

## 考古学向け天体シミュレーションソフト *arcAstro-VR* の開発

国立天文台 関口和寛、scienceNode 岩城邦典

### はじめに

古代社会においては、空に見える天体現象は日常生活の一部であり、自然と人間の関係についての概念、とりわけ時間と季節の概念と結びついて私たちの祖先によって認識されました。考古天文学では、日の出/日の入り、月の出/月の入り、惑星と星の位置、星々の空間パターン、さらには太陽や月が投じる光と影等と、考古学遺構の方位角との相関を調べます。それにより、古代の人々が天体をどのように捉えていたかを分析して理解し、それらの遺構を建てた人々の空間的認識について解釈を加えることができます。

しかし、地球の歳差運動等のために、今日我々が見る天体の位置と古代の人々が見た天体の位置は同じではありません。そこで、天体と考古学遺構を含めた地上の景観との位置関係を過去に遡って視覚化する必要が生じます。我々は、考古学的構造物、周囲の風景、および対応する過去の天体の正確な配置と動きを再現することにより、考古天文学的調査のための、視覚化と分析に使用できるシステムとして *arcAstro-VR* を開発しました。

### 1. 天体現象と地上の構造物との位置関係

多くの考古学的遺構が、天文現象と何らかの関係があることが知られています。たとえば、有名なストーンヘンジの石の配列は、太陽や月の位置に基づく配置ではないかと考えられています。



ストーンヘンジ © History.com

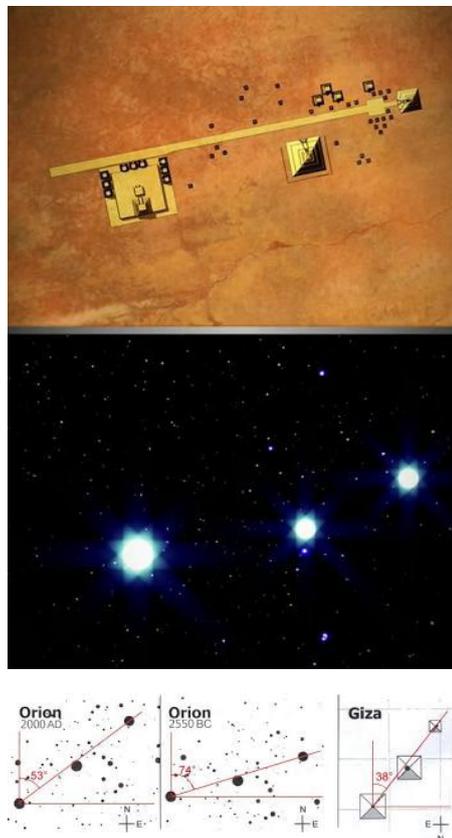
また、エジプト、ギザの3大ピラミッドの配列は、オリオン座の3つ星の配列と関係あるのではないかと考えられています。同じくエジプト、テーベのカルナックにあるアメン大神殿には、真冬に昇る太陽にのみ照らされる通路があります。これは冬至を太陽が生まれ変わる日と捉えて祝祭を行ったのではないかと考えられています。

冬至のカルナック神殿に昇る朝日



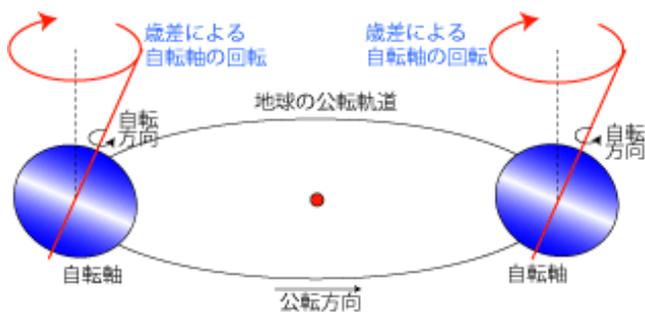
Photo: Seesaa ブログ

エジプト、ギザの3大ピラミッドの配列 ©Pinterest.com



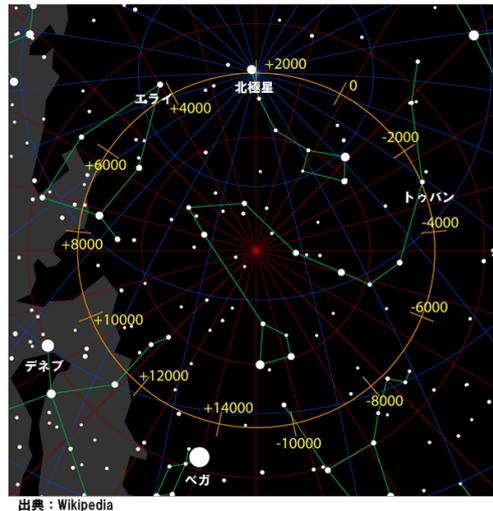
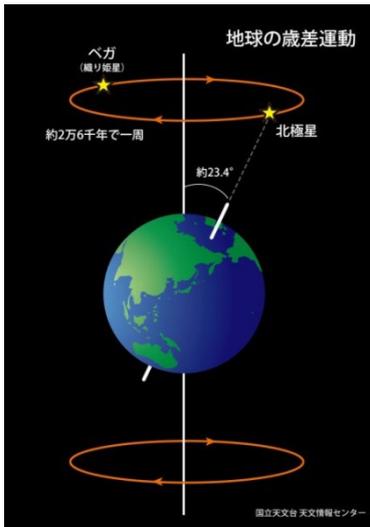
## 2. 歳差

上記の例をはじめ考古天文学のかなりの部分は、建造物の向き、それらを囲む風景、そしてはるか昔の空の天体を扱います。夜空に見える星同士の見かけの位置変化は、数万年のタイムスケールでも肉眼では無視できるため、先史時代の初期から星座の特徴的なパターン自体は大きく変化していません。しかし、数十年から数世紀のタイムスケールでは、地球の歳差運動のために星空のパターン全体が天球上を移動します。そのため、今日我々が空に見る天体の位置と、古代の人々が見た天体の位置は同じではありません。そこで、天体と考古学遺構の位置関係を過去に遡って視覚化する必要があります。



©国立天文台暦計算室

地球は、太陽の周りの年間軌道を進むにつれて1日1回、地球自体の自転軸を中心に回転します。これにより、宇宙で同じ方向が維持されます。歳差運動が発生するのは、遠方の星に対する地球の自転軸の向きが、約25,800年の周期でコマのように徐々に回転するためです。



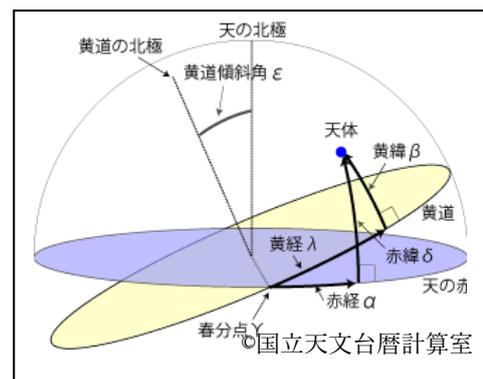
数十年と数世紀のタイムスケールにわたって、歳差運動は任意の星の赤緯を移動させ、したがってその上昇と沈む位置を移動させます。また、周極星は周極星になるのをやめるかもしれませんし、その逆もあります。他の星々は地平線の下に完全に消えるか、初めて現れるかもしれません。たとえば Hoskin (2001, pp. 49–51) は、スペイン、マヨルカ島にある聖域が紀元前 1700 年頃、何世紀にもわたって使用された後、突然放棄されたのは、南十字星の消失に関係している可能性があることを示唆しています。南十字星は、サルセン石が建設される前の千年紀には、ストーンヘンジの近くからはっきりと見えていました。

今日の天の北極から 1 度以内にある北極星（ポラリス）は、西暦 1600 年には北極から 3 度の位置にありました。西暦 1000 年頃まで遡ると、ポラリスは極から 6 度以上も離れていたため、何時ごろから「北極星」として認識されたのかという疑問が生じます。一方、りゅう座アルファ星（トゥバン：Thuban）は、今日では極から 25 度も離れていますが、紀元前 2800 年頃には 1 度以内にあったため、古王国時代の初め頃の古代エジプト人にとって「北極星」でした。

### 3. 黄道傾斜角の変化

星々に比べて、太陽、月、惑星の上昇位置と沈下位置は歳差運動の影響を受けませんが、黄道傾斜角が時間とともにゆっくりと変化するため、時間の経過とともに

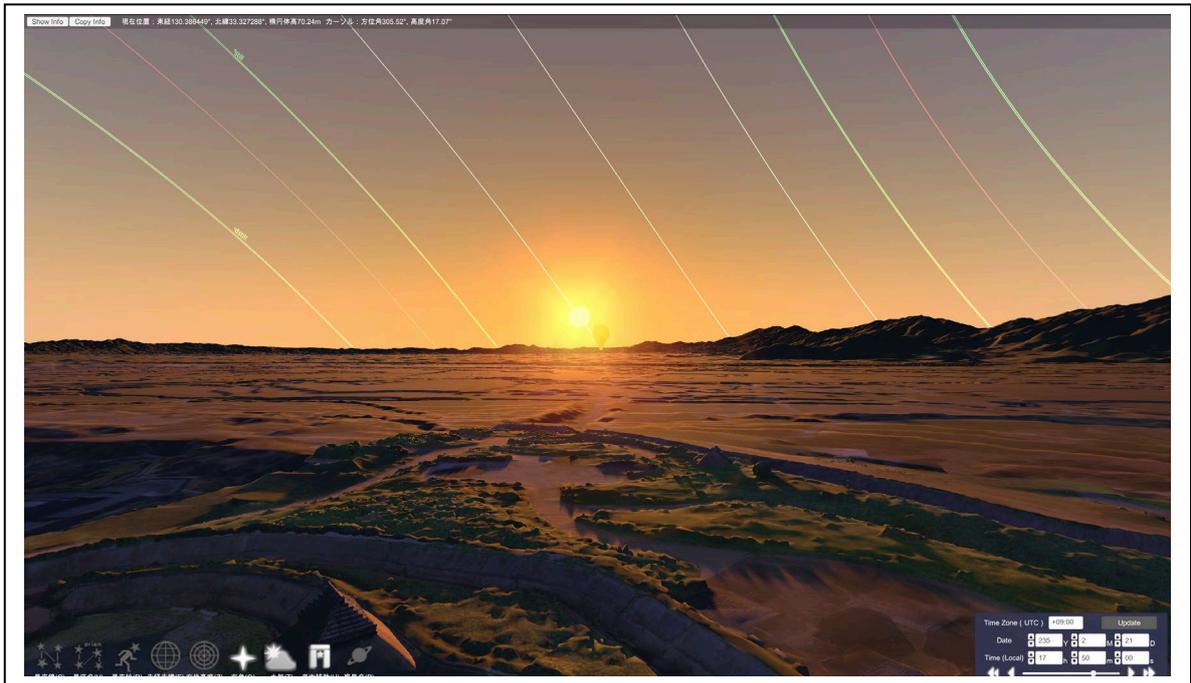
わずかに変化します。それは紀元前 5000 年の約 24.15 度から現在の 23.45 度までゆっくりと減少していますが、より長い時間スケール（約 41000 年）にわたっては、約 24.4 度と 22.2 度の限界の間で振動します。黄道傾斜角は、紀元前 6000 年頃に最大値に達し、西暦 14000 年頃に最小値に達します。「こま」に例えると、こまが回転するときにわずかに上下に揺れるように見えます。



#### 4. arcAstro-VR

考古天文学的に興味のある時間の空と風景の配置をどのように再現し、それを視覚化するか。そのためには、考古学的構造物、周囲の風景、および対応する過去の天体の位置を正確に再構築する必要があります。コンピュータグラフィックス技術の助けを借りて、仮想現実 (VR) を使用すると、再構築された考古学的構造をウォークスルーし、周囲の風景との位置合わせや天体の位置をテストすることが可能となります。

すでに、景観地理情報システム (GIS) データを使用した考古学的調査の視覚化と分析に使用できる、いくつかの商用ソフトウェアパッケージがあります。しかし、さらに天体の正確な配置と動きを表示する必要もあります。一方、天文学的に正しい空の眺めをシミュレートできるプラネタリウムプログラムがあります。これらのプログラムの多くは、比較的最近の星空のシミュレーションに焦点を合わせているため、考古学的に興味深い過去の空のシミュレーションにはあまり役立ちません。そこで、高い精度で過去の星空を再現することが可能なオープンソースのデスクトッププラネタリウムソフトウェアパッケージである Stellarium (Zotti, 2016; Zotti & Wolf, 2018) をベースにして、プラグインとして地形、建物を 3D 空間に読み込み、再構築された構造をウォークスルーし、構造の天文学的配置を確認できるシステム (arcAstro-VR) を開発することになりました。

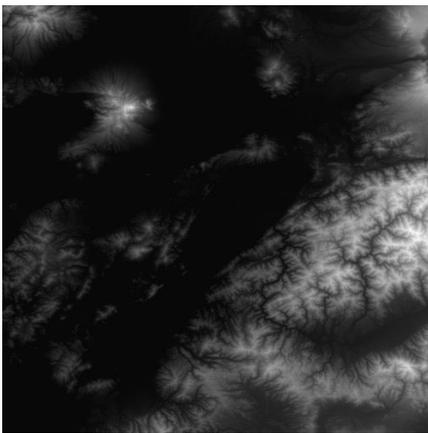


arcAstro-VR による PC ディスプレイ上の画像

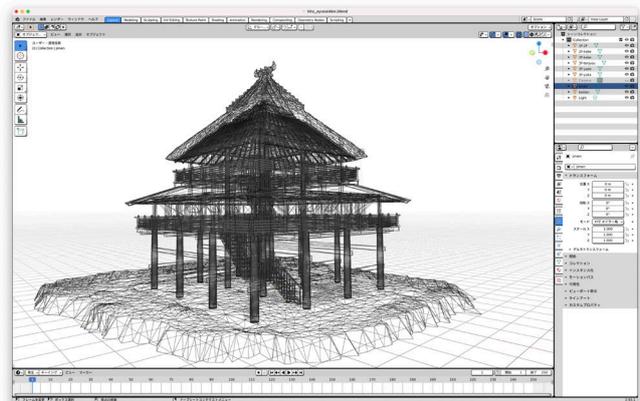
arcAstro-VR は、地形、構造物の 3D データ、天文現象を VR 空間に再現するアプリケーションです。地形データは geoTiff ファイル形式、構造物の 3D データは obj、fbx、ply 等のファイル形式を、任意に作成・組み込みが可能です。天文現象は、-2000 年～

+6000年まで1秒角以内の精度があります。（拡張することで-13200年8月15日～+17191年3月15日まで対応可能）

今回吉野ヶ里遺跡用には、広範囲の地形データはALOSの30mメッシュgeoTiffデータ、詳細はドローンを使ったLIDAR測量データ、構造物はLiDARと写真測量（フォトグラメトリ）を使ってOBJファイルを作成し、シミュレートされた空で3Dモデルを視覚化しました。これにより、吉野ヶ里遺跡の建物が建てられたと考えられる3世紀前半の時代の満月の出と、日の入りの方位等の再現を行い、建物との位置関係等を点検しました。



geoTiff:標高をグレーで表した  
平面画像データ



3D ファイル：xyz の座標で点、線、面  
を配置した立体空間データ

#### 【引用・参考文献】

Hoskin M. A., 2001, *Tombs, temples and their orientations*, Ocarina Books, Bognor Regis, pp. 49-51

Zotti, G., 2016, *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, Vol. 16, No 4, pp. 17-24

Zotti, G., & Wolf, A., 2018, *Stellarium version 0.18.0*, JSA, Vol. 4.1, pp. 154–158