

A Gas Cloud on its way towards SMBH at the Galactic Center

Gillessen , Genzel, et al. (Max Plank Inst.)

Nature 481, 51, 2012 (Jan 5, 2012)

Observations of emission across electromagnetic spectrum during this post-circularization phase will provide stringent constraints on the physics of BH accretion with unusually good knowledge of the mass available.

基礎知識

- 銀河中心までの距離 8.33 kpc
- Black hole mass $M_{\text{BH}} = 4.31 \times 10^6 M_{\odot}$
- $R_s = 1300 \text{ 万 km} = 19 R_{\odot} = 0.088 \text{ AU} = 0.010 \text{ mas}$
- $1 \text{ mas} = 8.33 \text{ AU} = 98 R_s (= 1.25 \times 10^9 \text{ km})$
= 月面上の直径 2m の円盤を地上から見込む角
- 年間移動距離 $\text{year} \cdot 1000 \text{ km/s} = 210 \text{ AU/y}$
 $= 25.3 \text{ mas/y}$
- Pericentric radius = $36 \text{ lh} = 260 \text{ AU}$
 $= 3140 R_s = 32 \text{ mas}$

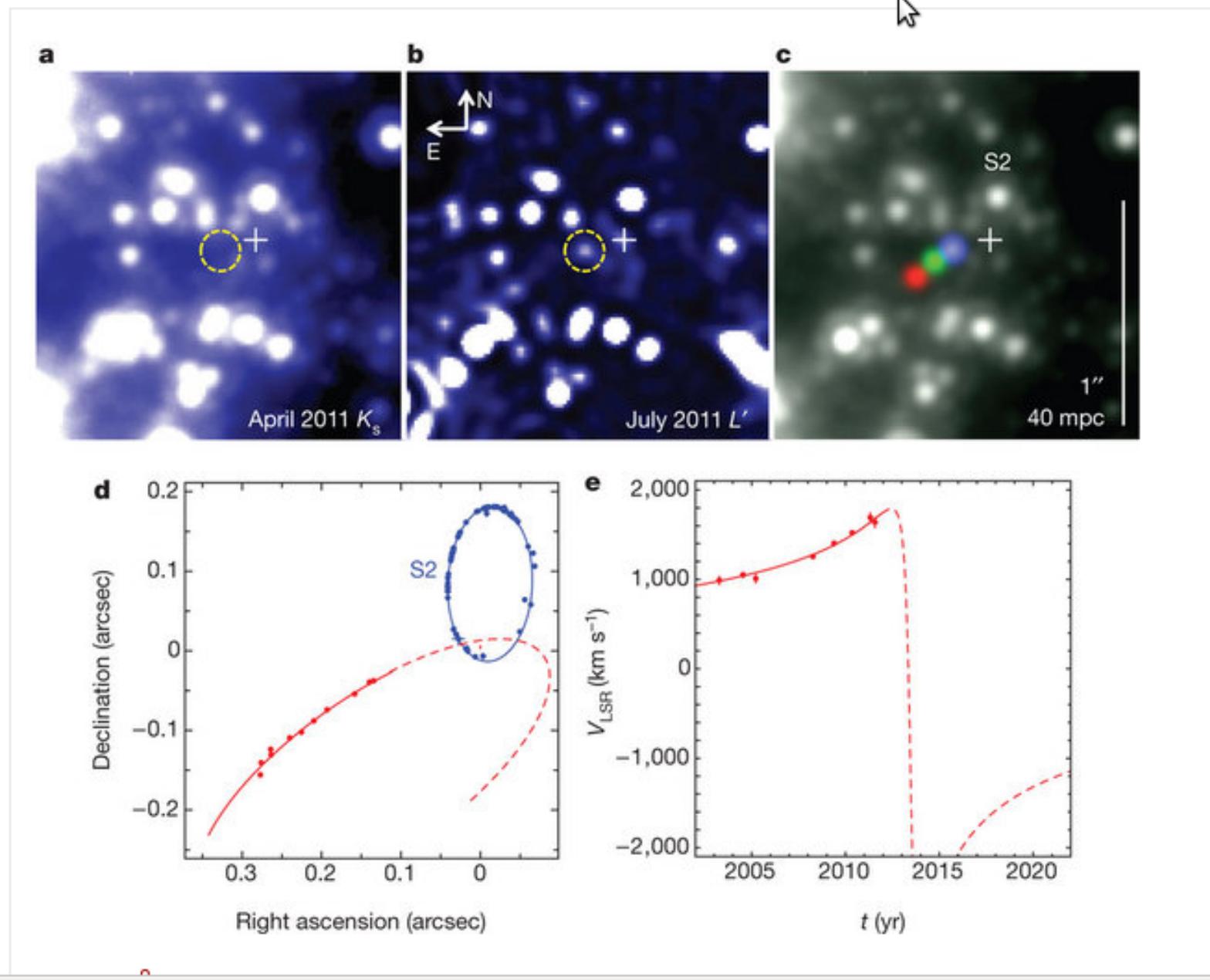
1-1 : 観測

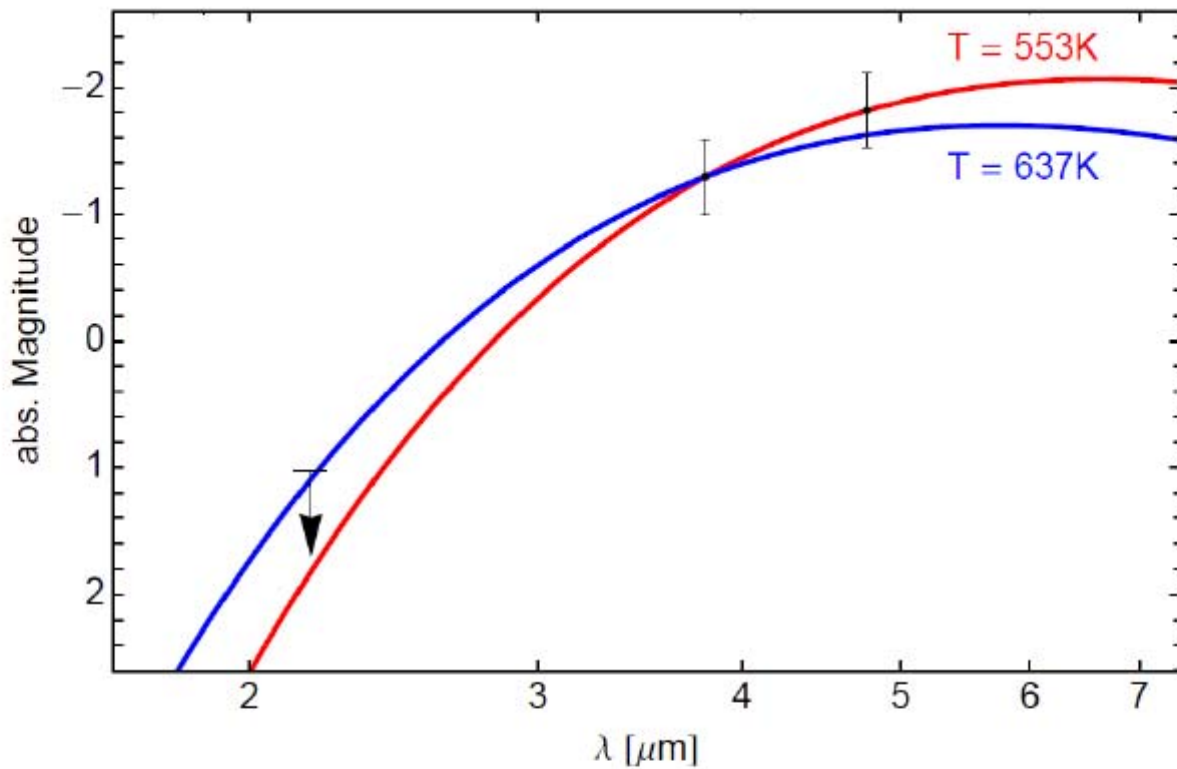
- Adaptive optics imager of VLT
- 約 3 arcsec 四方の領域を J, K_s, L' (3.76 μ) での imaging と分光観測
- Monitor: 2002 以来9年間
- 銀河中心までの吸収は $A_L < 1 \text{ mag}$ ($A_V > 30 \text{ mag}$)
- Image scale = 27mas/pix (186mas/pix)
- 位置測定精度 2 mas
- VLBIの beam size :
 $0.61 \lambda / D(1000\text{km}) = 0.161 \text{ mas at } 230 \text{ GHz}$

1-2: 発見

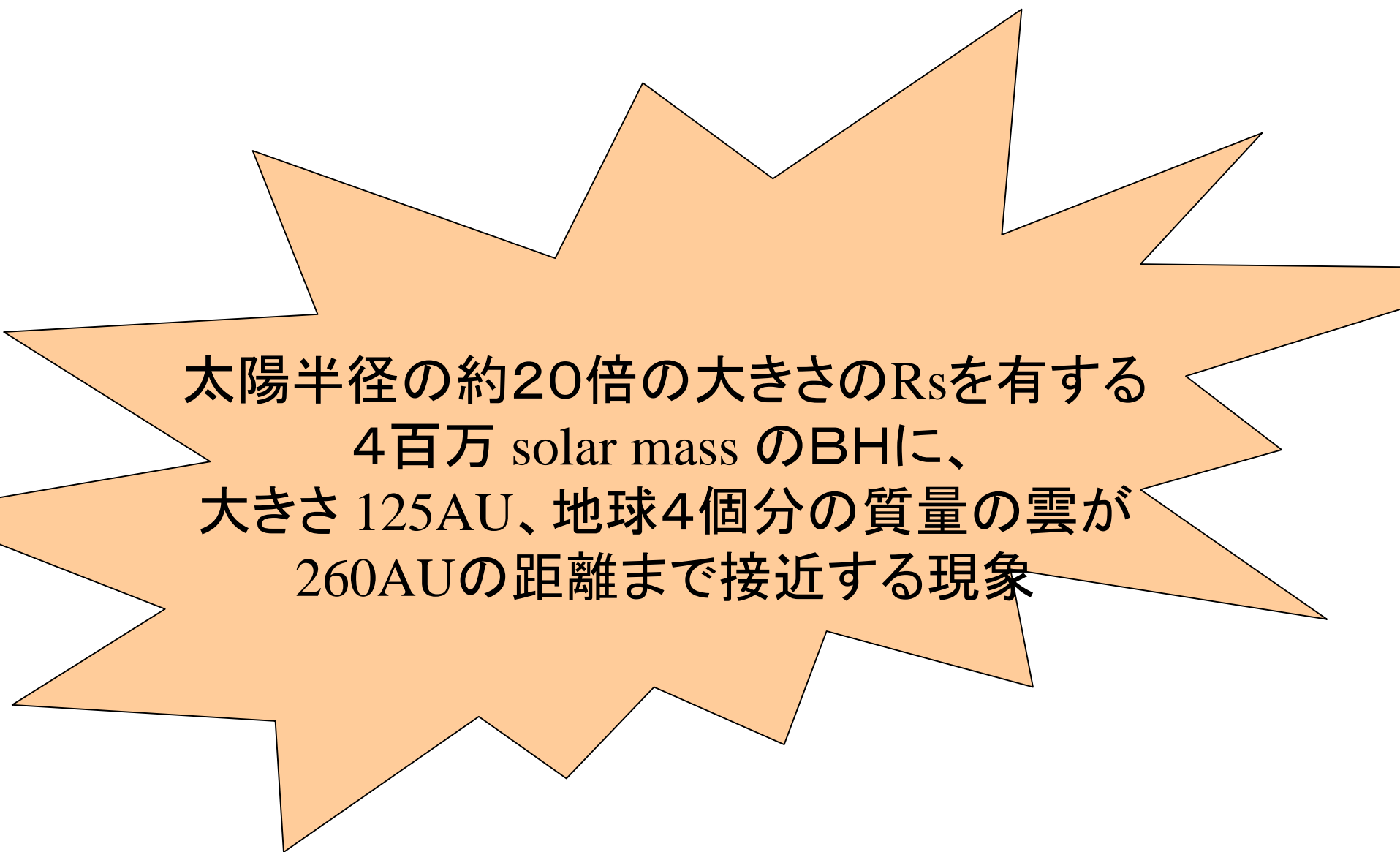
- 1700km/s の速さで、SgrA* にまっしぐらに落ち込む天体を発見した。(図1参照)
- Keplerian orbit の周期は137 +/- 11年
- その速度は、
1200 km/s (2004年) から 2350 km/s (2011年) に急加速
- この天体は、J (1.2 μ), Ks (2.2 μ) バンドでは検出されず、L'(3.76 μ), M(4.7 μ) バンドでのみ検出されることから、星ではなく、550K のガス雲である(図S2)。

Figure 1: Infalling dust/gas cloud in the Galactic Centre.





Supplementary Figure S2. Spectral energy distribution of the object and inferred temperatures of equivalent black bodies. The blue line corresponds to $T = 637$ K. This is the hottest temperature, which does not violate the K-band limit given the L-band flux. The red line is for 553 K, the best matching temperature given the L- and M-band fluxes. We conclude $T = 550 (\pm 90)$ K. The integrated luminosity is $\sim 5 L_{\odot}$



太陽半径の約20倍の大きさの R_s を有する
4百万 solar mass のBHに、
大きさ 125AU、地球4個分の質量の雲が
260AUの距離まで接近する現象

2: 雲の性質

- 分光観測によると、雲は $\text{Br } \gamma$, $\text{Br } \delta$, $\text{HeI } 2.058 \mu$ の輝線を放出しており、
dusty ionized cloud である (図2c、d)。
- 雲の electron density $N_e =$
- 見かけの size は $R_c = 15 \text{ mas}$ で (図2a、b)、
大きさは 125 AU である。
- 雲の質量は $M_c = 3 f v^{1/2} M_{\text{地球}}$
- Nearby massive hot star で
photo-ionized されている ($0.1 < f v < 1$) 。

3: 軌道運動の今後の予想

- この天体は $e = 0.94$ と極めてeccentricな軌道で、
2013年夏にBHに最接近するであろう。
(軌道角運動量は小さい)
- その peri-center distance は、
 $36 \text{ lh} = 3140 \text{ Rs} = 32 \text{ mas} = 260 \text{ AU}$
- 参考: BH周辺の周回星は、
 $17 \text{ lh} \text{ (S2)}, 11 \text{ lh} \text{ (S14)}$
- Keplerian orbit として、その周期は、
 $137 \pm 11 \text{ 年}$

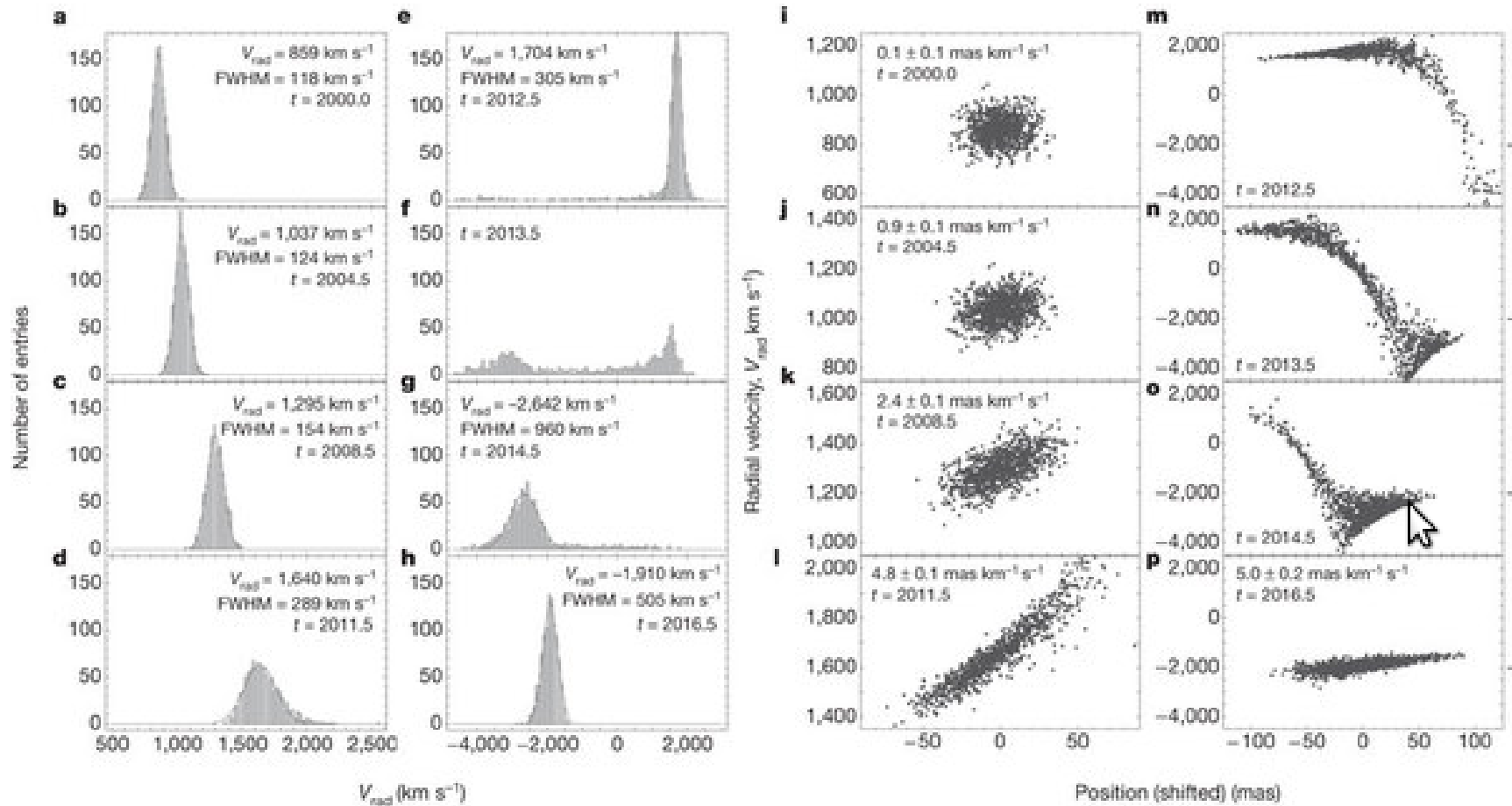
4: 今後のガス雲の進展

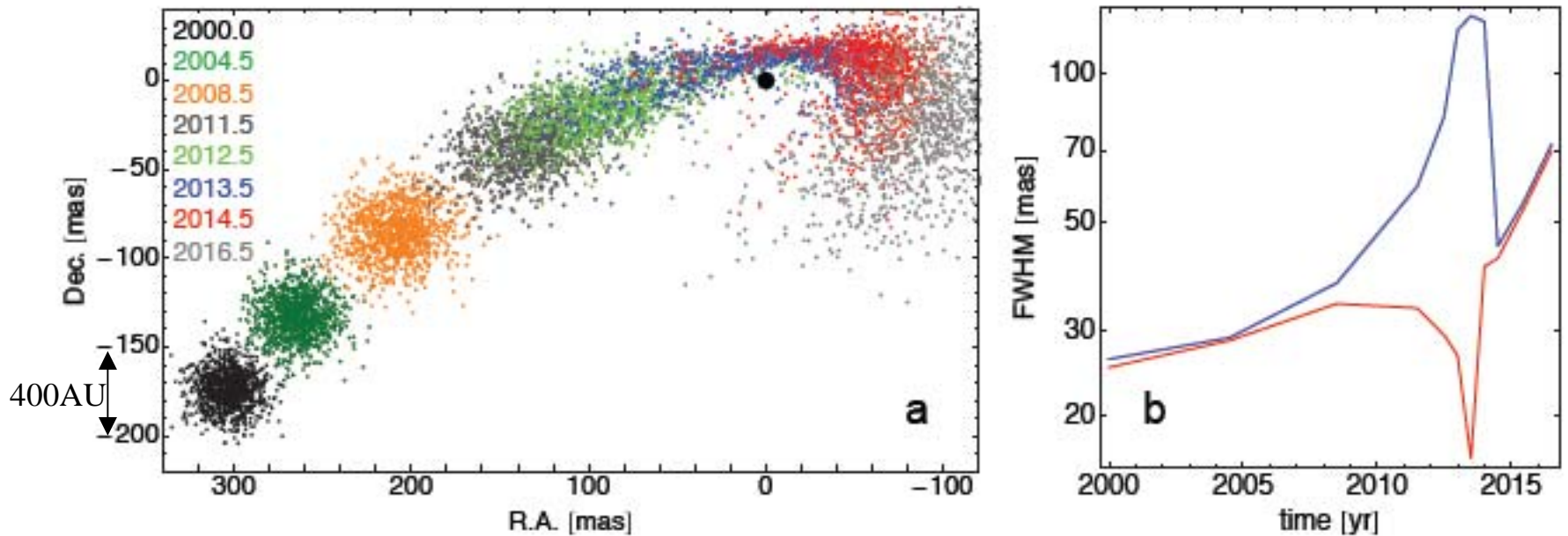
- X-線観測でのBHへのaccretion flowの考察より、peri-center 通過まではKeplerian orbit で落下するであろう。
- ガス雲の密度は、peri-center地点でも accretion flow の密度より $60 f^{-1/2}$ 倍も高い。
- ガス雲への ram pressure は accretion flow のより強い
- Hot gas は bow shock で雲を圧縮するであろう
- BHに近づくにつれ、BHの tidal forceで雲は引き伸ばされ、
- 周辺のhot gas との interaction (Kelvin-Helmholtz, Rayleigh-Taylor instabilities) で裂かれ、
- 雲の先端部は、数年以内にRayleigh-Taylor instabilitiesで破壊されるであろう(図S4)。

5: 雲の崩壊は進み始めた

- 輝線のintrinsic widthが過去8年間で3倍も広がった(図3)。
- また、雲の velocity gradient は、orbit trajectoryに沿って大きくなっている。
- これらは、test particle simulationの結果ともよく一致している(図S4)。

Figure 3: Test particle simulation of the orbital tidal disruption.





Supplementary Figure S4. Simulation of orbital tidal disruption of Gaussian cloud: evolution of spatial structure as a function of time (panel a, North is up, East is left). Panel b shows the evolution of the FWHM along directions parallel (blue) and perpendicular (red) to the orbit.

6: 今後のガス雲の破壊と energy deposition process

- 今回の現象を観測することは、accretion zone の物理状態を調べるに、大変良い probe になるであろう。
- hot gas との interaction で雲の内部へ強い shock が進行するであろう。
- Pericenter 通過まではガスの温度は低いままであろう。
- 通過後は、post shock ガスは $6-10 \times 10^6$ K まで加熱され、X-線が放出され始める。
- その明るさは、 10^{34} erg/s (2-8 keV) に達し、SgrA* の quiescent X-ray luminosity (10^{33}) より大きくなるであろう。
- R-T instabilities で引きちぎられて出来た数個の雲が次々と落下することで、X-線はこの phase で variable になるであろう。
- これらの予言は、雲の density, 破壊状態、orbit にそってのガス雲の状態変化に対して、sensitive に依存する。

6: 続き

- Radial profileが steepになり f_v が大きくなると、X-線はより強くなり、逆の場合は、X-線は UV へとシフトしてしまうであろう。
- $\text{Br } \gamma$ の観測も、 10^3 - $10^4 R_s$ での unprobed 領域の状態に強い制限を加えられるであろう。

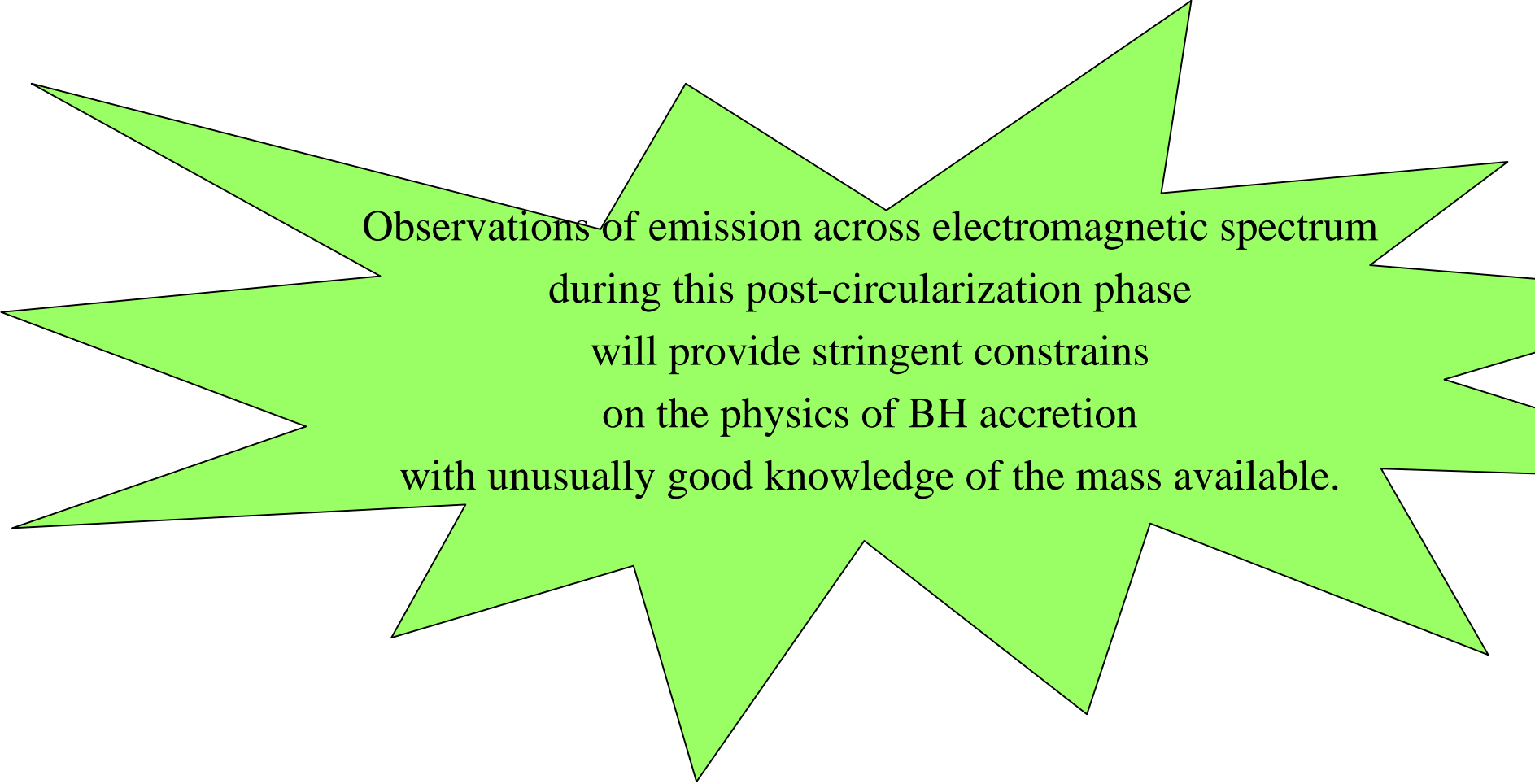
7 : peri-center 通過後の動向

- Pericenter 通過後、tidally disrupted filamentary cloud の一部は、互いに衝突し合い、dissipate し、circularizeするであろう。
- Most probably, the cloud can efficiently circularize, in agreement with preliminary gas simulation.
(ガス雲は、BHの周りを回転し始めるであろう)
- 雲の質量は、3100 Rs 内の hot gas の質量より多いので、event horizon 付近での accretion は、この雲からのものが dominant になるであろう。
- その時、次の10年間で開放されるエネルギーは 10^{48} erg にも達しよう
(inflow の radiative efficiency = 1-10%として)

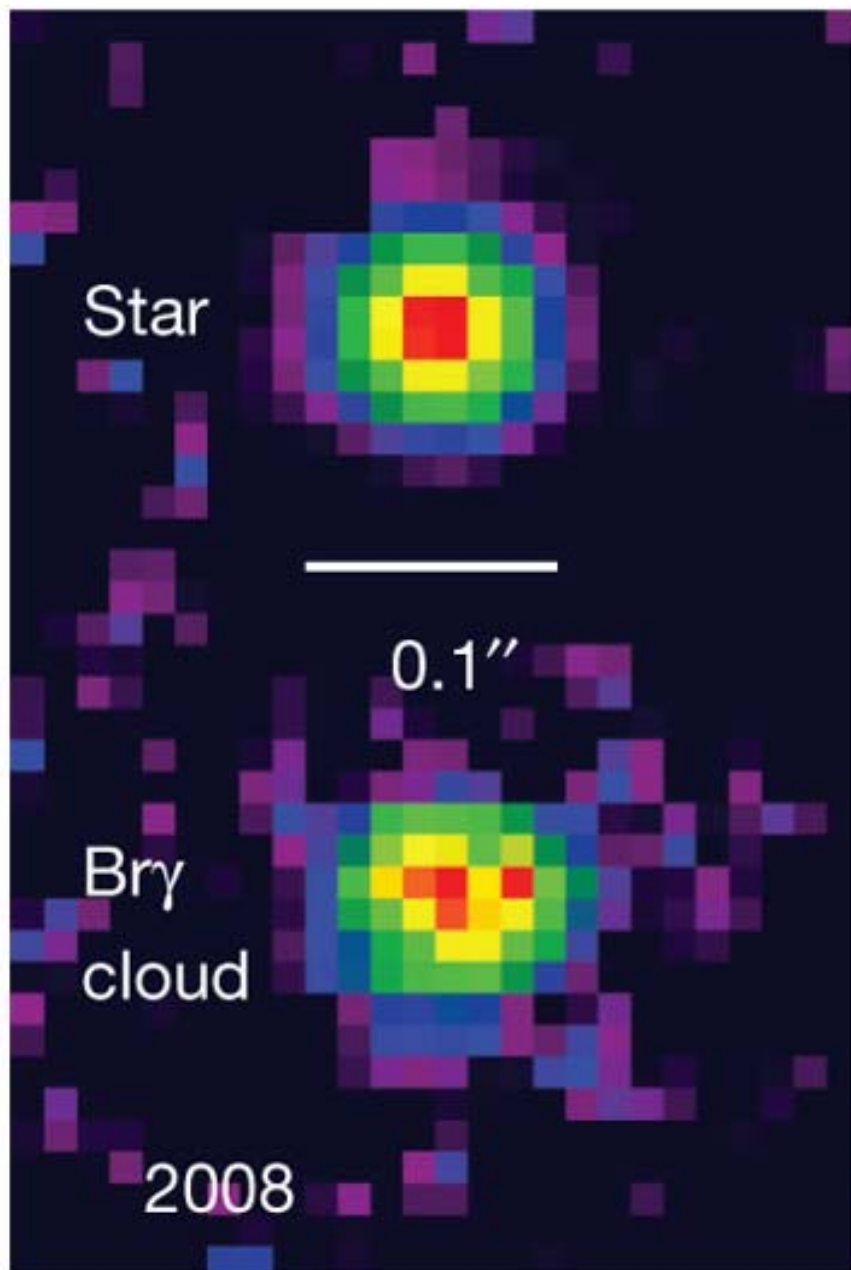
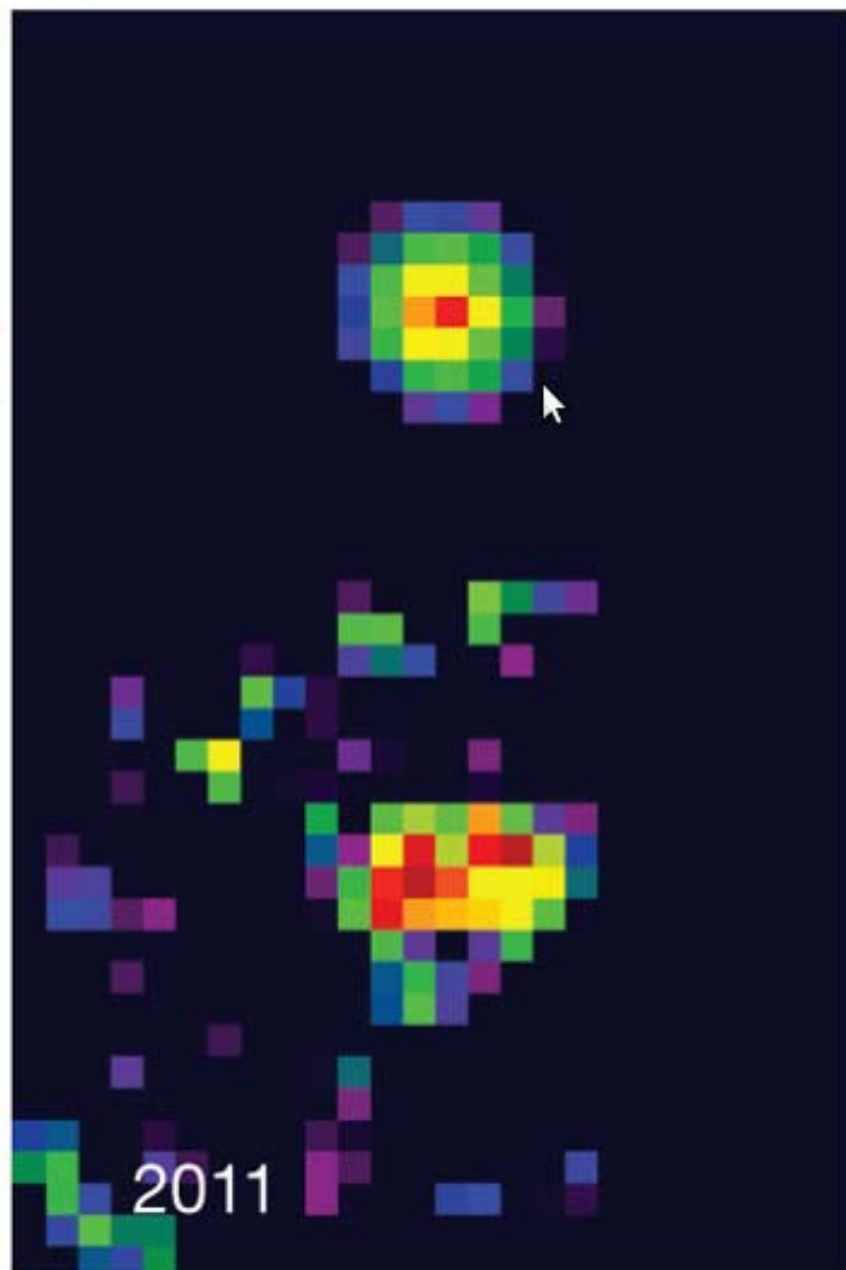
8: low angular momentum cloud の起源

- ガス雲の角運動量ベクトルは、SgrA*から 1''-10'' のところにある O-star, WR-star の clockwise disk から 15 度以内にある。
- これらの星は powerful stellar wind を放出しているであろう。
- これらの wind が衝突した結果、今回の雲が出来たのではないだろうか。

9: conclusion



Observations of emission across electromagnetic spectrum during this post-circularization phase will provide stringent constraints on the physics of BH accretion with unusually good knowledge of the mass available.

a**b**

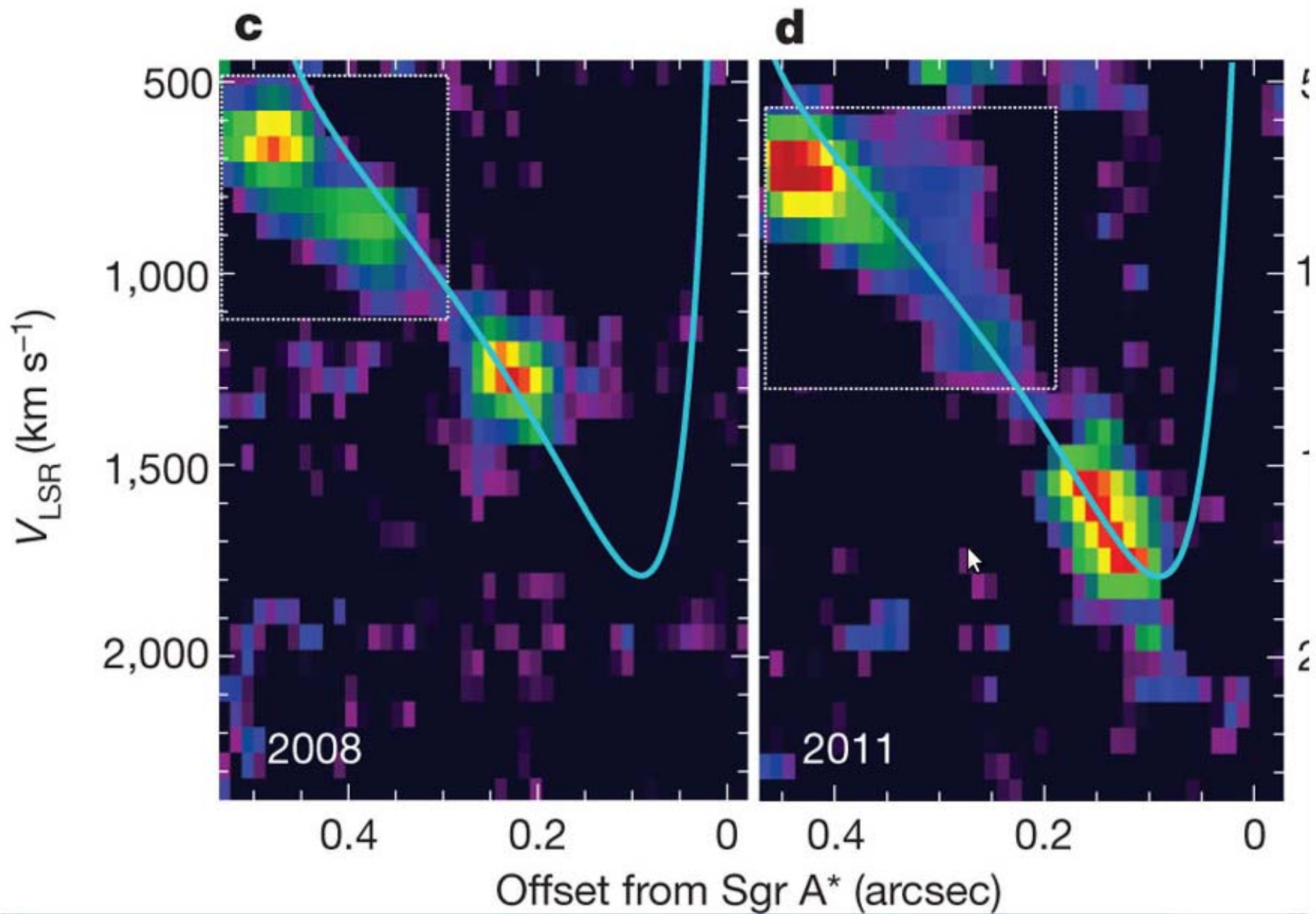


Table 1: Orbit parameters of the infalling cloud

From

A gas cloud on its way towards the supermassive black hole at the Galactic Centre

S. Gillessen, R. Genzel, T. K. Fritz, E. Quataert, C. Alig, A. Burkert, J. Cuadra, F. Eisenhauer, O. Pfuhl, K. Dodds-Eden, C. F. Gammie & T. Ott

Nature **481**, 51–54 (05 January 2012) | doi:10.1038/nature10652



[◀ back to article](#)

Table 1: Orbit parameters of the infalling cloud

Parameters of Keplerian orbit around the $4.31 \times 10^6 M_{\odot}$ black hole at $R_0 = 8.33$ kpc	Best-fitting value
Semi-major axis, a	521 ± 28 mas
Eccentricity, e	0.9384 ± 0.0066
Inclination of ascending node, i	106.55 ± 0.88 deg
Position angle of ascending node, Ω	101.5 ± 1.1 deg
Longitude of pericentre, ω	109.59 ± 0.78 deg
Time of pericentre, t_{peri}	2013.51 ± 0.035
Pericentre distance from black hole, r_{peri}	$4.0 \pm 0.3 \times 10^{15}$ cm = $3,140 R_S$
Orbital period, t_0	137 ± 11 years

[Figures/tables index](#)

期待

- X線域での現象
- 赤外線域での現象
- 電波域での現象 => どんな観測が必要か
- Accretion disk の更なる振動
- Jet の出現
- 数分-数時間での flickering (accretion flow の inhomogeneity 又は instability で)

課題

- 雲の今後は？
- Accretion disk への影響は
- Accretion でどんな事が起こるか
- どんな観測が必要か

質 問

- この雲は、何回も BH の周りを周回していたのか？
- SgrA* への mass accretion rate は？
- X-ray の観測結果は？ => (付録A)
- 電波での観測結果は？ => (付録B)
- Seyfert galaxy 的な emission line は、赤外域で観測されているのか (broad line など) => No
- 接近した時、力の法則や space-time の歪みが Newtonian に比べて、どのように違ってくるのか (General relativity の効果は何？)
=> Newtonian では、角運動量の壁で落下出来ないが、GR では、重力が強くと落下出来る。
- 現在 SgrA* に落下しているガス (地球質量の何万分の1/年) の起源は？