宇宙線研H26年度共同利用研究

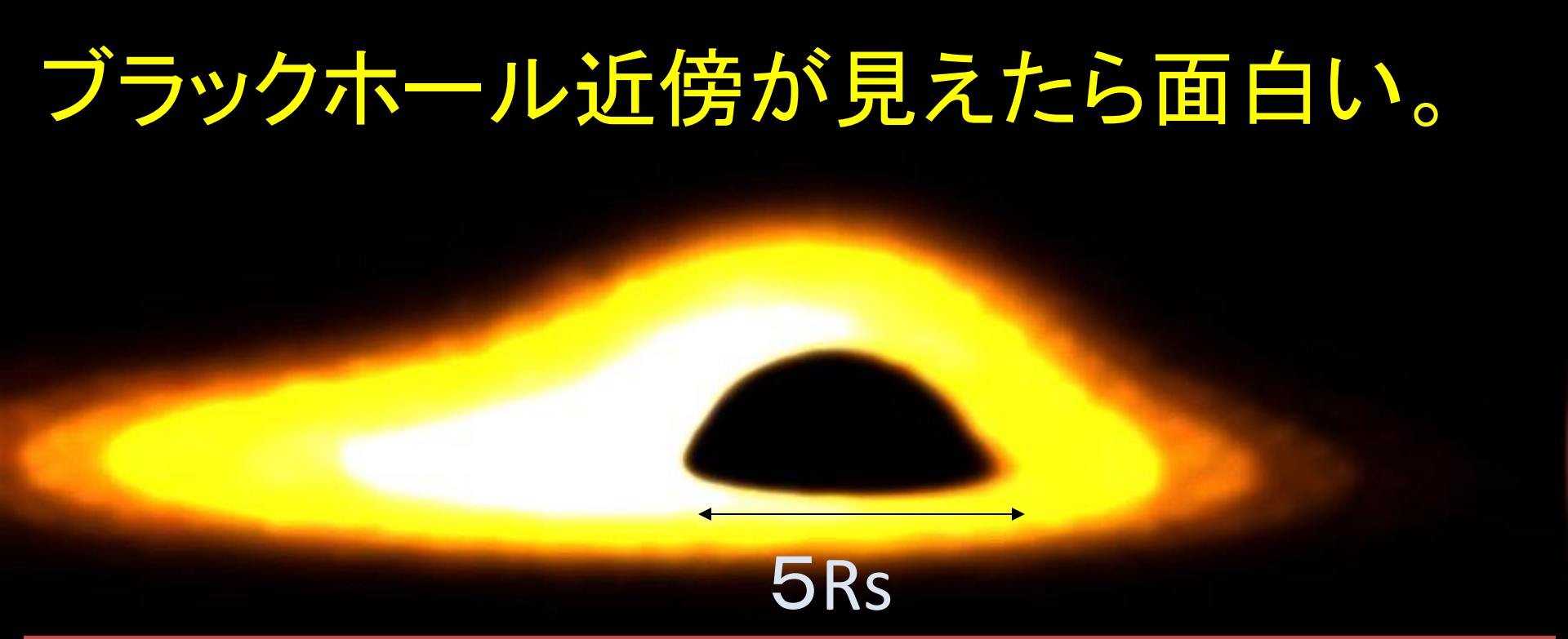
銀河系中心SgrA*の
大質量ブラックホール撮像にむけて

三好　真 (国立天文台),西尾正則 (鹿児島大), 高遠徳尚 (国立天文台) , 坪井昌人（宇宙研）、春日隆（法政大）、岡朋治(慶應大), 朝木義晴 (宇宙研) , ホセ・イシツカ、根本しおみ(IGP=ペルー地球物理観測所),垣本史雄 , 常定芳基 (東工大), 手嶋政廣 , 寺澤敏夫 (東大), 高橋真聡 (愛教大), 松原豊, ディエゴ・ロペス (名大)

チャカルタヤ宇宙線観測所に於いて、大気水蒸気量の測定を行う。
実施は2015年2月中旬の予定。
研究費は渡航費として使わせて頂きます。

2013年春日本天文学会予稿から

ブラックホール近傍が見えたら面白い。



ブラックホールは見えないが、その重力による光の屈折によって、中心部分に暗がりができる。またブラックホールの周囲の円盤（＝ブラックホールに落ちてきた物質が作る）はドップラー効果で左右の明るさが変わる上、光の屈折（重力レンズ効果）のため、向こう側の円盤部分がせり上がって、見えてしまう重力による蜃気楼で向こう側が浮き上がって見える！
http://quasar.cc.osaka-kyoiku.ac.jp/~fukue/より。

「きゃらばん・サブミリ」、アンデス高地のサブミリ波VLBI網

ワンカヨ32m鏡

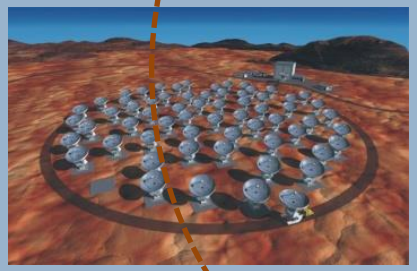
＊南半球は銀河中心がよく見える。
＊高地は大気水蒸気が少ない。

ペルー
ワンカヨ
3300m

1000km

＊1000～2000km基線が撮像には重要

ボリビア・ラパス近郊5300m
世界最高所のスキー場、宇宙線研究所
チャカルタヤ



ALMA

ALMA

LLAMA12m 4600m

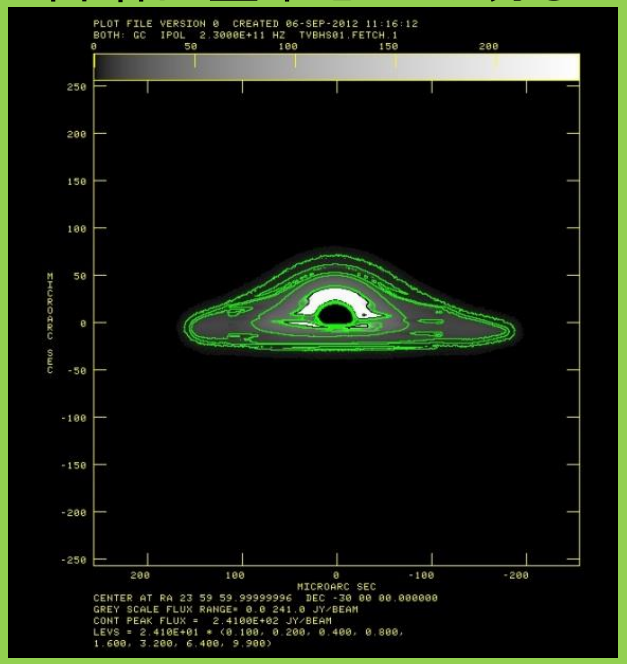
旧SEST15m
2400m

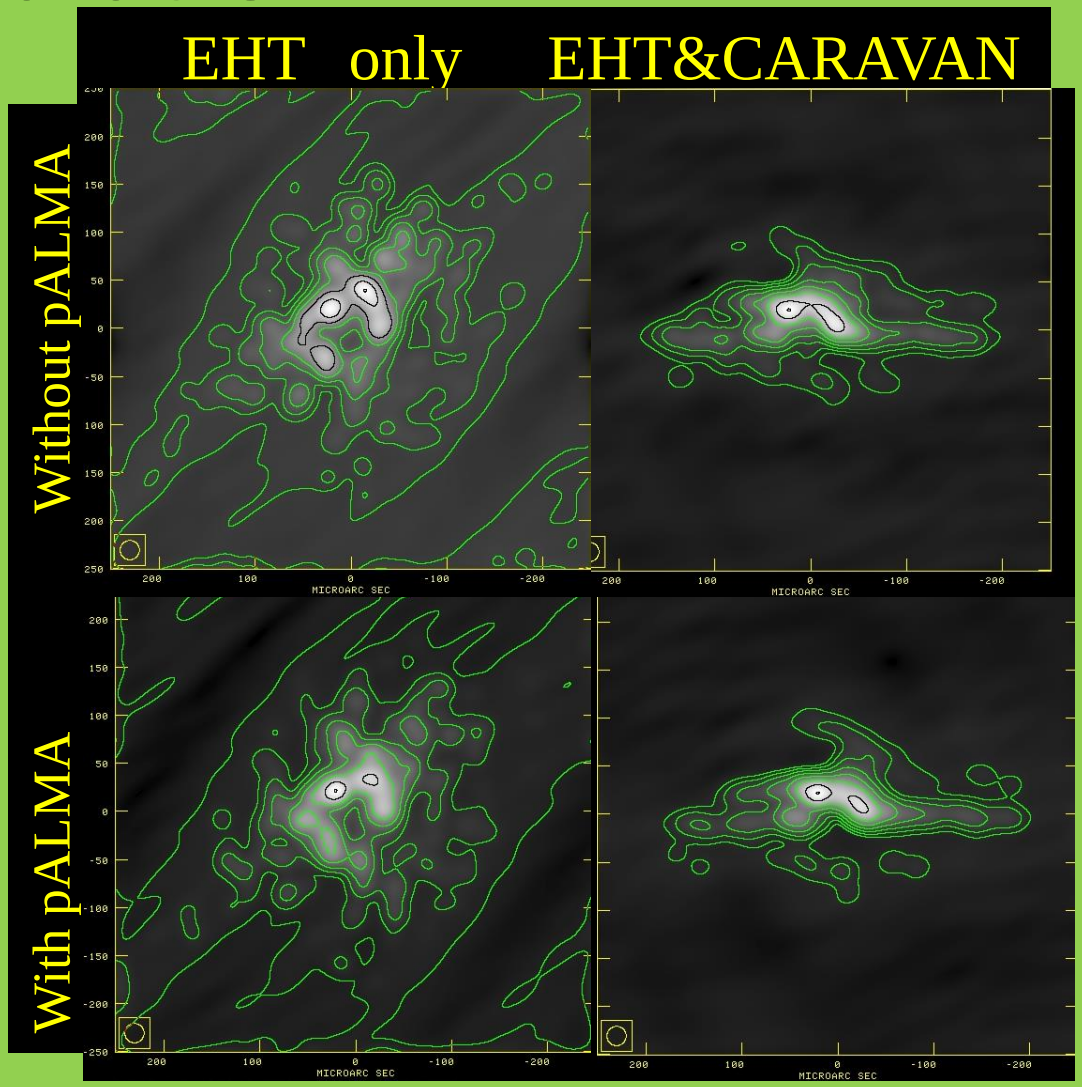
＊きゃらばん移動局が様々なuvをサンプルする。

6. 撮像性能 simulation

Phased ALMA・CARAVANの
有無で撮像性能を比較

像モデル：2Jy、SgrA*
降着円盤中心のみ明るい

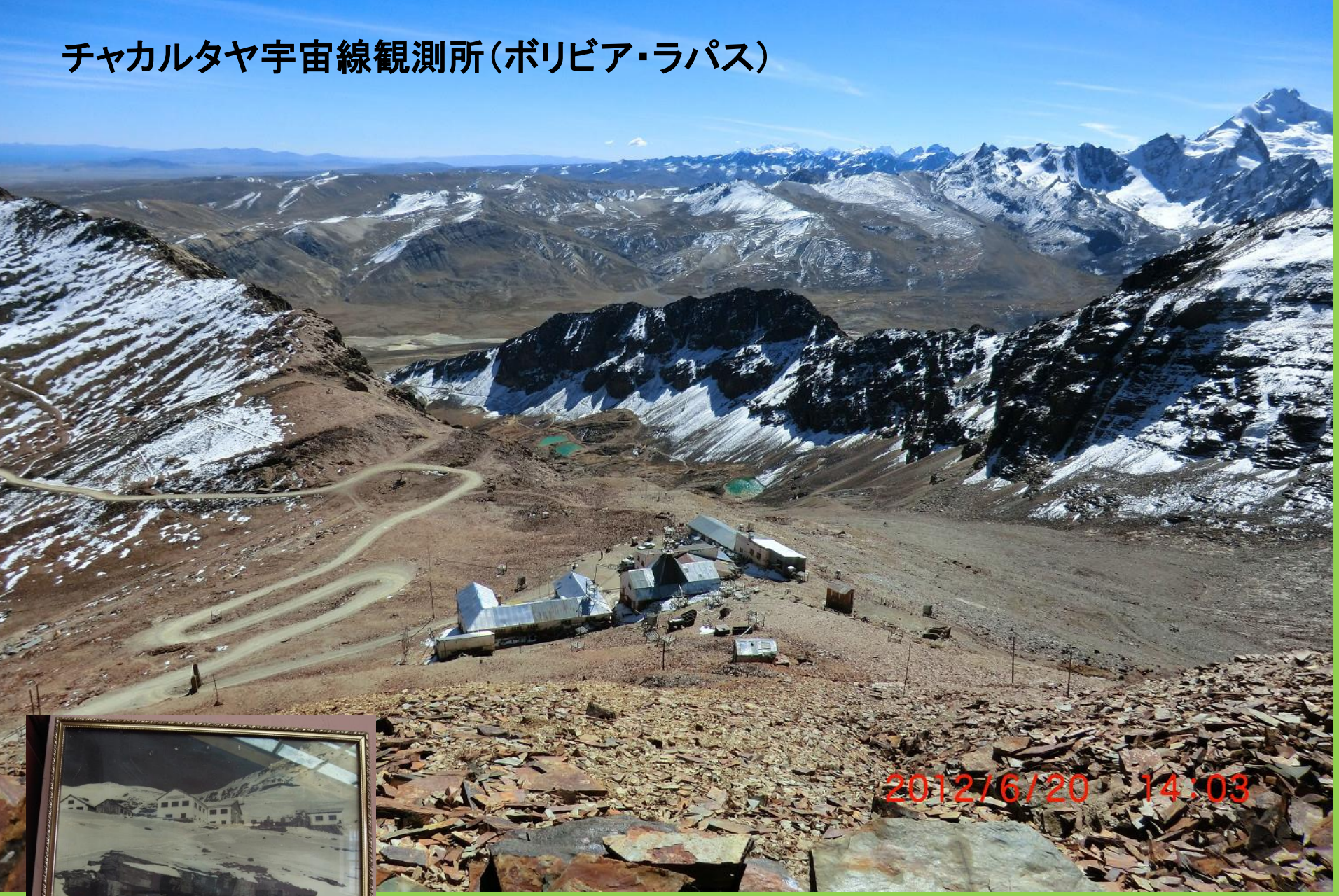




U-V面を埋めることが重要。

- EHT（超長基線、7局）では、偽のシャドーが見える。全体構造は把握できない。
- CARAVAN(短基線、13地点移動）が参加すれば、降着円盤全体を把握できる。
- SgrA*程度の明るい天体の撮像ではPhased ALMAの集光力はなくてもよい。

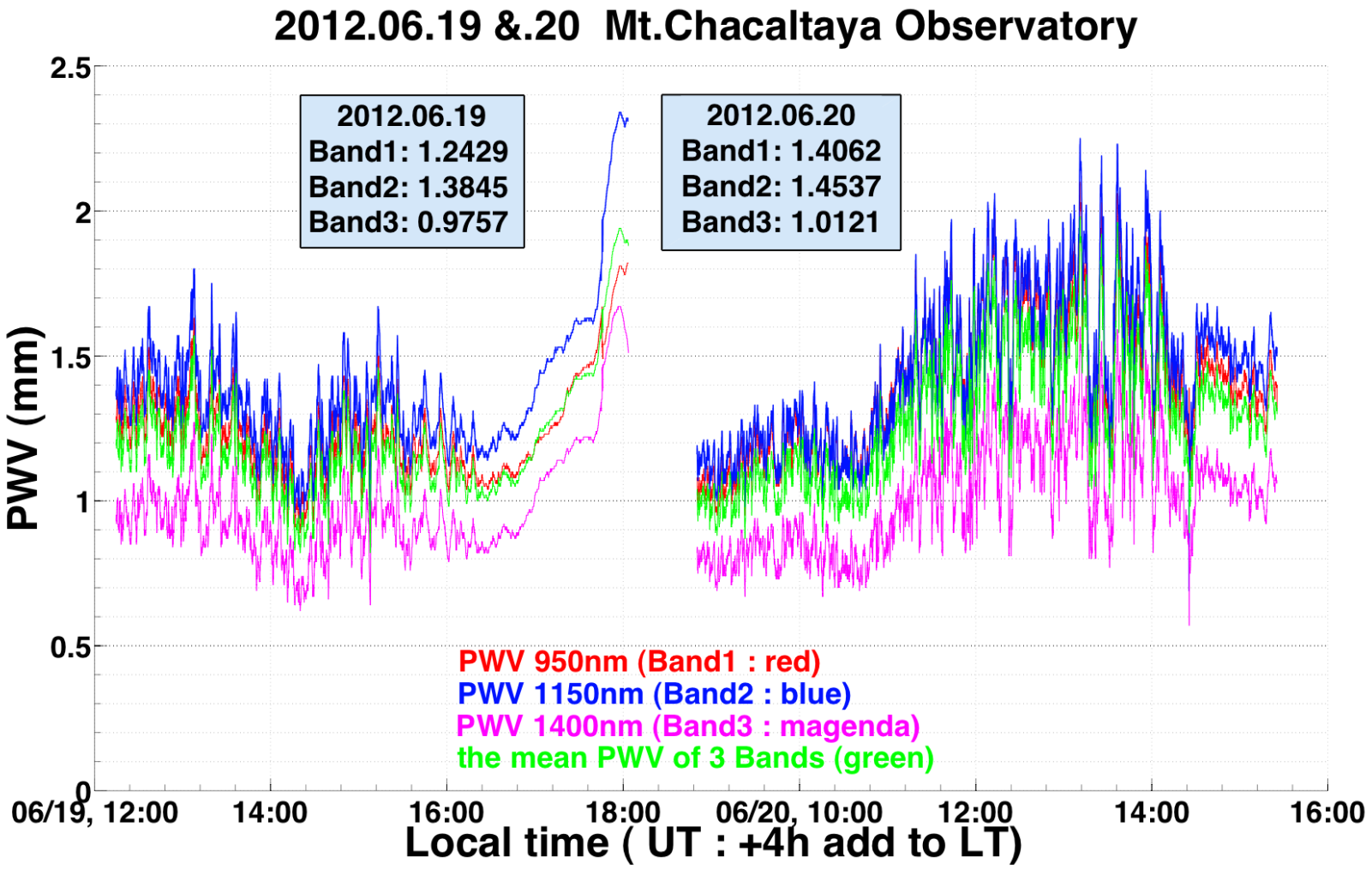
チャカルタヤ宇宙線観測所（ボリビア・ラパス）



電波望遠鏡の設置が可能なだけの余裕あり。

- 解析結果（ボリビア）-

✸ 3. Chacaltaya観測所（5200m, 6/19&/20)



我々の銀河系中心ブラックホールSgrA*

＊最も近距離にある（8kpc）大質量ブラックホール

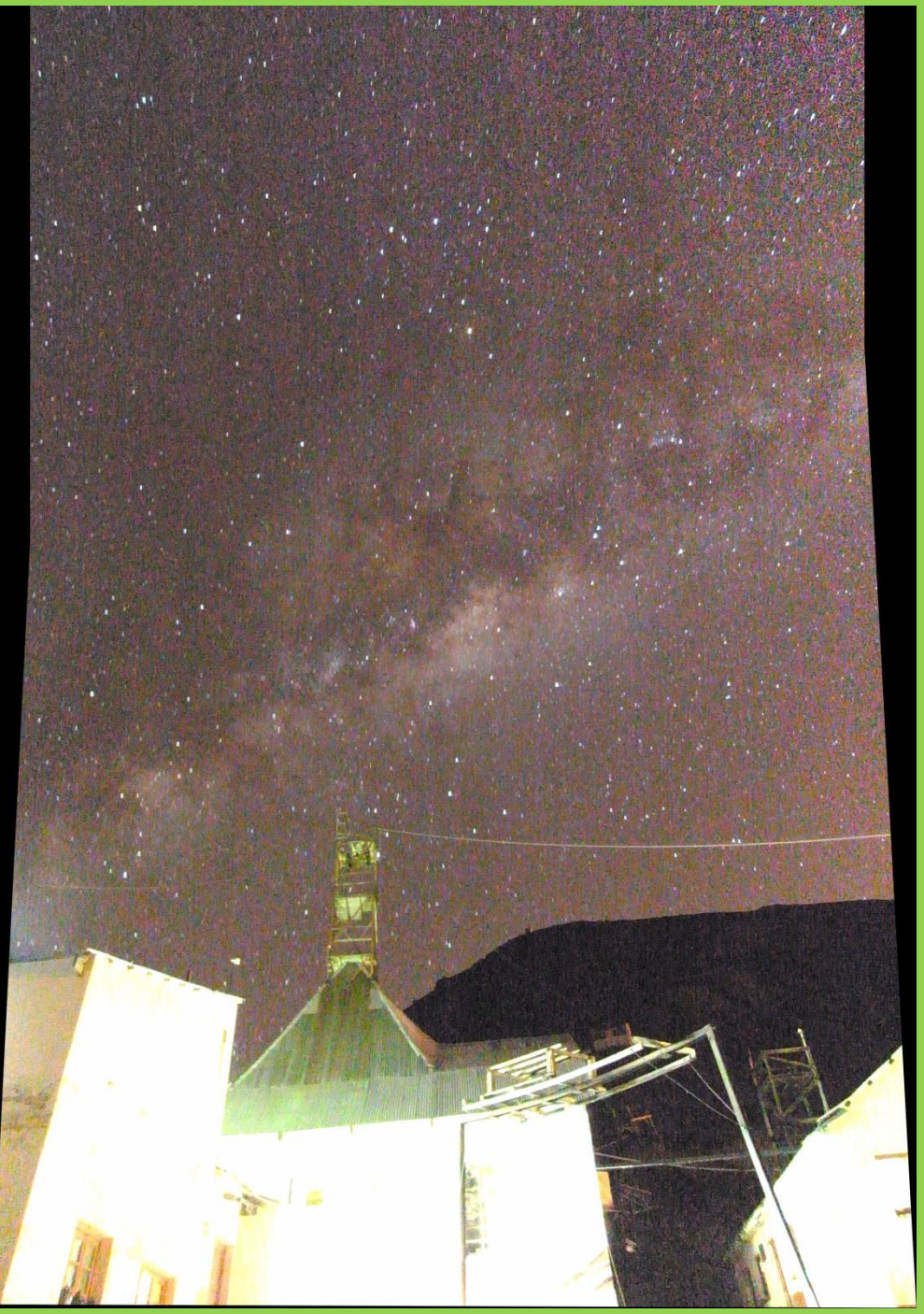
→周辺環境について、良く観測ができる。

例１）周辺で軌道運動する恒星（BH質量の測定）

例２）接近するG2ガス雲(2014年3月最接近）

→最も見かけが大きく見えるブラックホールである。

ブラックホール降着円盤の観測、強い重力場での一般相対論的現象の観測（BHシャドーなど）を期待できる。“共同利用研究“では観測サイト調査を。



銀河系中心SgrA*の大質量ブラックホール撮像にむけて

来春2月にチャカルタヤ観測所及び、近隣地域（ペルー・ボリビアアンデス）での大気水蒸気量の測定を実施します。

我々の銀河系中心ブラックホールSgrA*

＊最も近距離にある（8kpc）大質量ブラックホール

→周辺環境について、良く観測ができる。

例１）周辺で軌道運動する恒星（BH質量の測定）

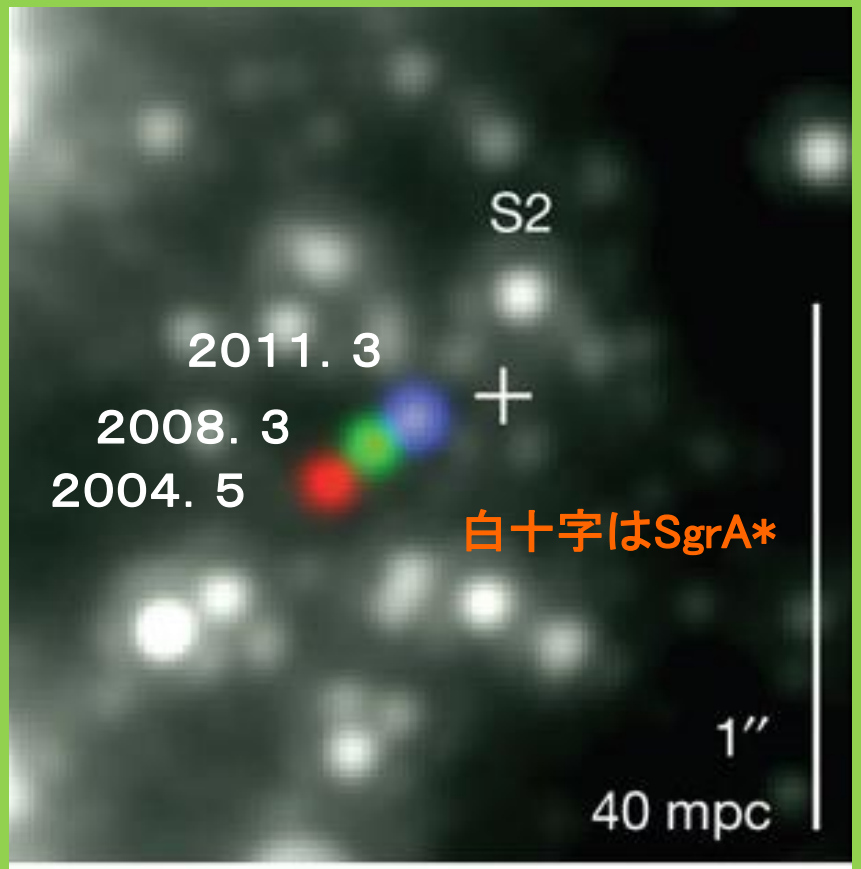
例２）**接近するG2ガス雲(2014年3月最接近）**

→最も見かけが大きく見えるブラックホールである。

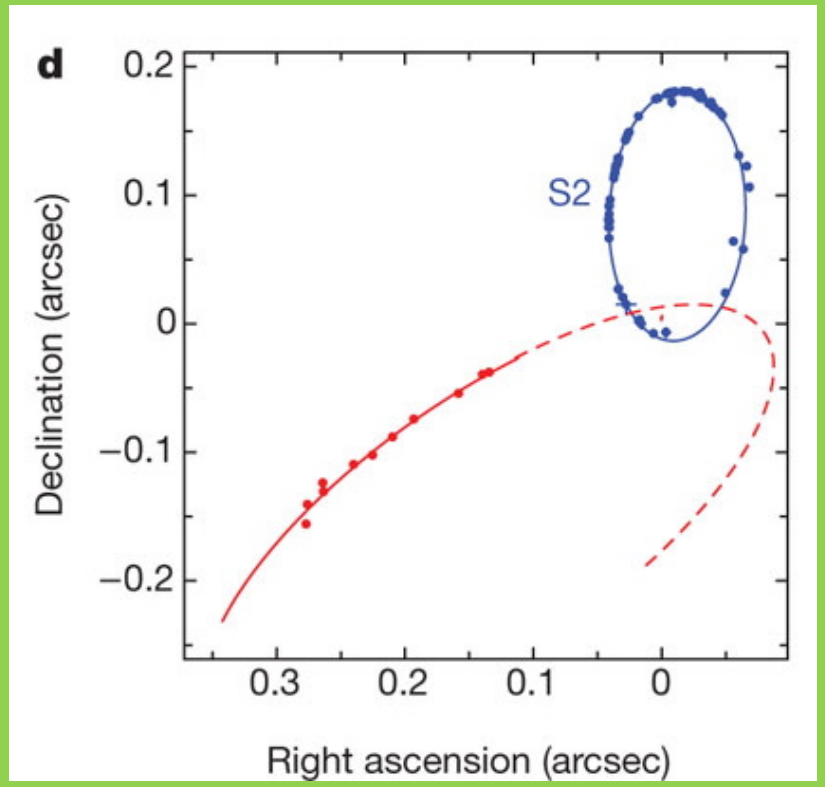
ブラックホール降着円盤の観測、強い重力場での一般相対論的現象の観測（BHシャドーなど）を期待できる。

銀河系中心の大質量ブラックホール(SMBH)であるSgrA*へ落下するガス雲が近赤外線観測で発見され、2012年1月「Nature」に掲載された(Gillessen et al. Nature 2012, 418, 51—独のGenzelらのグループ)

- 銀河系中心Sgr A*の周囲をVLT を使った赤外線観測を10年以上続けた結果、中心に向かって移動するガス雲が見つかった。(3.76ミクロン)
- 赤外線Brγ線の撮像観測ー2014年3月(DOY=77または91)には近心点約2000Rsまで接近すると推定される。

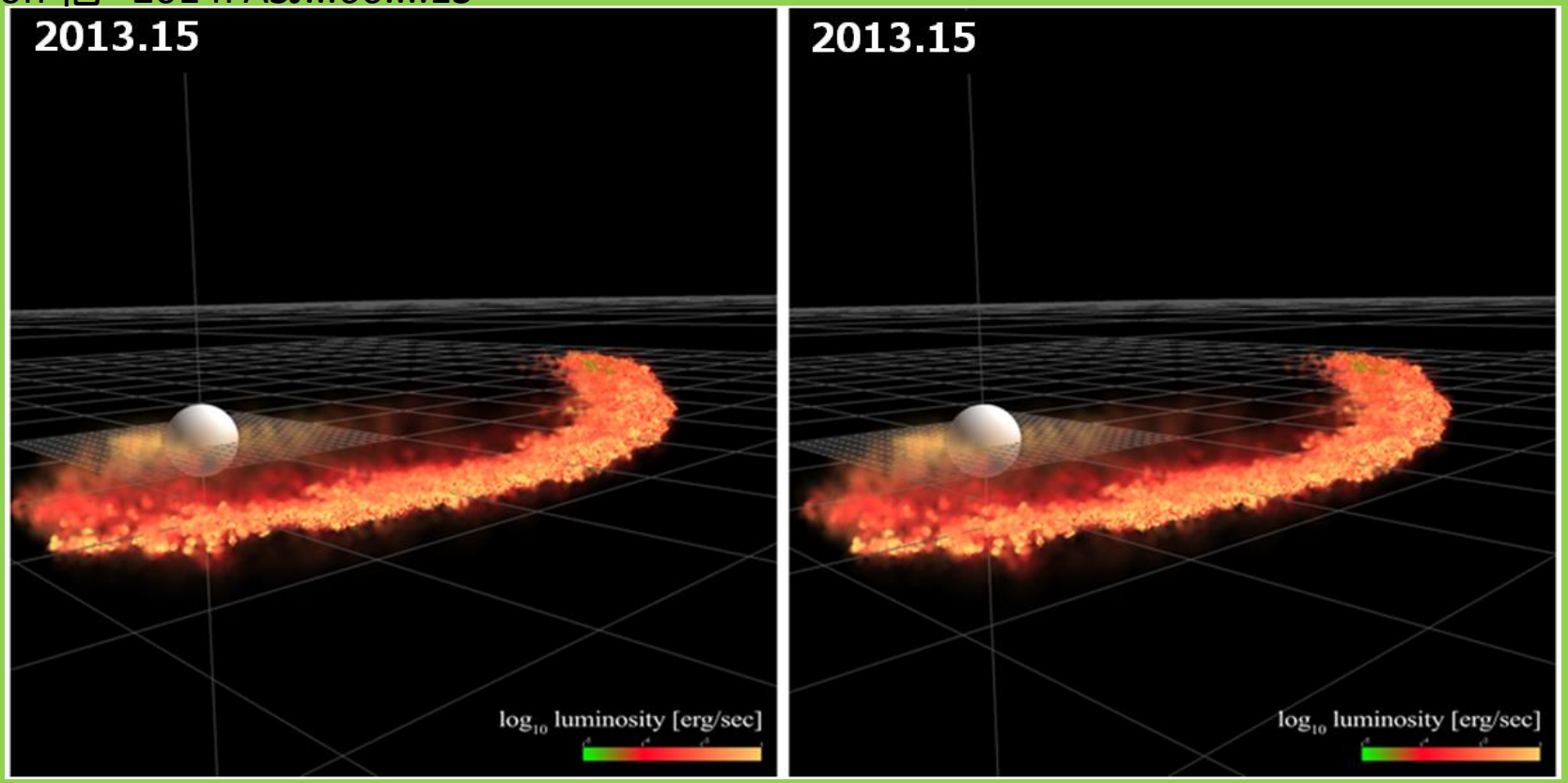


(Gillessen et al. Nature 2012, 418, 51)



Saitoh　3D　N-body　simulation
「2012年暮れから、先行するガスがSgrA*に落ちていくはず」

Saitoh 他　2014PASJ...66....1S



ガス雲「G2」が超巨大ブラックホールSgr A*（白球）の強力な重力の影響で引き延ばされ、薄く潰されながら近傍を通過する。このときガス雲の輝きが急激に増す。この図は交差法による立体可視化可能にしたもの。クレジット：斎藤貴之（シミュレーション）、武田隆顕（可視化

22GHz VLBIモニター

- 22GHzで2013年２月よりSgrA*のVLBIモニターを実施している。
- 水沢 10-m RT, 高萩/日立 32-m RT, 岐阜 11-m RTのJVNのアンテナを用いているが、条件が許せば鹿島34mRT、筑波32mRTが参加している。相関局は宇宙研である。
- これらのアンテナによる基線は90-140 kmになりSgrA*を周辺の広がった成分から分離しながらresolved outせずに正確な測光観測が出来る。

岐阜大11m鏡

国立天文台/茨城大
高萩32m鏡

国立天文台
水沢 10m鏡

NICT 鹿嶋34m鏡

国土地理院/筑波大32m鏡

条件がゆるせば参加している。

No Microwave Flare of Sagittarius A* around the G2 Periastron Passing

ApJL in press

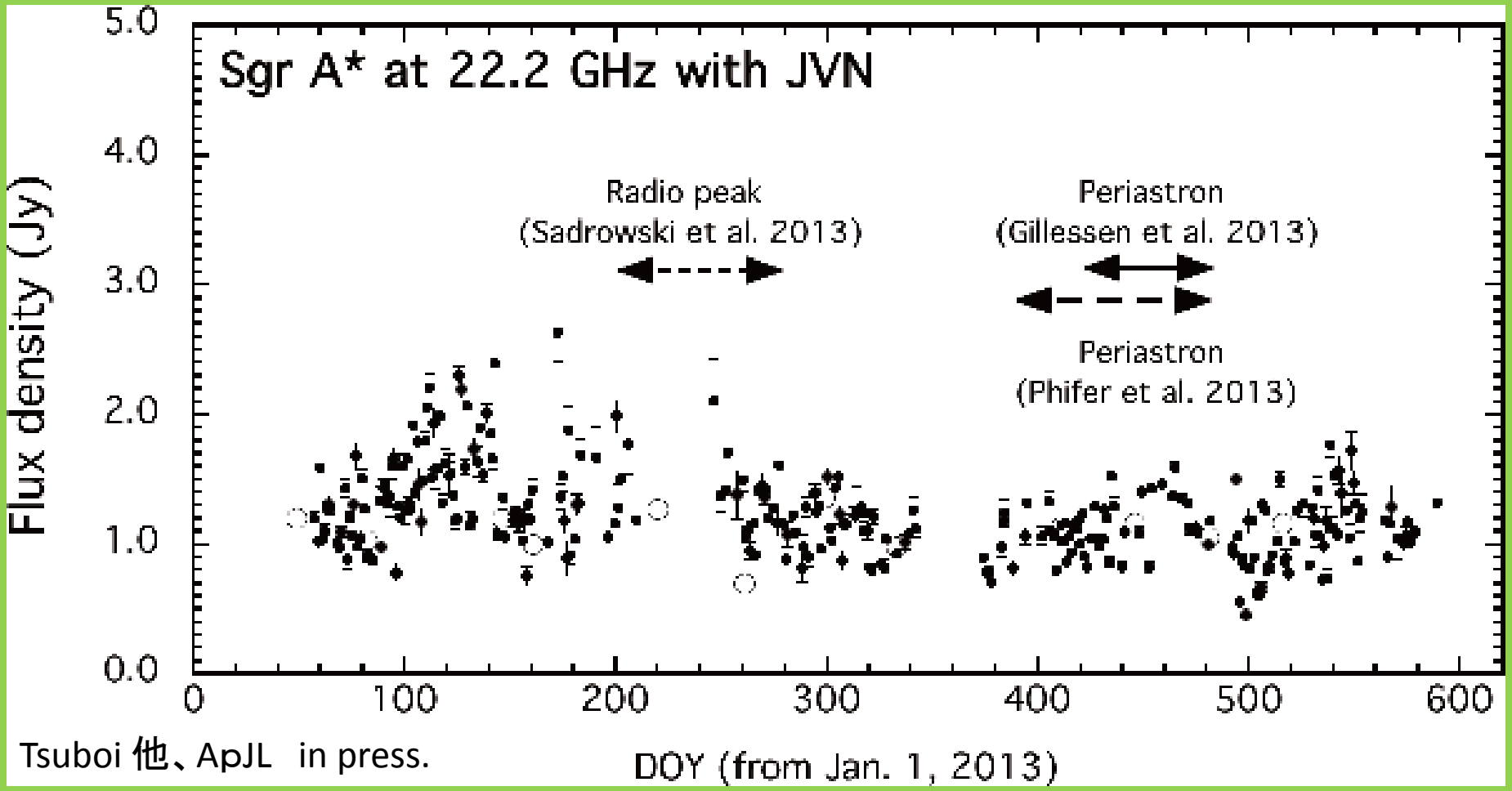
Masato Tsuboi, Yoshiharu Asaki, Osamu Kameya, Yoshinori Yonekura, Yusuke Miyamoto, Hiroyuki Kaneko, Masumichi Seta, Naomasa Nakai, Hiroshi Takaba, Ken-ichi Wakamatsu, Makoto Miyoshi, Yoshihiro Fukuzaki, Kenta Uehara, Mamoru Sekido

(Submitted on 4 Nov 2014)

In order to explore any change caused by the G2 cloud approaching, we have monitored the flux density of Sgr A* at 22 GHz from Feb. 2013 to Aug. 2014 with a sub-array of Japanese VLBI Network . The observation period included the expected periastron dates. The number of observation epochs was 283 days. We have observed no significant microwave enhancement of Sgr A* in the whole observation period. The average flux density in the period is $S = 1.23 + / - 0.33$ Jy. The average is consistent with the usually observed flux density range of Sgr A* at 22 GHz.

Comments: Accepted for publication in Astrophysical Journal Letters, 14 pages, 1 figure
Subjects: **Astrophysics of Galaxies (astro-ph.GA)**; High Energy Astrophysical Phenomena (astro-ph.HE)
Cite as: arXiv:1411.0746 [astro-ph.GA]
(or arXiv:1411.0746v1 [astro-ph.GA] for this version)

Sgr A*の電波強度は平常と変わらず

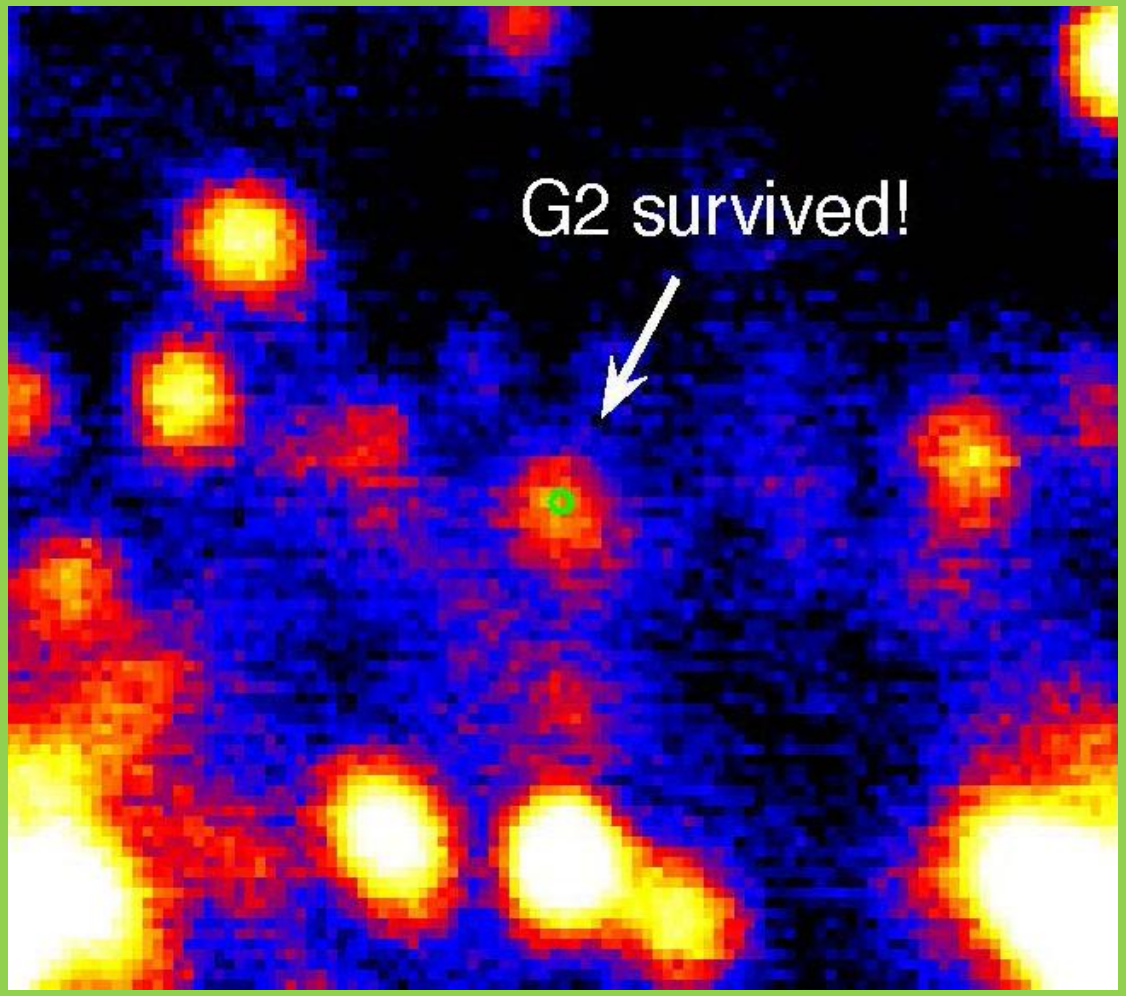


Tsuboi 他、ApJL in press.

電波のみならず全波長で、SgrA*の強度変化には特段の変化なし

近赤外によるG2観測結果（Ghezら）

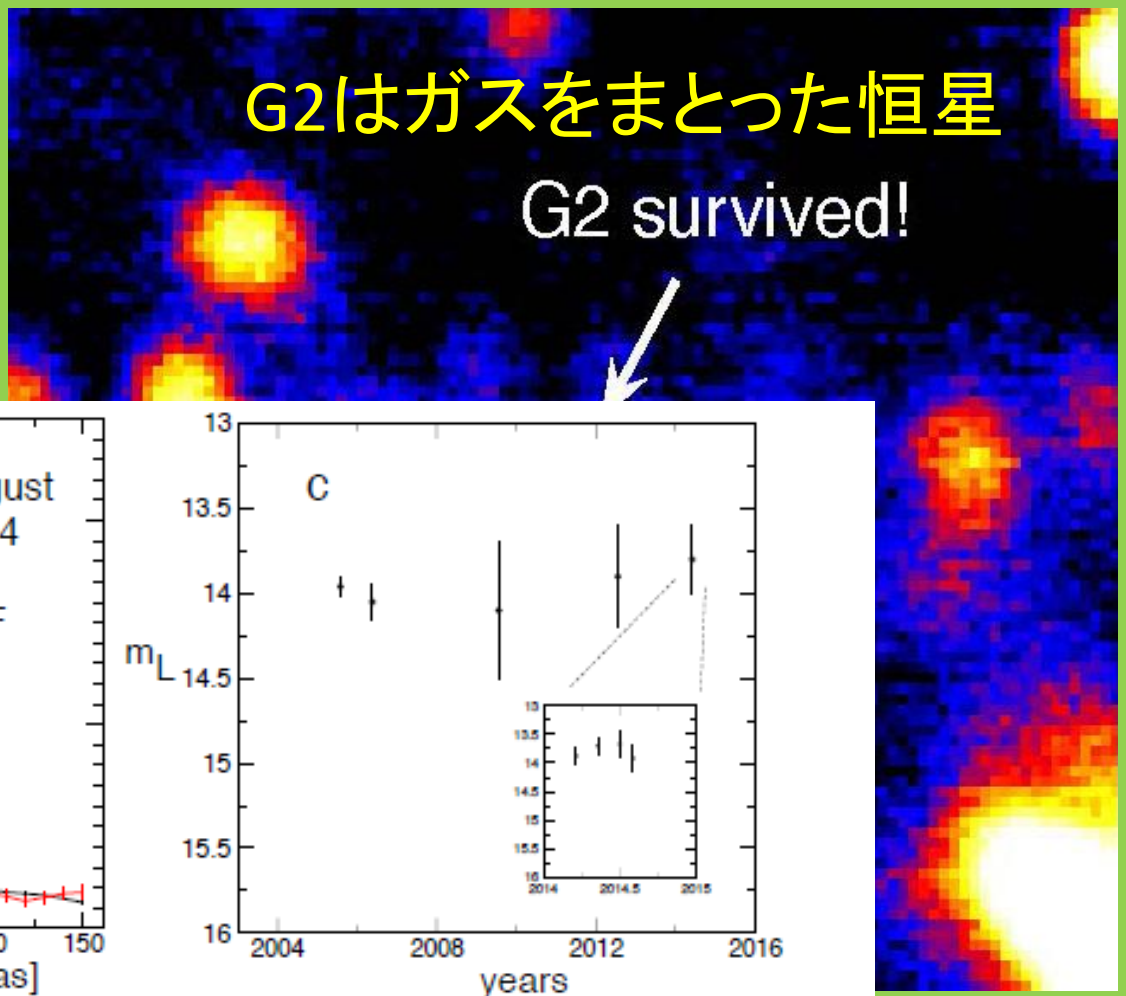
Ghez（UCLA)らの観測では、近点通過後のG2も、以前と同様に点源（＝潮汐力による変形を受けていない）として観測された。



Witzel/UCLA Galactic Center Group/W. M. Keck Observatory
ApJL, 796:L8 (6pp), 2014 November 20

近赤外によるG2観測結果（Ghezら）

Ghez（UCLA)らの観測では、近点通過後のG2も、以前と同様に点源（＝潮汐力による変形を受けていない）として観測された。



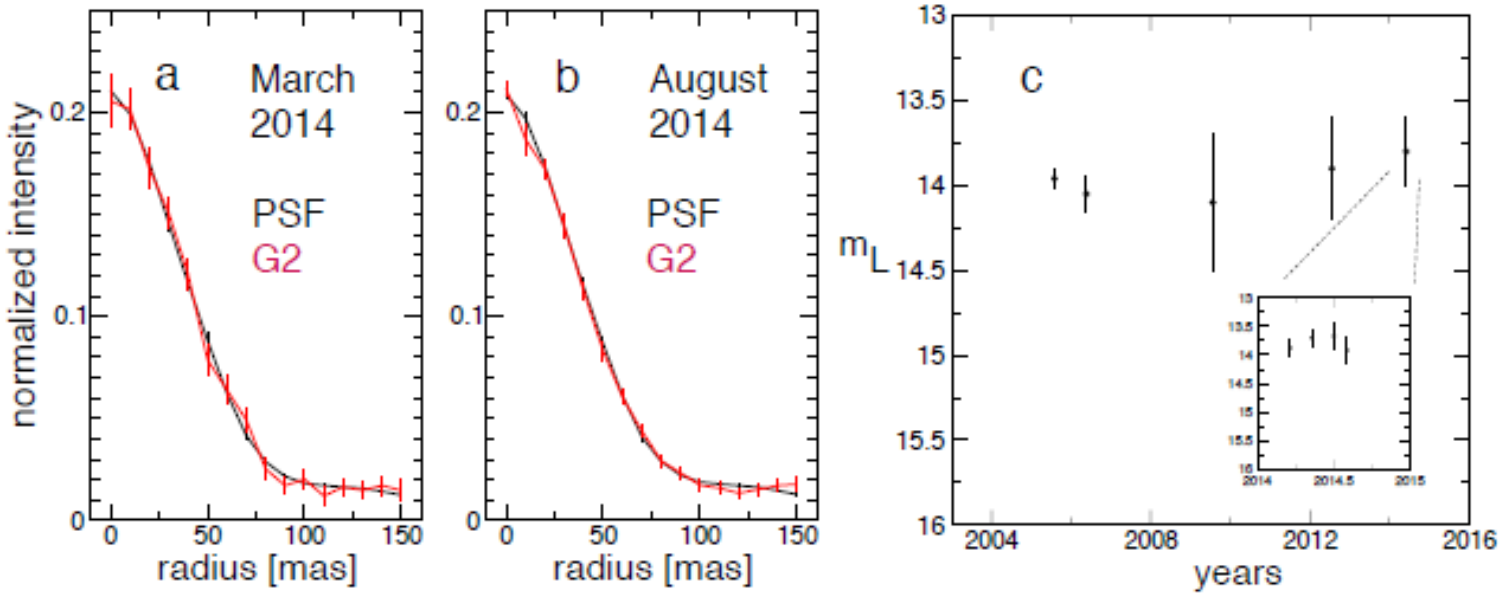
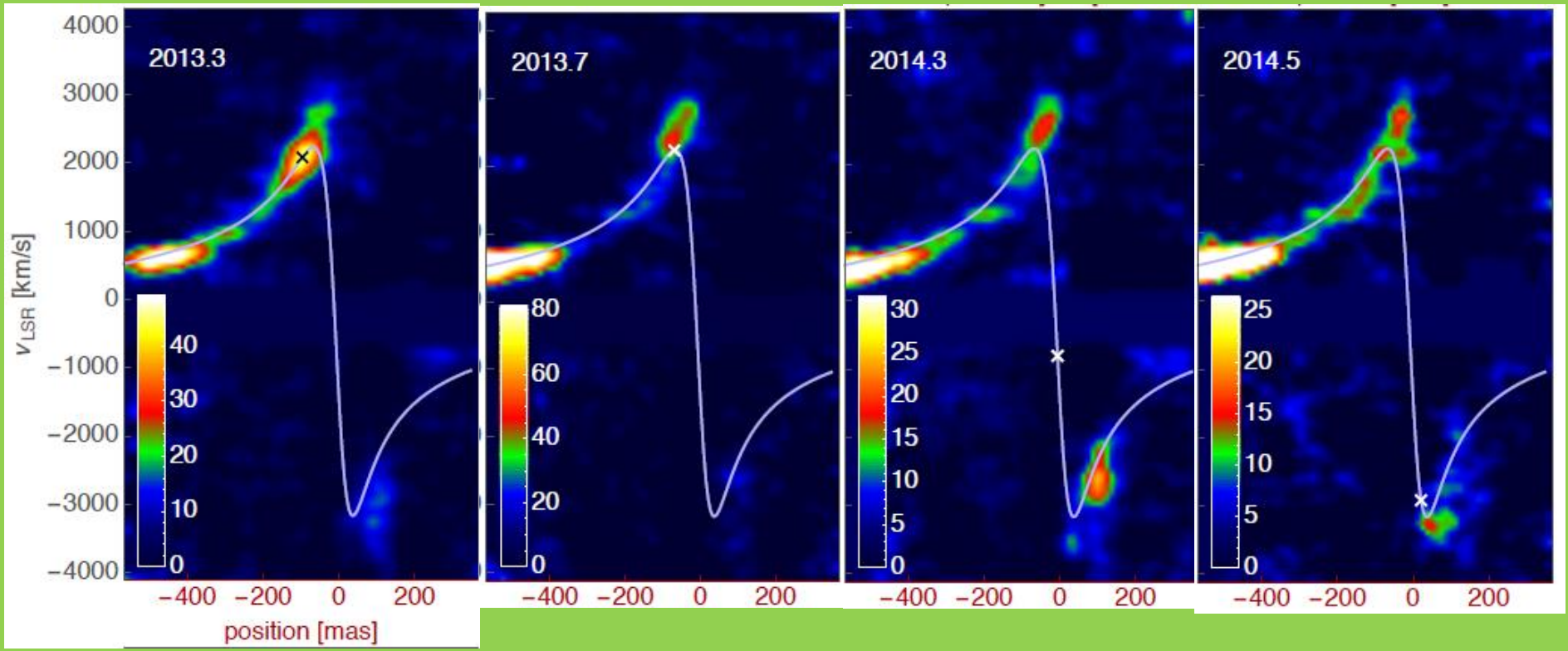


FIG. 2.— Fig a,b: Radial plots of G2 and the PSF, shown for the high quality 2014 March and August datasets. In the March epoch Sgr A* was at its minimum flux of the four datasets presented in this work and, therefore, this radial plot has the smallest systematic uncertainty due to the subtraction process of Sgr A*. The error bars represent the binning statistics. G2 is fully consistent with a point source. Fig. c: Photometry of G2 over the last 9 years. The inset depicts the individual measurements in 2014.

Witzel/UCLA Galactic Center Group/W. M. Keck Observatory
ApJL, 796:L8 (6pp), 2014 November 20

近赤外によるG2観測結果（Genzelら）

Genzel（MPI)らの観測では、近点通過後、G2が潮汐力で延びた観測結果を提示。（↓　位置vs視線速度の図）



Pfuhl et al. 2014　http://ads.nao.ac.jp/abs/2014arXiv1407.4354P

近赤外によるG2観測結果（Genzelら）

さらに12年先行しているG1天体を同定。ガスのストリームがG2軌道にあるとした。

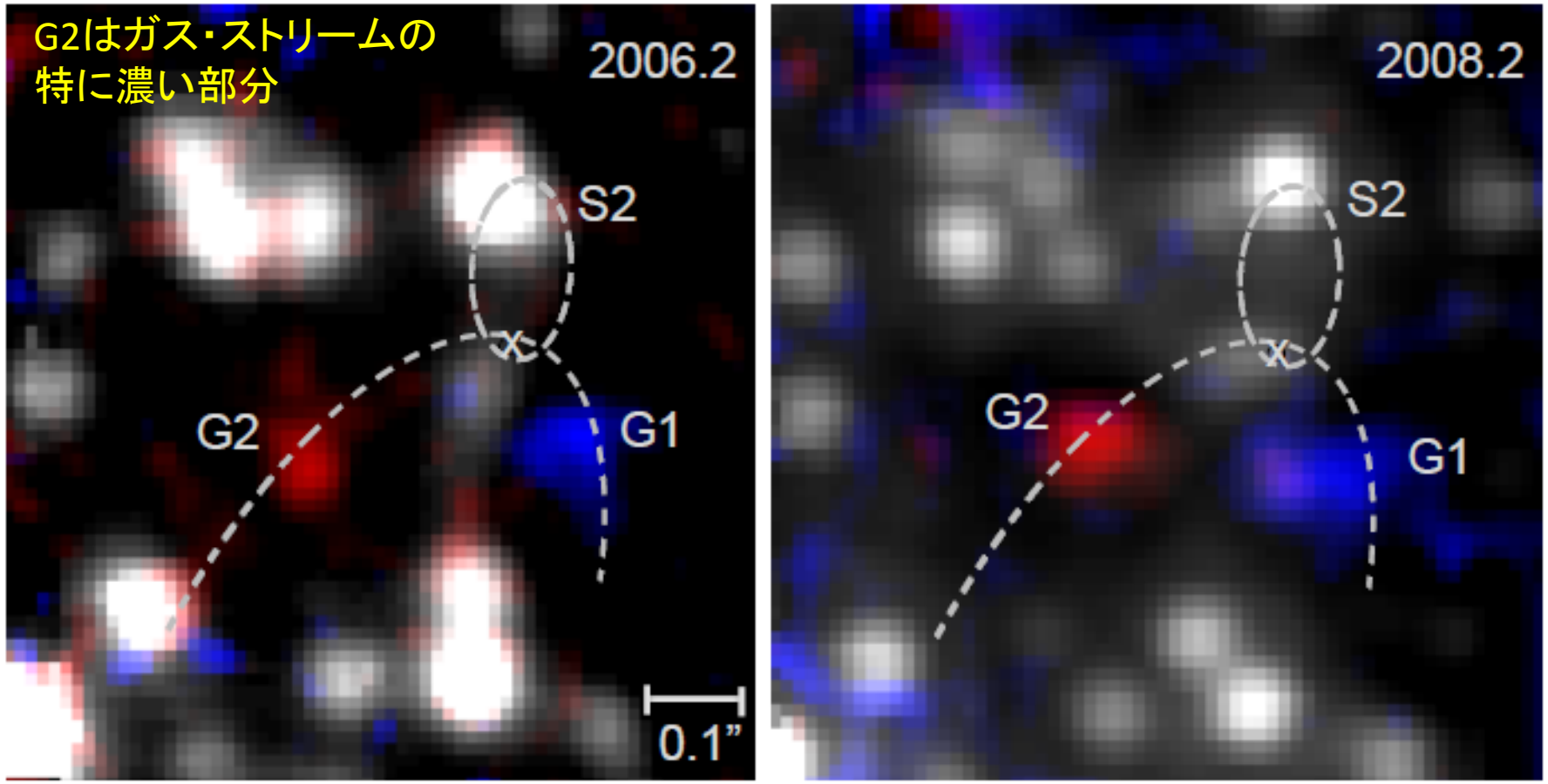


Figure 6: Color composites from our 2006 and 2008 data sets. The red channel is centered on the velocity of the Brackett-γ line peak of G2; the blue channel on the one of G1. The gray-scale background image is the continuum emission, showing the S-stars. The orbits of G2 and the star S2 are shown as dashed lines, and the position of Sgr A* is marked with a cross.

Saitoh　3D　N-body　simulation

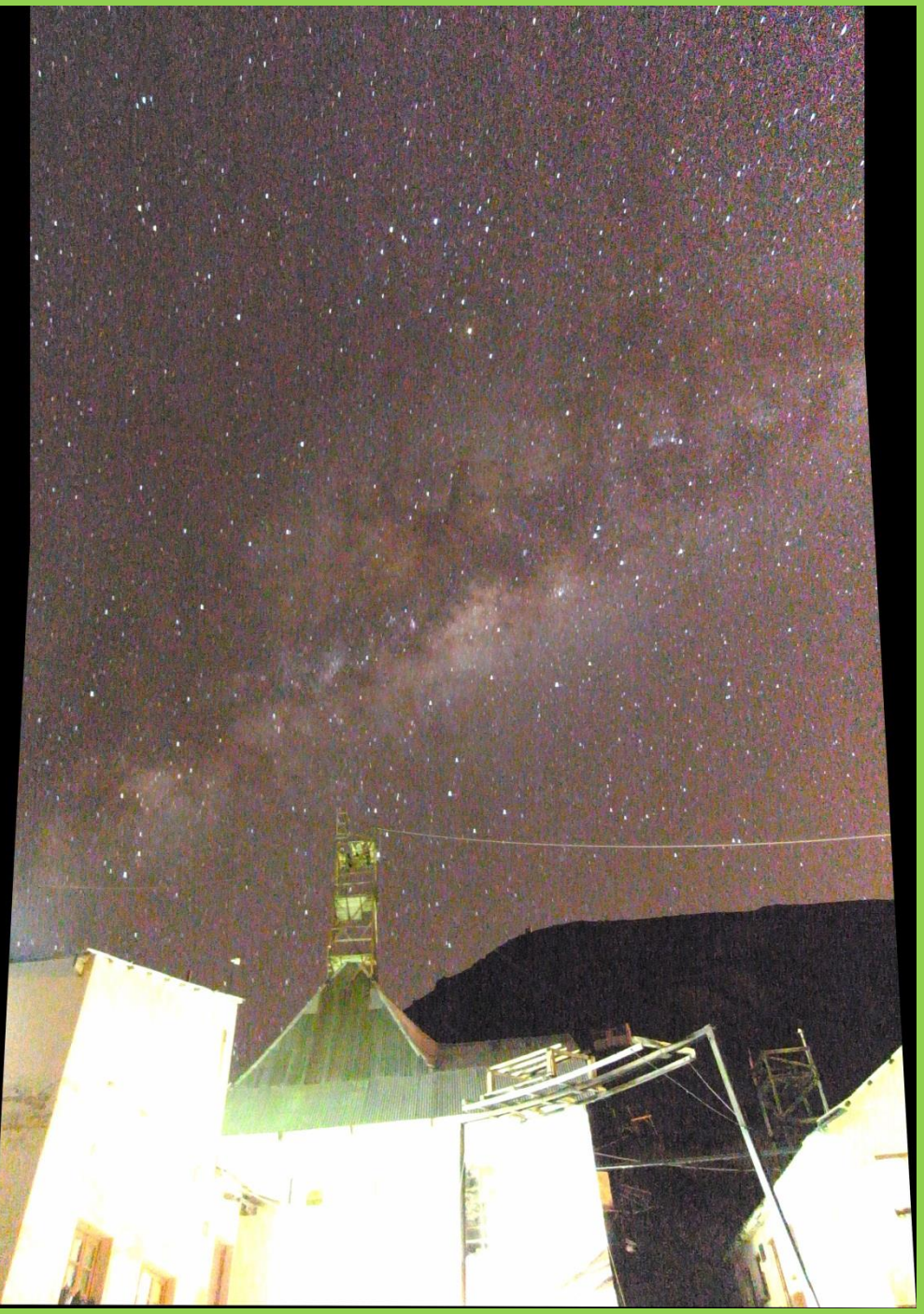
「G2ガス雲自体が100L太陽程度に輝くはず」

Saitoh 他　2014PASJ...66....1S

ところが、どちらの赤外線観測結果ともG2の明るさは2倍程度しか変わっていない。

ガスだと主張するGenzelらはSaitoh論文を引用せず。

ガス雲「G2」が超巨大ブラックホールSgr A*（白球）の強力な重力の影響で引き延ばされ、薄く潰されながら近傍を通過する。このときガス雲の輝きが急激に増す。この図は交差法による立体可視化可能にしたもの。クレジット：斎藤貴之（シミュレーション）、武田隆顕（可視化



銀河系中心SgrA*の大質量ブラックホール撮像にむけて

来春2月にチャカルタヤ観測所及び、近隣地域（ペルー・ボリビアアンデス）での大気水蒸気量の測定を実施します。