鉄輝線の起源:100万年?の活動

# ~点源寄せ集め or 真に拡がる?~

Uchiyama et al. (2011) PASJ 63, S903 Uchiyama FY2009 Doctor Thesis, Kyoto Univ.

#### **6.7keV Line Profile vs Stellar and Point Sources Distribution**



#### 6.7keV Lines Excess at GC

The 6.7keV has more extended distribution than point sources.

#### **Truly diffuse plasma**

# <u>プラズマはエスケープしているか?</u>

- $E_{gas} \sim 3 \times 10^{52} ergs$
- $\tau_{esc} = 2 \times 10^4 yr$
- エスケープエネルギー
  - ~ 10<sup>-3</sup> SN yr <sup>-1</sup>



加熱 = 超新星爆発, Sgr A\* の活動 ~10<sup>-5</sup> SN yr<sup>-1</sup> Tsuru+
 ⇒ 音速で逃げ出すと加熱が追いつかない (Suzaku2007)

⇒エスケープしていない.

⇒磁場で閉じ込めか?

- B=0.1mG~1mG
  - $\Rightarrow$  P<sub>B</sub>/k = 10<sup>6</sup>-10<sup>8</sup> K/cm<sup>3</sup> ~ P<sub>gas</sub>/k = 2×10<sup>7</sup> K/cm<sup>3</sup>
  - ⇒ 可能性あり

## だが磁場に沿った方向にプラズマは移動できるのでは?



Nishiyama+13, ApJL, 769, 28

# 銀河面の中性鉄輝線(6.4keV)の起源

#### H.Uchiyama (Shizuoka), K.K.Nobukawa

T.Tsuru et al. (2014) arXiv:1408.0205v1



# 6.4-keV line emission from Ridge



#### EW map of the 6.4-keV line near GC

No region with such high EW has been discovered except the GC.







#### East side of GC in I ~ 2° to 4°

- Oct. 2012–Mar. 2014
- 100 ksec × 10 pointngs

#### West side of GC in $I \sim -2^{\circ}$ to $-4^{\circ}$

- Oct. 2006–Feb. 2009
- 50 ksec × 12 pointngs



## 6.4-keV 6.7-keV lines vs l





# 6.4-keV line flux & I3CO vs l



6.4-keV line follows CO.

#### 6.4-keV line : Diffuse Origin Fluorescence from Cool Matter.





# 中性Fe輝線の成分 =

東(中性Feが強い) - 西(中性Feが弱い)





5.4 keV EW (keV)

# **Ionizing** particles



Clump2

- X線光電離 or keV電子 or MeV陽子?
- 大きなEW ⇒ 電子は除外
- Sgr A\* による光電離は等方的だろう
- Clump2 / footpoint は非等方を示唆 ⇒ MeV陽子









- Sge A\*のフレア活動
- ●GCの巨大分子雲
  - X線の時間変動
     ⇒ Sgr A\*の活動時間変化
     ⇒ TeVに時間変動は無い?



Figure 1 | VHE  $\gamma$ -ray images of the Galactic Centre region. a,  $\gamma$ -ray count map; b, the same map after subtraction of the two dominant point sources showing an extended band of gamma-ray emission. Axes are Galactic

- ●銀河面放射
  - X線はMeV陽子 ⇔ TeVはTeV陽子
  - ●MeV陽子は大きく拡がれない ⇒ 加速源を見ている?
  - ●加速源と伝搬

