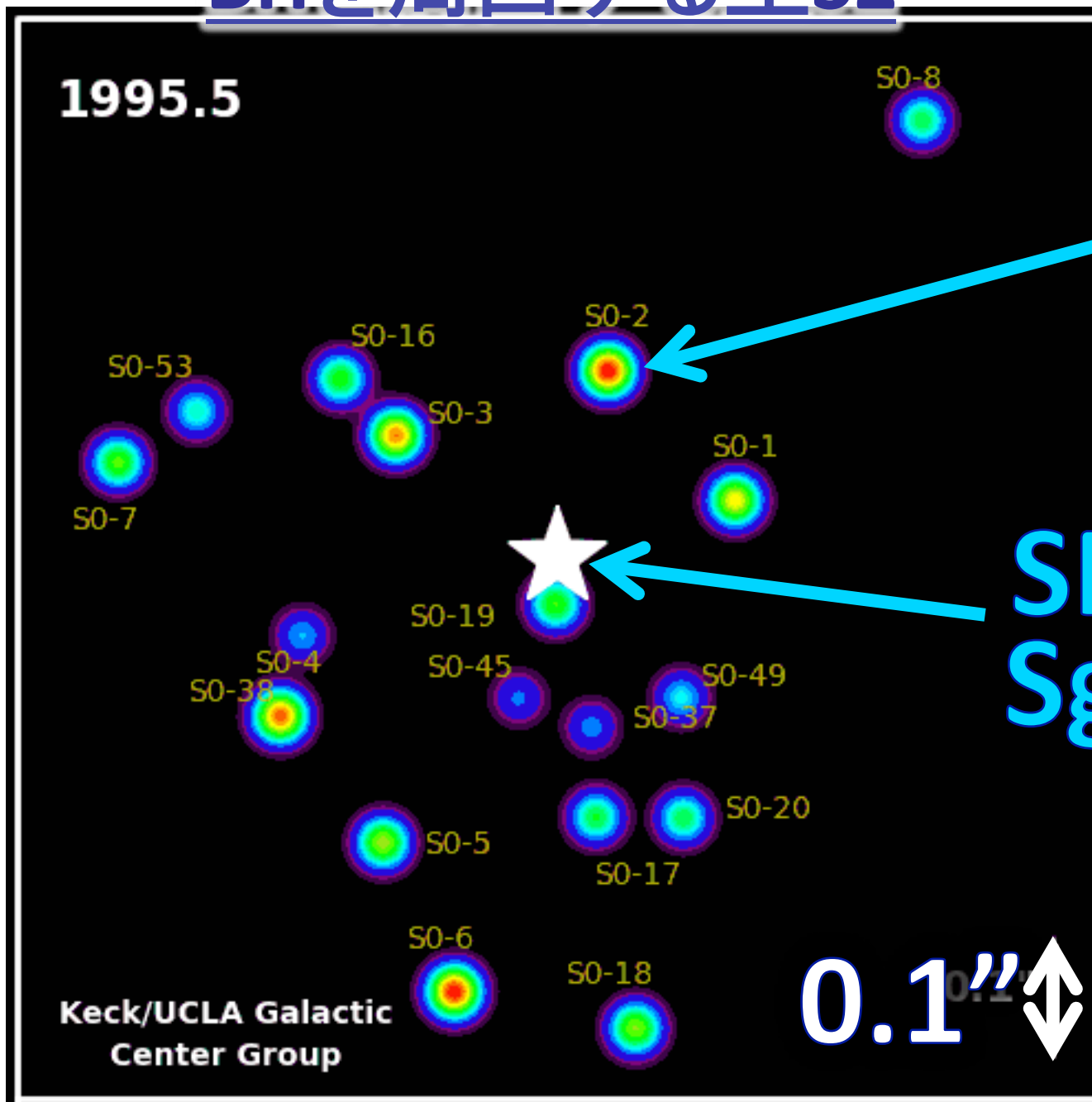


# BHを周回する星S2

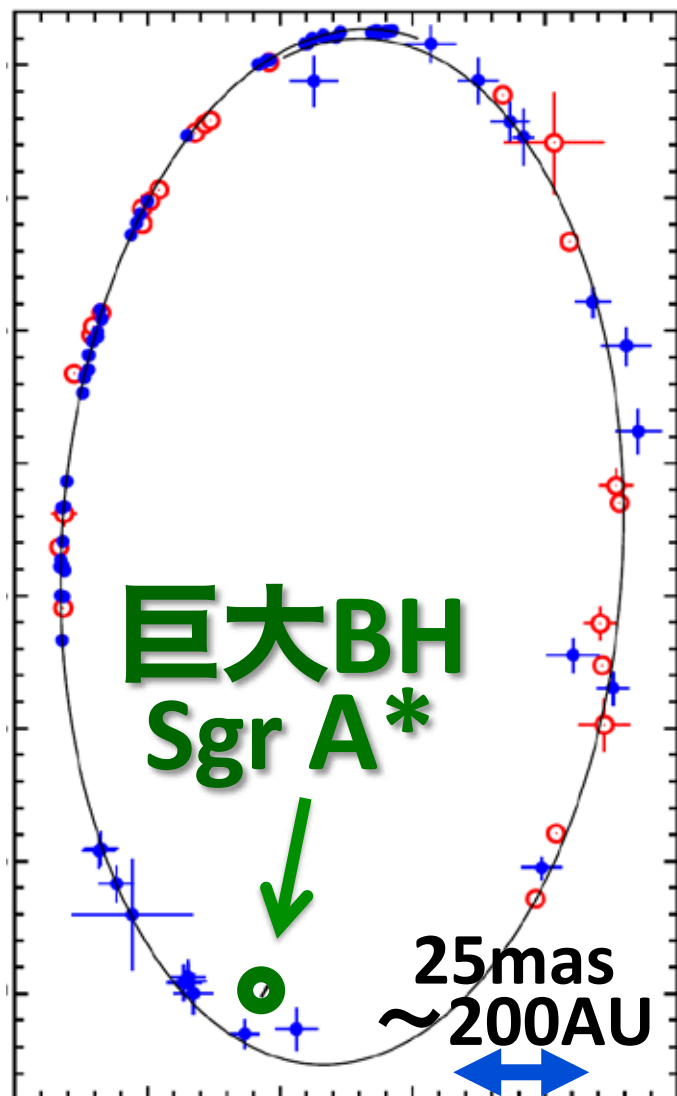


S2

SMBH  
Sgr A\*

# BHを周回する星S2

## S2の軌道



## S2

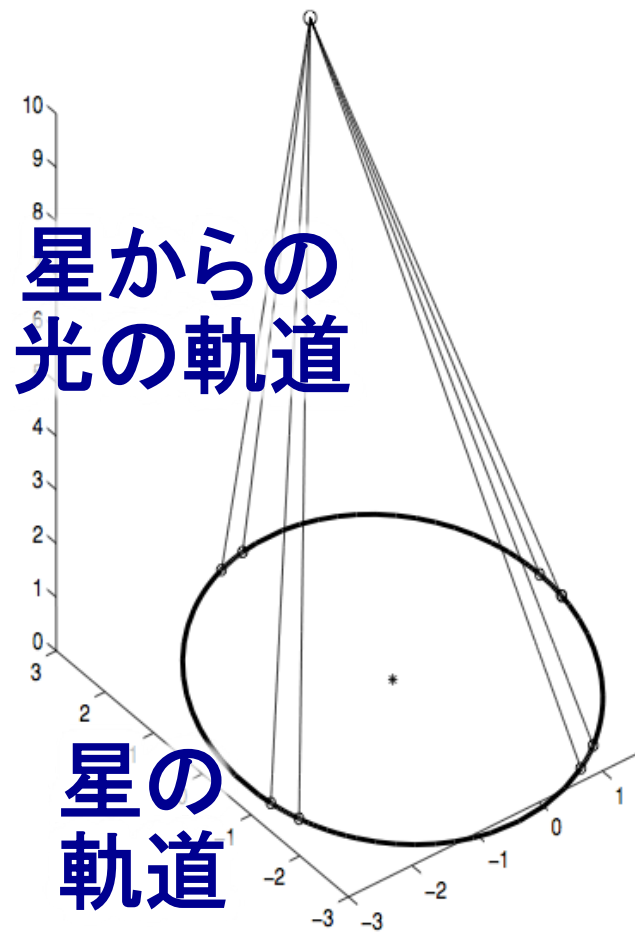
- BH公転周期：16年
- 次回の最接近：2018年
- 近BH点距離：120AU

# BHによる一般相対論効果の検出

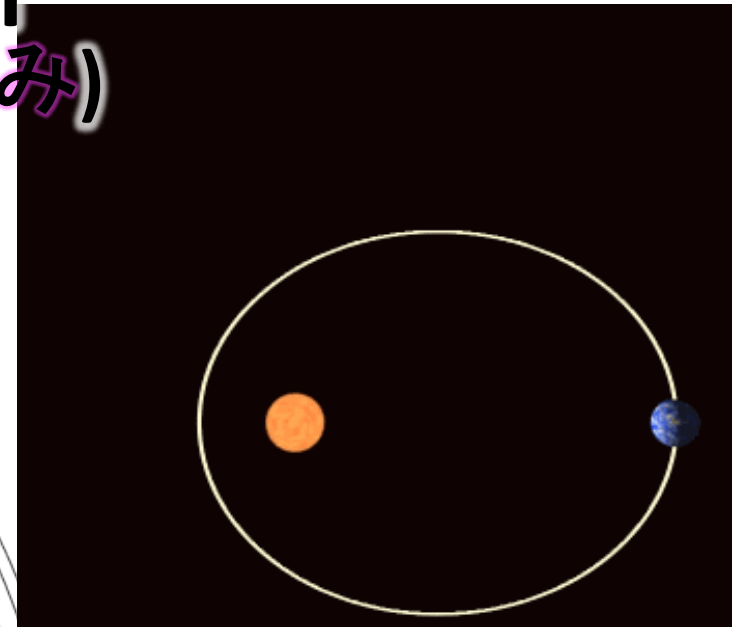
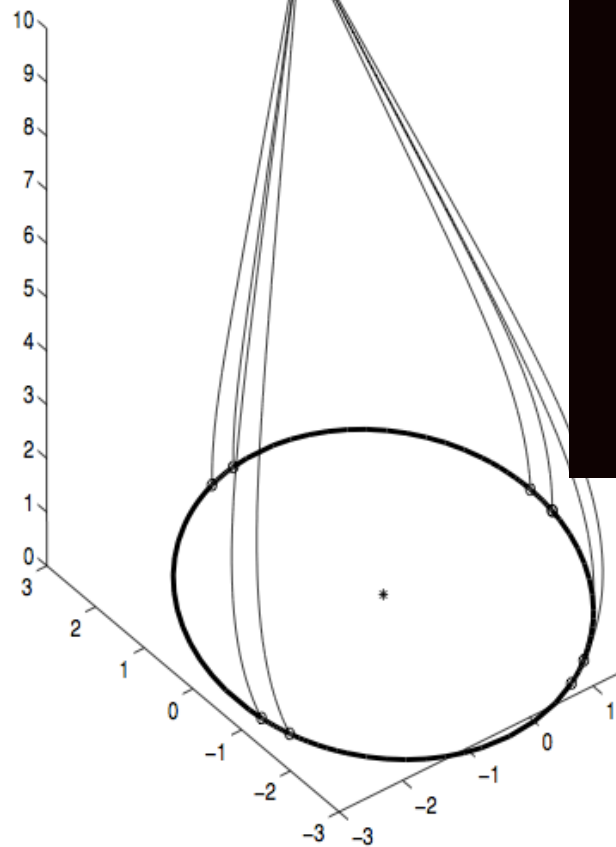
3/16

## 一般相対論効果の検出方法

相対論効果なし



無回転BH  
(時空のゆがみ)



(Angelil+ 10)

## 星周回軌道の歳差運動

$$\dot{\omega} \approx \frac{3}{1-e^2} \left( \frac{2\pi}{P_b} \right)^{5/3} \left( \frac{GM_{BH}}{c^3} \right)^{2/3}$$

軌道周期

$$\approx (0.269 \text{ deg/yr}) \frac{1}{1-e^2} \left( \frac{P_b}{1\text{yr}} \right)^{-5/3} \left( \frac{M_{BH}}{4 \times 10^6 M_{\text{sun}}} \right)^{2/3}$$

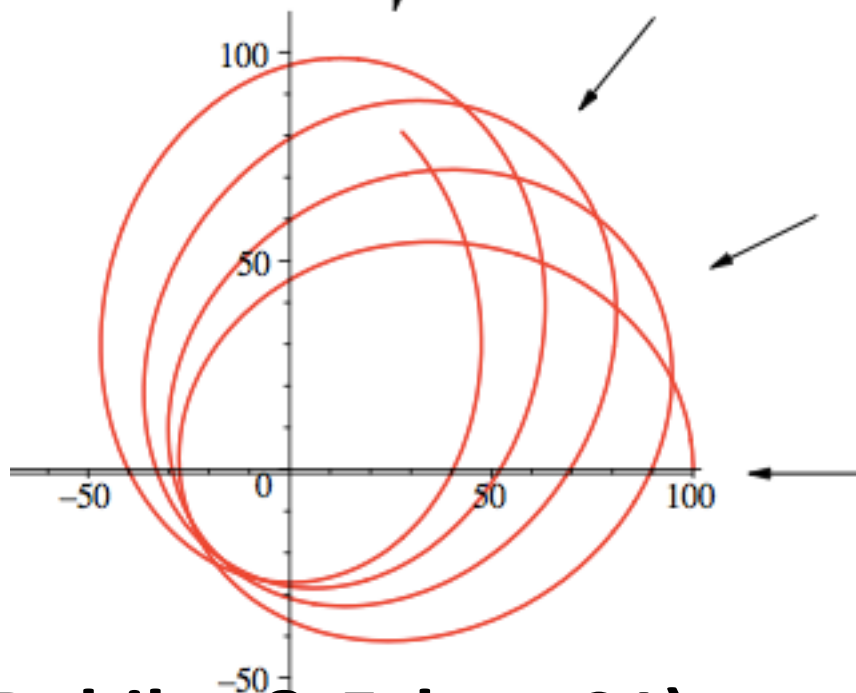
離心率  $(=(r_a - r_p)/(r_a + r_p))$

**~1 ミリ秒角/軌道 (位置測定)**  
**~7 km s<sup>-1</sup>/軌道 (視線速度) for S2**

(Robertson 38, Rubilar & Eckart 01 Liu+ 12)

## 観測方法1. 位置測定

**Periapse Shift  
(Prograde Precession)**



**(Rubilar & Eckart 01)**

**S2**

**見かけの歳差運動  
~ 1 ミリ秒角/軌道  
@遠BH点**

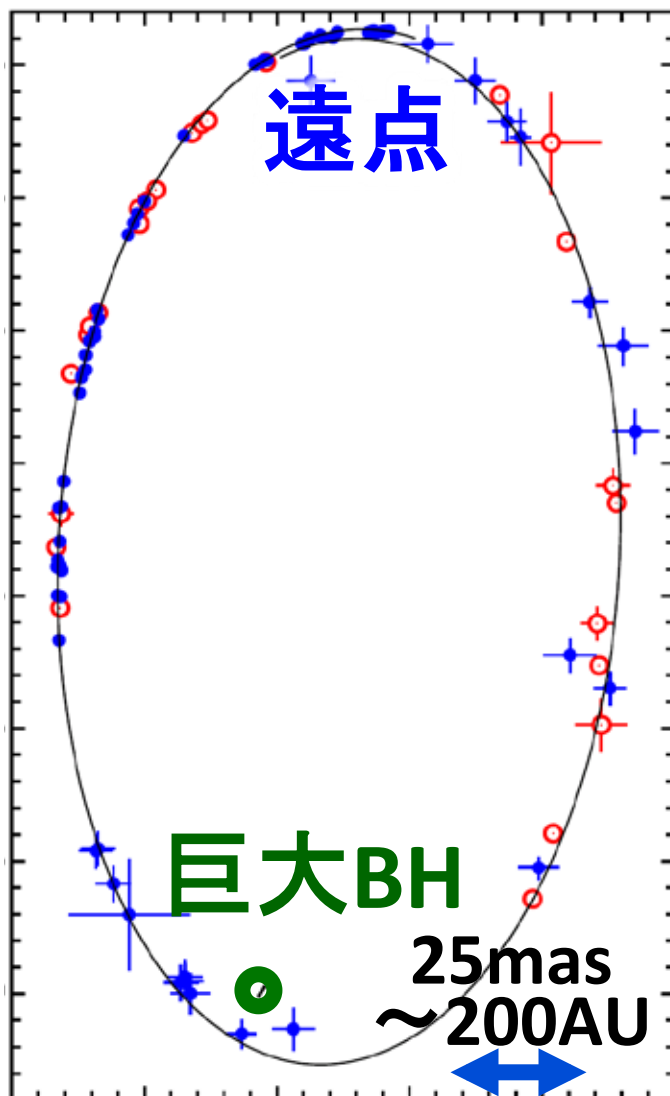
**cf. 一測定精度  
~ 0.1 ミリ秒角  
(Yelda+11)**

**次回遠BH点: 2025!**

# 視線速度の測定

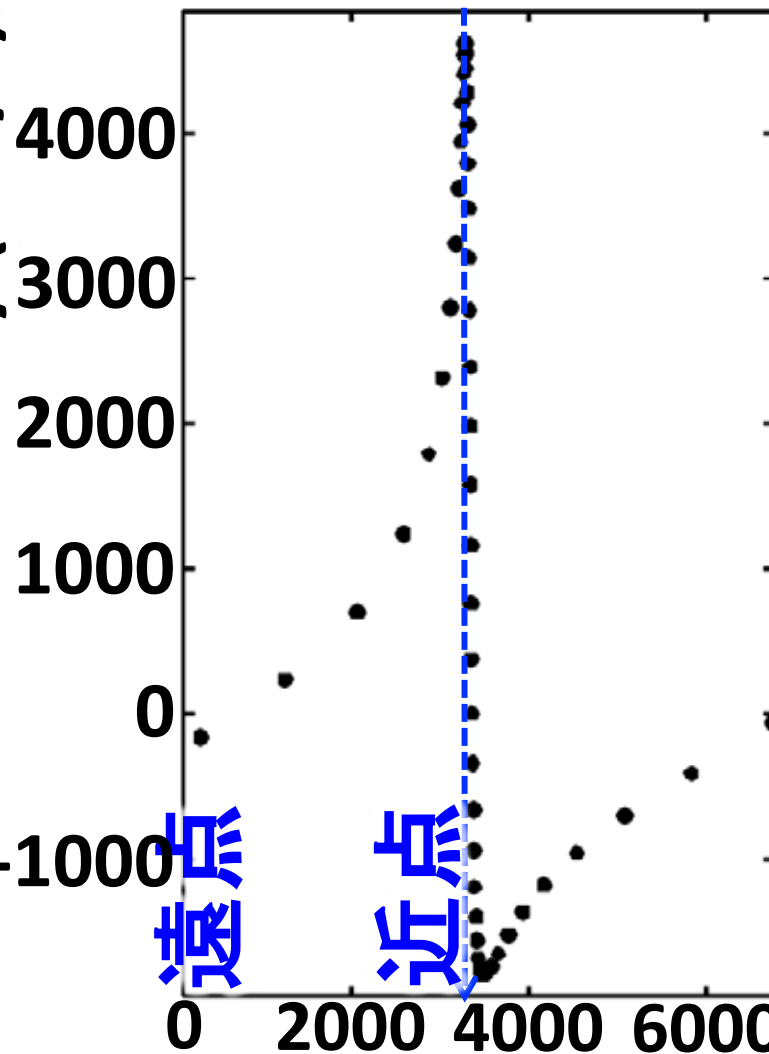
## S2の軌道

## 観測方法2. 視線速度



Gillessen+09

Radial Velocity (km/s)

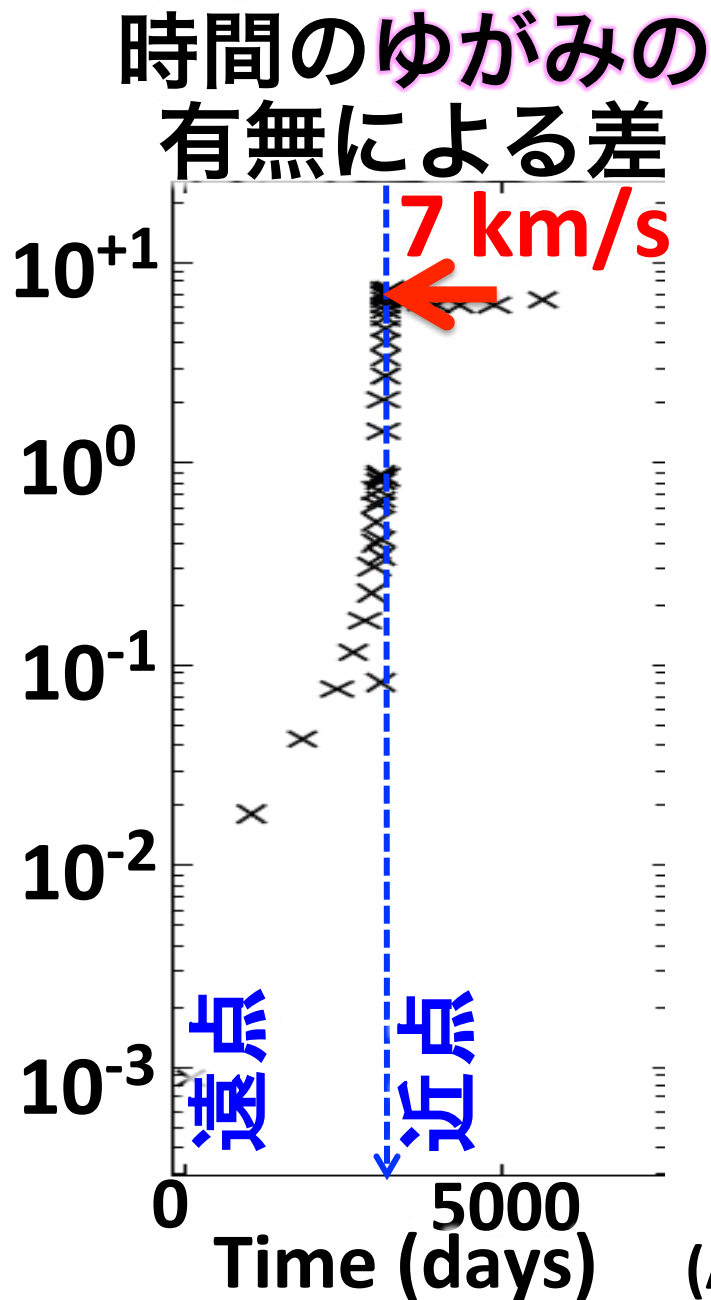


(Angelil+ 10)

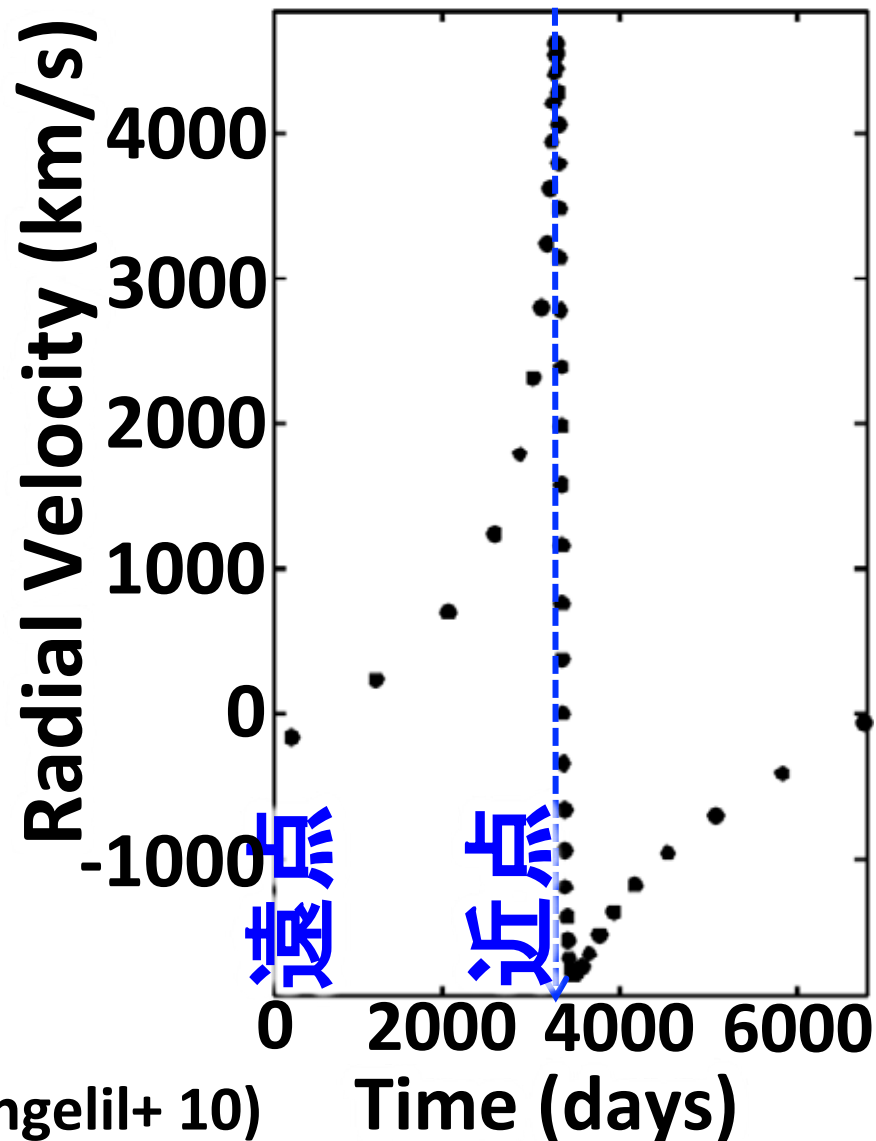
Time (days)

# 視線速度の測定

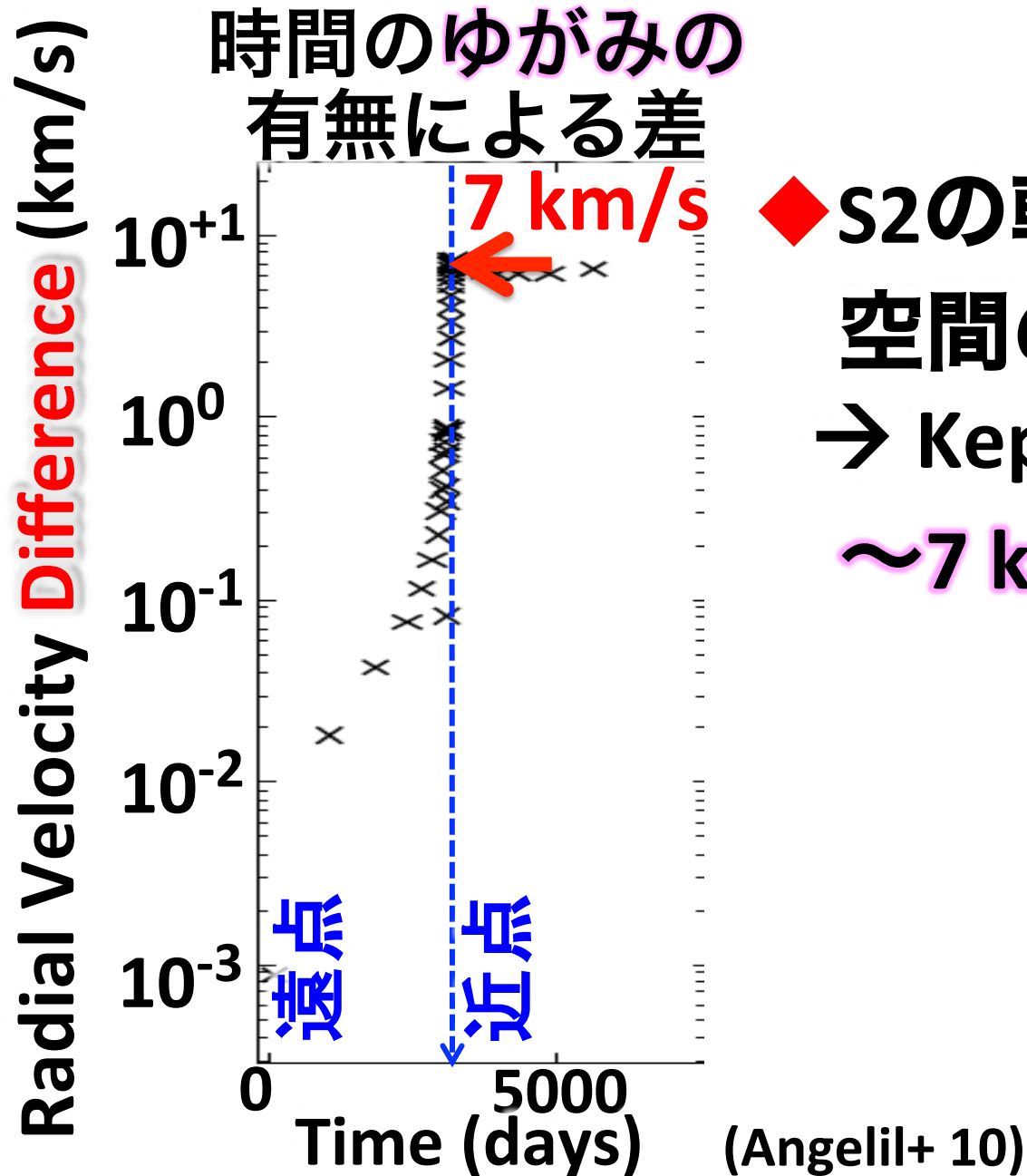
Radial Velocity Difference (km/s)



S2の視線速度変化



# 視線速度の測定



- ◆ S2の軌道に対する、空間のゆがみの影響  
→ Kepler軌道との差:  
~7 km/s



## BH近傍における一般相対論効果の検出

観測天体: S2

観測時期: 2018年、2034年とその前後数年

観測手法: 近赤外線分光

必要条件: 近赤外線( $>1.5\mu\text{m}$ )、高分散分光、  
補償光学

→ 視線速度の長期・精密測定

目標精度:  $\sim 2 \text{ km/s}$  (時空のゆがみ,  $3\sigma$ )

# 期待される測定精度

## 視線速度測定精度の現状と将来

|                      | Keck<br>OSIRIS |
|----------------------|----------------|
| 波長分解能                | 3,600          |
| 波長較正                 | 大気             |
| SN比                  | 20             |
| <b>目標精度 : 2 km/s</b> |                |
| 精度 [km/s]            | 20             |

# 期待される測定精度

## 視線速度測定精度の現状と将来

|                      | Keck<br>OSIRIS | Subaru<br>IRD(開発中) |
|----------------------|----------------|--------------------|
| 波長分解能                | 3,600          | 70,000             |
| 波長較正                 | 大気             | コム                 |
| SN比                  | 20             | 10                 |
| <b>目標精度 : 2 km/s</b> |                |                    |
| 精度 [km/s]            | 20             | ~0.2               |



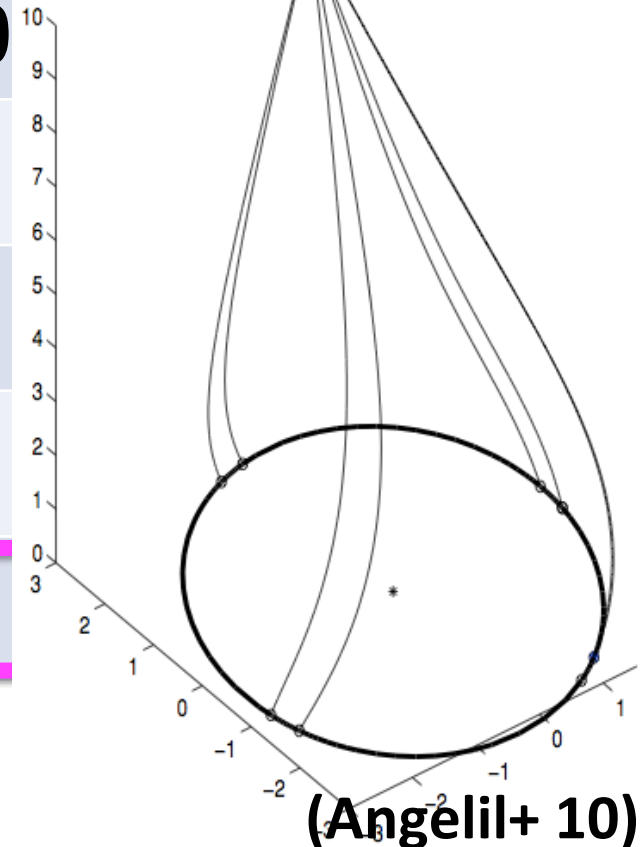
<https://www.youtube.com/watch?v=uNBNeDW1GQ0>  
Credit: D. Birchall, Subaru Telescope

# 期待される測定精度

## 視線速度測定精度の現状と将来

|                      | Keck<br>OSIRIS | Subaru<br>IRD(開発中) |
|----------------------|----------------|--------------------|
| 波長分解能                | 3,600          | 70,000             |
| 波長較正                 | 大気             | コム                 |
| SN比                  | 20             | 10                 |
| <b>目標精度 : 2 km/s</b> |                |                    |
| 精度 [km/s]            | 20             | ~0.2               |

回転するBH  
(時空のひきずり)



# 期待される測定精度

## 視線速度測定精度の現状と将来

|                                     | Keck<br>OSIRIS | Subaru<br>IRD(開発中) | 30m<br>望遠鏡 |
|-------------------------------------|----------------|--------------------|------------|
| 波長分解能                               | 3,600          | 70,000             | 20,000     |
| 波長較正                                | 大気             | コム                 | コム         |
| SN比                                 | 20             | 10                 | ~400       |
| <b>目標精度 : 2 km/s      0.03 km/s</b> |                |                    |            |
| 精度 [km/s]                           | 20             | ~0.2               | <~0.02     |

# 30m望遠鏡時代にむけて 星周回軌道の歳差運動

$$\dot{\omega} \approx \frac{3}{1-e^2} \left( \frac{2\pi}{P_b} \right)^{5/3} \left( \frac{GM_{BH}}{c^3} \right)^{2/3}$$

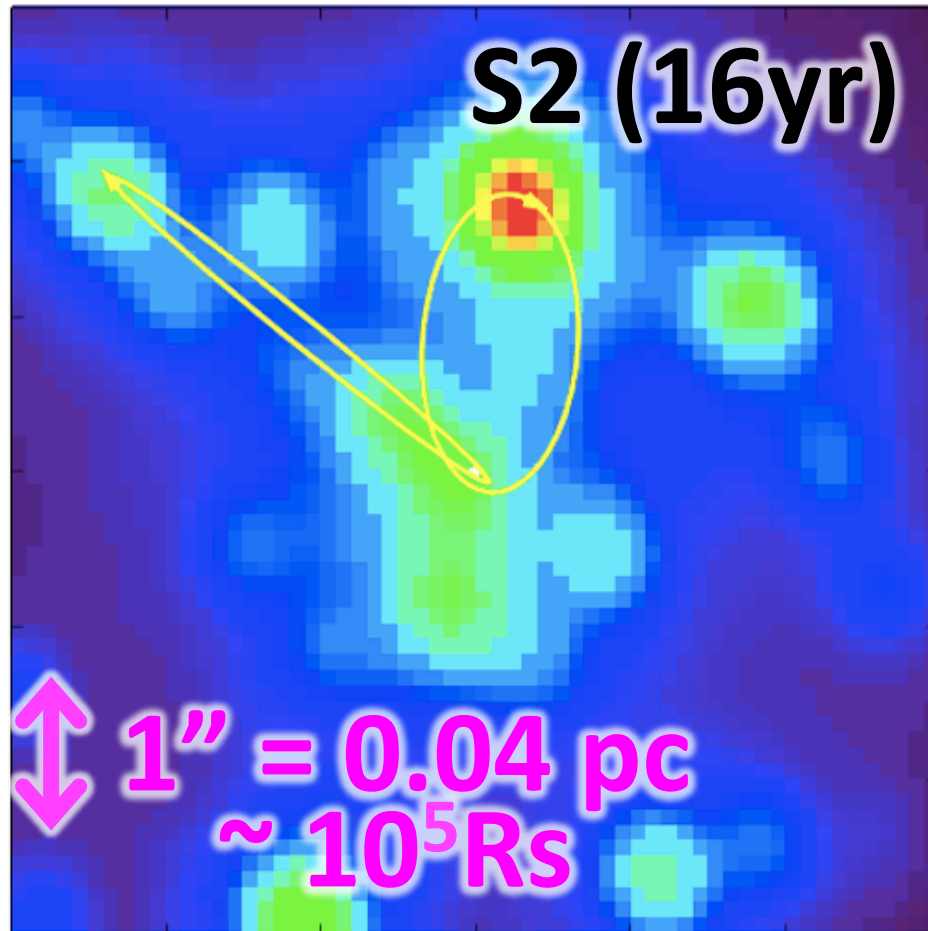
軌道周期

$$\approx (0.269 \text{ deg/yr}) \frac{1}{1-e^2} \left( \frac{P_b}{1\text{yr}} \right)^{-5/3} \left( \frac{M_{BH}}{4 \times 10^6 M_{\text{sun}}} \right)^{2/3}$$

eccentricity

より短周期の星 → 大きな歳差運動  
 1年周期: 約100倍の歳差運動  
 ← 30m望遠鏡に期待

# 10m+AO



# 30m+AO

