

第7回 天球座標、季節と天体観測、人工衛星の姿勢について

2021年5月18日 11:56

議題

1. 星座はいくつあるか? **88**
2. 星座の名前と、各星座の領域は正確に決まっているか? **Yes**
3. そうだとしたら、誰が決めている?どこに書いてある? **JAU(国際天文学連盟)**

The Constellation by International Astronomical Union (IAU)

4. かに星座の座標(赤経, 赤緯)は(05 38 56.6, -64 05 03.3, ICRS)である。かに星座はかに座にあるのか? そうでなければ、何座にある? **Taurus (牛の座)**

Cepheus with optical (ISS) and X-ray (Chandra) displayed with AIPO2 at DARTS/JAXA

座標の表記

1. 天体の座標(赤経, 赤緯)を示すとき、二種類の表し方がある。その意味を理解し、両者の換算ができるように。
Cyg X-1 (自由座 X-1) の例
(RA, DEC) = (19 58 21.68, 35 12 05.8) or (299.590316, 35.201606) in J2000

便利なウェブサイト: SIMBAD Coordinate Converter, AIPO2

X線天体の名前について

1. 1962年、最初に観測された天体は、さそり座にあったので、Sco X-1 (さそり座 X-1) と名付けられた。X線天体の名前の付け方について、説明せよ。

Cyg X-1, LMC X-1, GX 339-4, 1A0620-00, GS1124-68, PSR B1509-58, GRO J1655-40, MAXI J1348-630, etc.

国立天文台の観望台 MAXI と Swift/BAT の画像と「すざく」の視野を重ね合わせた。

2. 変光星の名前の付け方を説明せよ。

。フレイムヘビ座, AAISO, 星村先生の観望台などを参考に

歳差 (precession) と元期 (epoch) について

1. 歳差と元期 (epoch) について説明せよ。

B1950 -> 1950年分点
J2000 -> 2000年分点

2. 国際天球基準座標系について説明せよ (International Celestial Reference Frame (ICRF) or System (ICRS)). <<https://astro-64.jp/international-celestial-reference-frame/>>

3. B1950 で表された座標と J2000 (または ICRF) で表された座標の間の変換はどうしたらよいか?

CDCO for Cyg X-1

Target Cyg X-1 resolved by SIMBAD (local cache)							
J2000		B1950		Galactic		Ecliptic	
RA	Dec	RA	Dec	l	b	Lon	Lat
19 58 21.68	35 12 05.8	19 58 28.87	35 03 54.5	71 20 08.0	03 04 00.8	313.40 24.7	64.14 44.8
299.590316	35.201606	298.120291	35.065134	71.334690	3.066838	313.675632	64.245772

座標変換

1. よく用いられる三つの座標系、赤道座標、黄道座標、銀河座標を説明せよ

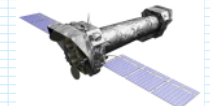
赤道座標系から銀河座標系への変換のアニメーション

2. (評価対象外) 赤道座標系、黄道座標系、銀河座標系の間の座標変換を行うプログラムを作成せよ。

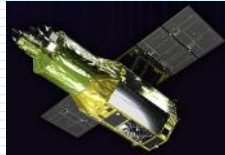
Cyg X-1 について、[赤経赤緯から黄経黄緯へ](#)、[赤道座標から銀河座標へ](#) に基づくプログラム



Suzaku: JAXA's X-ray satellite (2005-2015)



XMM: ESA's X-ray satellite



IXPE: JAXA's X-ray satellite planned to be launched in early 2023

To check observability of targets, use HEASARC's "Viewing" at <https://heasarc.cfa.harvard.edu/cgi-bin/Tools/Viewing/Viewing.pl>

Viewing HELP

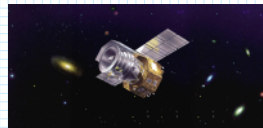
Determine when or if an astronomical position can be viewed by a given space

Chandra, allowed Sun angle range = 46.4-170
HST, allowed Sun angle range = 60-180
DXPE (planning), allowed Sun angle range = 65-115
NICER, allowed Sun angle range = 45-180
NuSTAR, allowed Sun angle range = 43-180
Swift, allowed Sun angle range = 47-180
XMM-Newton, allowed Sun angle range = 70-110
XRISM, allowed Sun angle range = 60-120

Select one or more space telescopes:

季節と天体の観測可能性

1. 有名なブラックホール天体 Cyg X-1 (19 58 21.7, +35 12 05.8, ICRS) と LMC X-3 (05 38 56.69, -64 05 03.3, ICRS) を地上の可視光望遠鏡で観測する場合を考えた。いつ、どの場所から観測できるだろうか? 夜中に天体が見えたら観測条件が良いが、それは年に何回あるだろうか? 以下の3Dツールを参考に: <http://www.iaa.es/ja/home/ebiaswajab/obslawm/TFAC#NGC/CelestialSphere.html>



Akari: JAXA's infrared satellite

地上観測の例に良く使われるツール

2. 地上の電波望遠鏡ではどうかだろうか?

3. あすか、すざく、XRISM、あかりなど、多くの天文電望では、太陽「カール」部構造が衝突している。望遠鏡と太陽がなす角度、「太陽角」が ~90度になるときに、観測が可能である。Cyg X-1は、年に何回、観測可能か? LMC X-3については、どうか?



ASCA: JAXA's X-ray satellite (1993-2000)

Cyg X-1 observation log by Suzaku
LMC X-3 observation log by Suzaku

Cyg X-1 observability by HEASARC's viewing
LMC X-3 observability by HEASARC's viewing

4. 太陽/ネールと望遠鏡が直交している人工衛星では、空の上で、一年中観測できる場所が、二箇所ある。
それはどこか？

- [The ASCA Sky survey](#)
- [XMM-Newton satellite sky track](#) (in galactic coordinates)
- [Akari all-sky survey](#) (from you tube)
- [eRosita \(launched in 2019\) exposure map](#) (in equatorial coordinates)
- [eRosita movie](#) by DLR (from you tube)

ASCA observation report on 1993/05/11 (https://data.dorito.isas.jaxa.jp/pub/asca/iss_reports/0080_930511.jp)

M31 --- Vela X					
	PASS 1	PASS 2	PASS 3	PASS 4	PASS 5
Plan No	0001-1-01	0001-1-02	0001-1-03	0001-1-04	0001-1-05
Operation	0.1sec 0.1sec 0.1sec 0.1sec 0.1sec	0.1sec	0.1sec 0.1sec 0.1sec 0.1sec 0.1sec	0.1sec	0.1sec
Target	M31	M31	M31	M31	M31
RA (J2000)	05:34:31.1	05:34:31.1	05:34:31.1	05:34:31.1	05:34:31.1
DEC (J2000)	+27:07:42.0	+27:07:42.0	+27:07:42.0	+27:07:42.0	+27:07:42.0
Time	1993-05-11 07:00:00	1993-05-11 07:00:00	1993-05-11 07:00:00	1993-05-11 07:00:00	1993-05-11 07:00:00
Mag range	14.00	14.00	14.00-14.00	14.00	14.00
Mag offset	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mag scale	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Mag zero	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00
Mag offset	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mag scale	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Mag zero	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00
Mag offset	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mag scale	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Mag zero	14.00	14.00	14.00	14.00	14.00

Observe Name at Coordinates: M31
(e.g., Cyg X-1 or 101 295, -16.699 or 6)

Best Coordinate System: J2000
Name Resolution: GRS, then SIMBAD else VizieR (Beams), then NED
Special Options: Use local caches

Find Target/Convert Coordinates:

RA	Dec	B1950	Galactic	Ecliptic
05:34:31.1	+27:07:42.0	14:00:04.47	423940.164	68.562702
05:34:31.1	+27:07:42.0	14:00:04.47	423940.164	68.562702

衛星の姿勢と観測ターゲット

ISAS/JAXAの衛星では、衛星のZ軸がズピン軸（望遠鏡の方向）、太陽/ネールの方向がY軸と定義している（宇宙機関によって定義が異なるので注意）。以下では、この場合について、衛星の姿勢を考える。

衛星の姿勢は「オイラー角」で記述される。初期姿勢(0,0,0)では、X軸が軌分点、Z軸を向いている。Z軸-Y軸-Z軸の周りに、順に角度 ϕ , θ , ψ だけ、回転させる。この角度の組 (ϕ, θ, ψ) が人工衛星の姿勢を記述する。

1. 3次元の回転行列を、オイラー角 (ϕ, θ, ψ) で表せ。

$$\begin{pmatrix} x'' \\ y'' \\ z'' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\phi & -\sin\phi & 0 \\ \sin\phi & \cos\phi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\psi & -\sin\psi & 0 \\ \sin\psi & \cos\psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} \quad (1.41)$$

$$\begin{pmatrix} x'' \\ y'' \\ z'' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\phi\cos\theta\cos\psi - \sin\phi\sin\theta\sin\psi & -\sin\phi\cos\theta\cos\psi - \cos\phi\sin\theta\sin\psi & \cos\phi\sin\theta\cos\psi + \sin\phi\sin\theta\sin\psi \\ \sin\phi\cos\theta\cos\psi + \cos\phi\sin\theta\sin\psi & \cos\phi\cos\theta\cos\psi - \sin\phi\sin\theta\sin\psi & \sin\phi\sin\theta\cos\psi - \cos\phi\sin\theta\sin\psi \\ -\sin\phi\sin\theta\cos\psi & \sin\phi\cos\theta\sin\psi & \cos\phi\sin\theta\sin\psi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \end{pmatrix} \quad (1.42)$$

（初期姿勢）
太陽/ネールの方向を Y 軸に
Z-Y-Z 軸を向ける

90-DEC

2. 最初の二つのオイラー角 (ϕ, θ) と、観測天体の赤緯、赤経、 (α, δ) との関係を示せ。

$$\begin{cases} \phi = \alpha \\ \psi = 90 - \delta \end{cases}$$

3. 観測の際の「ロール角」は、観測画像の北方向から反時計回りに測った、検出器の Y 軸 (DET Y) との角度として定義される。第三オイラー角と、ロール角の関係を示せ (Cover note を参考に)。

Roll angle = $90 - \psi$

4. 黄北極 (North Ecliptic Pole; NEP) と黄南極 (South Ecliptic Pole; SEP) は、一年中、観測可能である。春分、夏至、秋分、冬至の時に、NEP と SEP を観測する際のオイラー角を求めよ。

NEP (270, 66.6)	SEP (90, -66.6)
Spring (270, 23.4, 0)	(90, 156.6, 180)
Summer (270, 23.4, 90)	(90, 156.6, 90)
Autumn (270, 23.4, 180)	(90, 156.6, 0)
Winter (270, 23.4, 270)	(90, 156.6, 270)

5. 「すざく」衛星は、NEP 領域を何度も観測した。その際のオイラー角が、季節に応じて、上記の通りになっていることを、HUBO を用いて確認せよ。

$$r \approx 0.01a$$

$\frac{GM_1 m}{a^3} = \frac{GM_2 m}{r^2}$ (Equation of motion @ L2, need to eliminate v)
 $\frac{GM_1}{a^3} = \frac{GM_2}{r^2}$
 $\frac{M_1}{a^3} = \frac{M_2}{r^2}$
 $r = a \left(\frac{M_2}{3M_1} \right)^{1/3}$
 $\approx 10^2 a$

Earth's angular velocity $\omega = \frac{v}{a}$
 $v = \frac{GM_1}{a^2} \frac{a}{v} \Rightarrow v^2 = \frac{GM_1}{a}$
 $\omega = \sqrt{\frac{GM_1}{a^3}}$

Earth and L2 have same angular velocity ω
 $\frac{GM_1}{a^3} = \frac{GM_2}{r^2}$

$M_1 = 2 \times 10^{30} \text{ kg}$
 $M_2 = 6 \times 10^{24} \text{ kg}$
 $\frac{M_2}{M_1} = 3 \times 10^{-6}$

Satellite orbits around the L2 point

- Give several examples of the science satellites (space crafts) which are launched to Sun Earth L2 point?

- [Planck orbit](#)
- [Nancy Grace Roman Space Telescope orbit](#)
- [LiteBIRD \(casumi-san's presentation at 2020 SSI\)](#) Explanation of the orbit starting at about 5:40

2. What will be the orbit like around L2? How does it called?

Lissajous orbit.

- [Hunting for Dark Energy - eROSITA X-Ray Telescope](#)
- [JWST orbit](#) (nice movie and explanation)

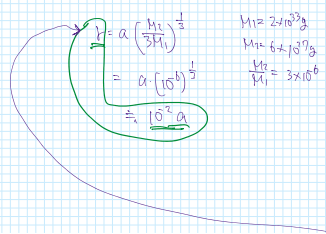
$$\frac{r}{a^3} \left(1 + \frac{M_2}{M_1} \right) + \frac{1}{a^2} = \frac{1}{a^2 20^2} + \frac{1}{r^2} \frac{M_2}{M_1}$$

$$\left(\frac{r}{a} \right) \left(1 + \frac{M_2}{M_1} \right) + 1 = \frac{1}{(1 + 20^2)} + \left(\frac{a}{r} \right)^2 \frac{M_2}{M_1}$$

$\left(\frac{r}{a} \right) \left(1 + \frac{M_2}{M_1} \right) \approx 1 + 2 \left(\frac{r}{a} \right)^2$

Leave values $\sim 10^{-2}$

$3r = \frac{1}{2} \left(\frac{a}{r} \right)^2 \frac{M_2}{M_1}$
 $2(r/a)^3 = M_2/M_1$



Lissajous orbit.

[Hunting for Dark Energy - eRosita X-Ray Telescope](#)
[WST orbit](#) (nice movie and explanation)

$$3\frac{r}{a} = \left(\frac{r}{a}\right)^3 \frac{M_2}{M_1}$$
$$3\left(\frac{r}{a}\right)^3 = \frac{M_2}{M_1}$$