

A night sky with the Milky Way galaxy and three pyramids in the foreground. The pyramids are illuminated from below, and the sky is filled with stars and the bright band of the Milky Way.

VR（バーチャルリアリティ）を使った 考古天文学

関口和寛(自然科学研究機構/国立天文台)

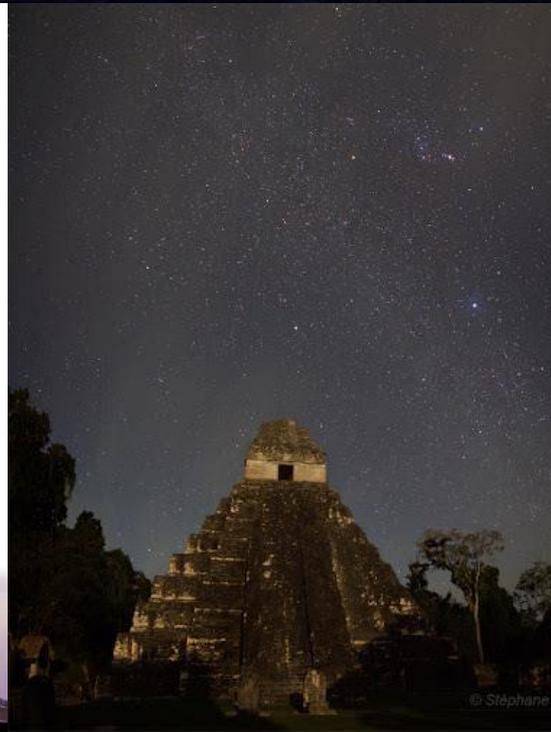
第688回：駿台天文講座
2023年7月15日



本日のお話：

新に開発した“考古学向け天体シミュレーションソフト *arcAstro-VR* の概要と、地形データおよび考古学サイトの遺跡/遺構等の建造物データを正確に表現して構築するためのデータ処理方法についてお話します。

また、*arcAstro-VR*を使った例として、佐賀県にある吉野ヶ里遺跡の仮想再現モデルを紹介します。

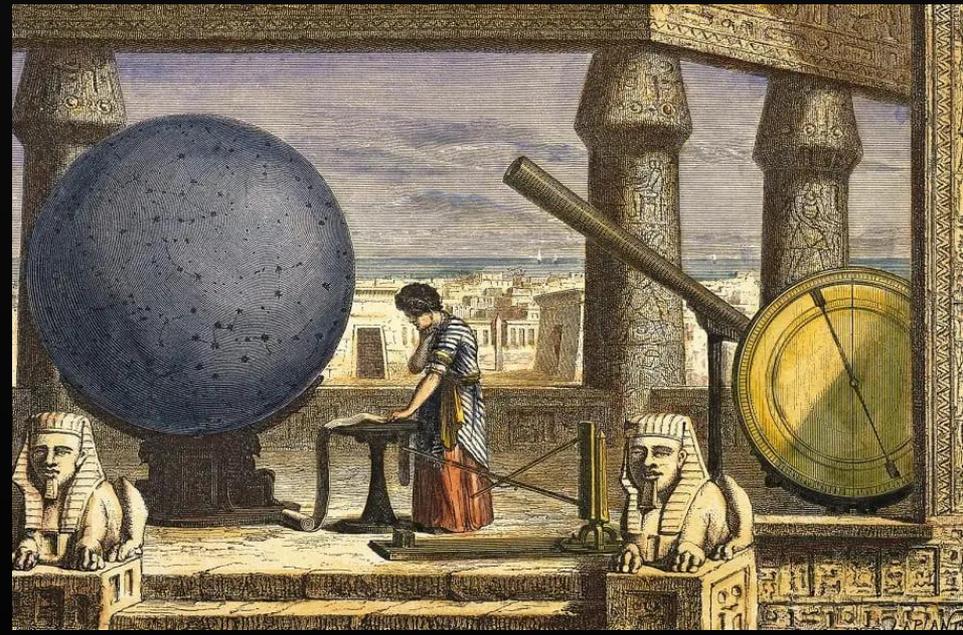


考古天文学



考古天文学の研究によって、過去の文化や文明の天文学的な知識や信仰体系、社会的な組織の一端を垣間見ることができます。

また、天文学的な現象との関連性を明らかにすることで、過去の人々が宇宙や天体に対してどのような関心や繋がりを持っていたのかを理解できます。



考古天文学

考古天文学では、考古資料に残る天文現象を調べるだけではなく、考古遺物の方位角と日の出/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の相関を調べます。

キトラ古墳の天井に描かれた天文図



ストーンヘンジ



時空間認知と記念碑的建築物

「時空間認知」とは、空間と時間の理解と認識を指します。古代、寺院などの記念碑的建築物は、しばしばこの認識の現れとして機能し、人間の領域と宇宙の秩序とのつながりを表しました。このような記念碑的建築物は通常、宇宙と地上との関係についての理解を反映して、天体の配列と天文現象を注意深く考慮して建てられました。

天体観測はこの関係において重要な役割を果たします。古代文明は、太陽、月、星、惑星などの天体の動きを研究することで、天体の周期、季節、気象パターンに関する知識を獲得しました。この理解により、彼らは農作物の収穫を予測し、宗教的および社会的行事を計画し、暦を確立することができました。

王権などの支配権は、宇宙の原理と関連付けられることがよくあります。支配者らは、天上の力とのつながりを主張し、宇宙の秩序と連携することで、自分たちの支配を正当化しようとしてきました。支配者たちは天文学の知識を実証し、天上の出来事に基づいた儀式を行うことによって、自らの権威を強化し、神と地上の領域の間の仲介者としての地位を確立しようとしてきました。



記念碑的な建築物では、天体観測が行われ、天体現象に関連した儀式が行われることがよくありました。これらの神聖な空間は宗教的および政治的活動の中心として機能し、統治者と天とのつながりと宇宙の調和を維持する役割を象徴しました。記念碑の建設と維持は、統治者の正統性を維持し、王国の繁栄と幸福を確保するために不可欠であると考えられていました。

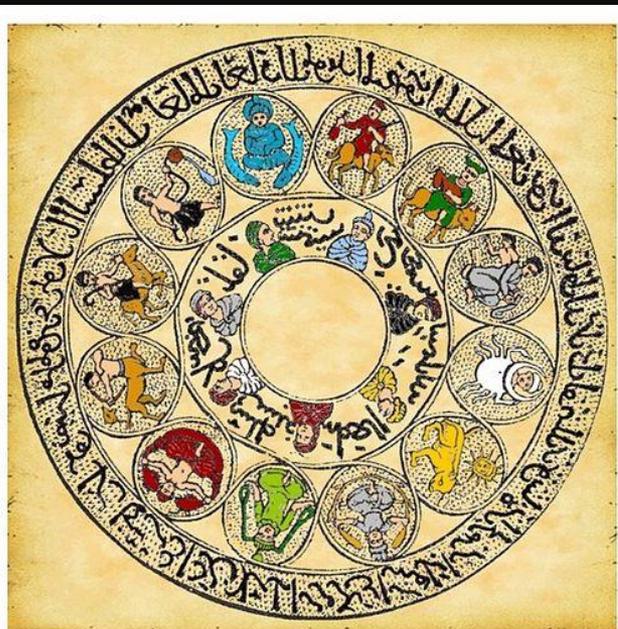
時空間認知と記念碑的建築物



記念碑的な建築物は宇宙秩序の理解を物理的に表現したものであり、統治者は自らの権力を確立し、正当化するために天文現象や自然現象を研究することで、宗教的、社会的、政治的生活を形作る予測や儀式の基礎としました。

天文学は歴史的に、さまざまな形で王や支配者の権力と絡み合ってきました。例えば：

占星術と占い：



ZODIAQUE ARABO-MUSULMAN DU 13 SIECLE,
LES 12 SIGNES AINSI QUE LES 7 PLANETES
SONT REPRESENTÉS PAR LES CARACTÉRISTIQUES CLASSIQUES
ASSIMILÉS À UN DIEU DU PANTHÉON.

- ・メソポタミア、エジプト、そしてその後のギリシャ人やローマ人を含む古代文明では、天文学と占星術は密接に関連していると考えられていました。
- ・占星術は、天体の位置と動きから人間の事情や個人や国家の運命についての洞察が得られると信じられていました。
- ・王や支配者は占星術師を雇って天の出来事を解釈し、予測を立て、統治、戦争、個人の決定についての指針を求めました。
- ・王たちは天上の出来事と自分自身を結びつけることで、自分たちの権威と正当性を高めることができました。

天文学は歴史的に、さまざまな形で王や支配者の権力と絡み合ってきました。例えば：



カレンダーと計時:

天文学は、カレンダーや計時システムの開発に不可欠でした。正確な計時は、農業活動、宗教儀式、行政目的にとって非常に重要でした。

王や支配者は、自分たちの領土の事柄を規制するために暦を維持し改善することに既得権益を持っていました。天体観測を支援し、天文学者を雇用することで、彼らは時間を組織し、制御する能力を実証し、その力と影響力をさらに強固にすることができました。



天文学は歴史的に、さまざまな形で王や支配者の権力と絡み合ってきました。例えば：



記念碑的な建築：

エジプト人やマヤ人などの多くの古代文明は、ピラミッド、寺院、天文台などの印象的な天文建造物を建設しました

これらの建造物は、天文学と宗教の両方の目的に役立ちました。夏至や春分点などの天体の出来事に建物を配置することは、統治者と宇宙とのつながりを示し、統治者の神聖な地位を強調しました。これらの記念碑的な建造物は権力と権威の象徴でもあり、統治者の能力を誇示していました。



天体と地上の構造物との位置関係

・至点のような特定の日時での天体の位置や方向が、考古学的構造と関連する証拠が示されています。*1, *2, *3

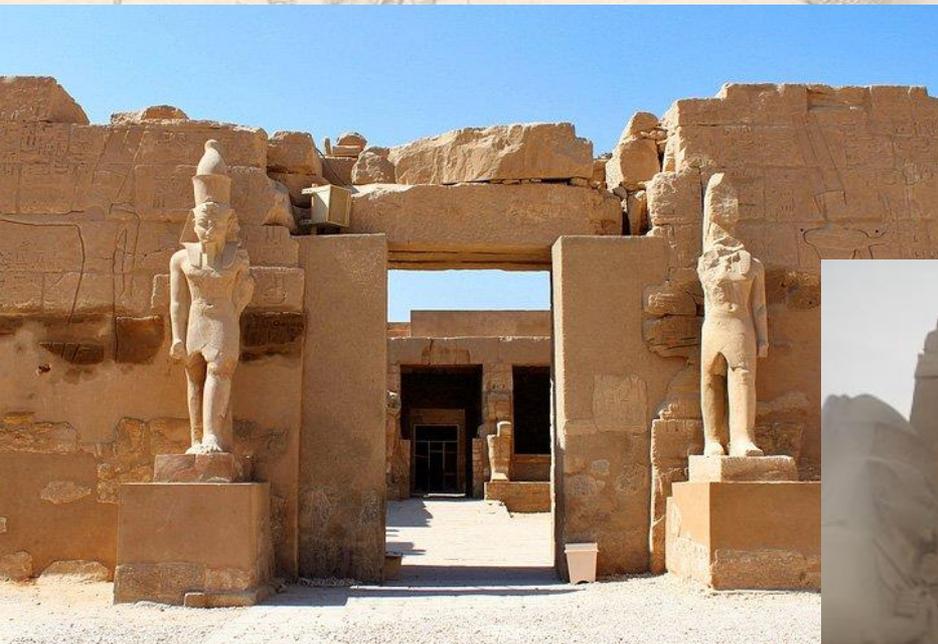
・先史時代のモニュメントの配置と向きを分析することで、それらのモニュメントを建てた人々の空間的認識を解釈することができます。

*1 Belmonte, J. A. (2015). Solar Alignments - Identification and Analysis. In *Handbook of Archaeoastronomy and Ethnoastronomy* (pp. 483-492). https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6141-8_36

*2 González-García, A. C. (2015). Lunar Alignments - Identification and Analysis. In *Handbook of Archaeoastronomy and Ethnoastronomy* (pp. 493-506). https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6141-8_37

*3 Ruggles, C. L. N. (2015). Stellar Alignments - Identification and Analysis. In *Handbook of Archaeoastronomy and Ethnoastronomy* (pp. 517-530). https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6141-8_39

天体と地上の構造物との位置関係



エジプトのカルナック神殿

カルナックの Amen 寺院
には、真冬の昇る太陽
にのみ照らされる通路
があります。



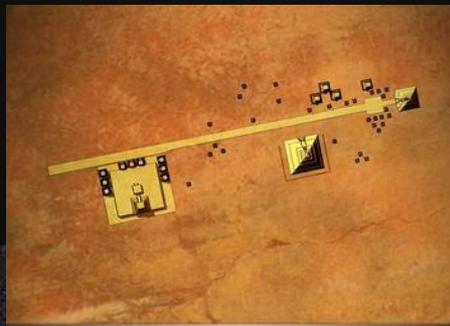
天体と地上の構造物との位置関係

クukulカンのピラミッドは年に2回、蛇のような影を作ります。

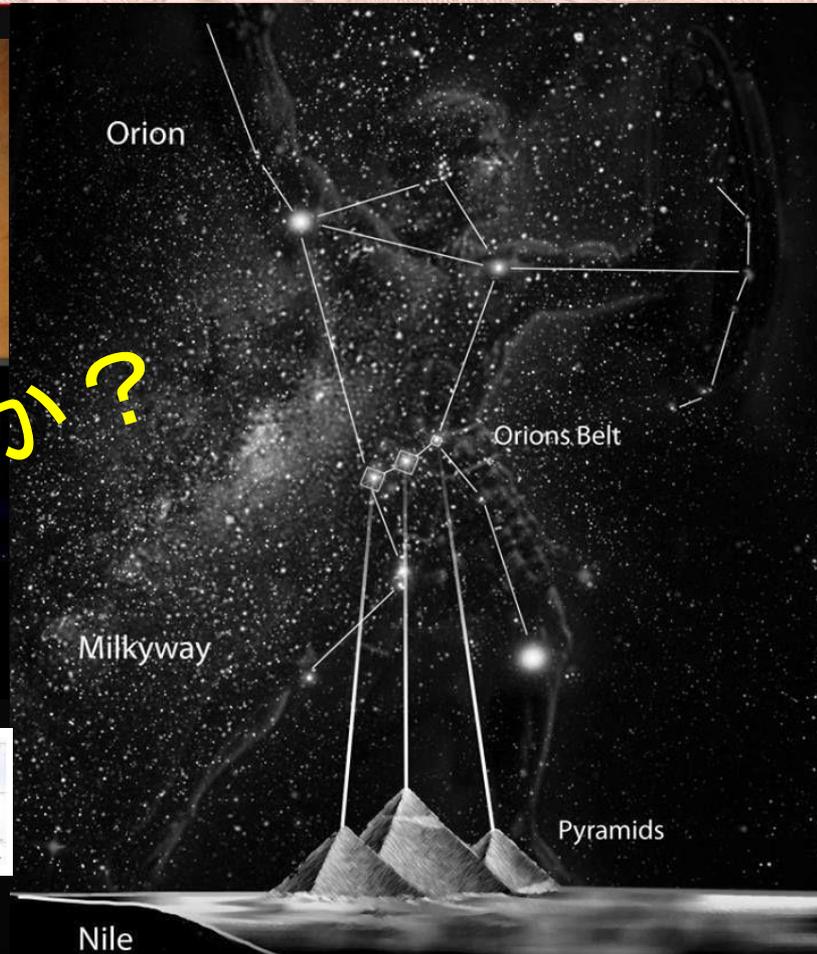
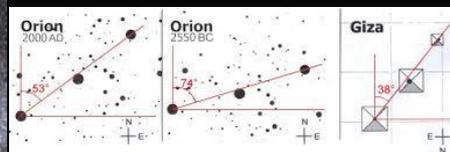
昼夜の長さが同じである場合に、それが起こります。



天体と地上の構造物との位置関係



これらは本当か？



エジプト、ギザの3大ピラミッド

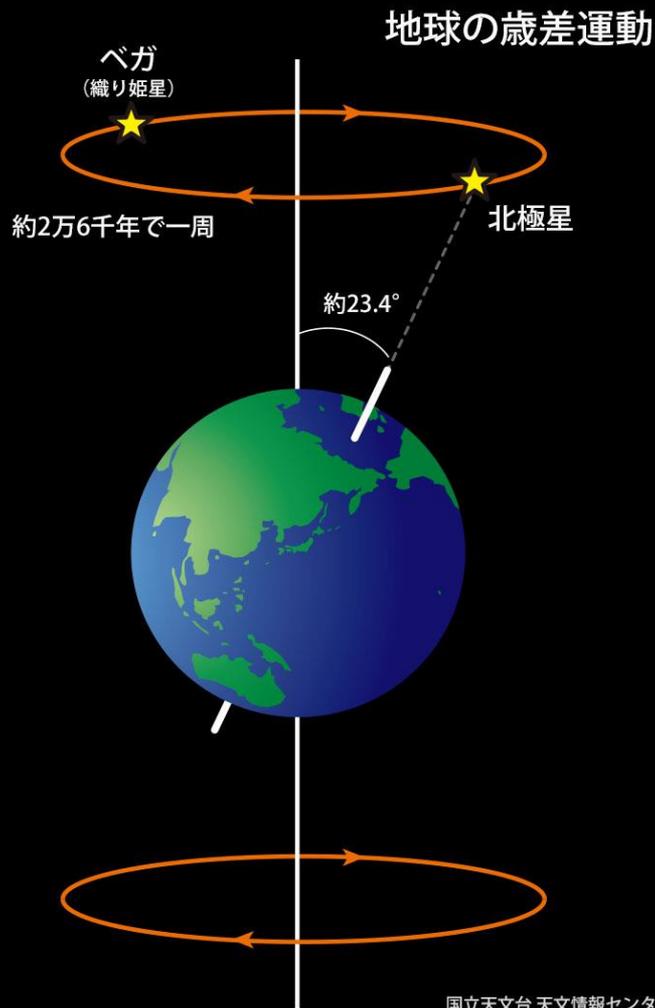
● 天体シミュレーションの必要性

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。

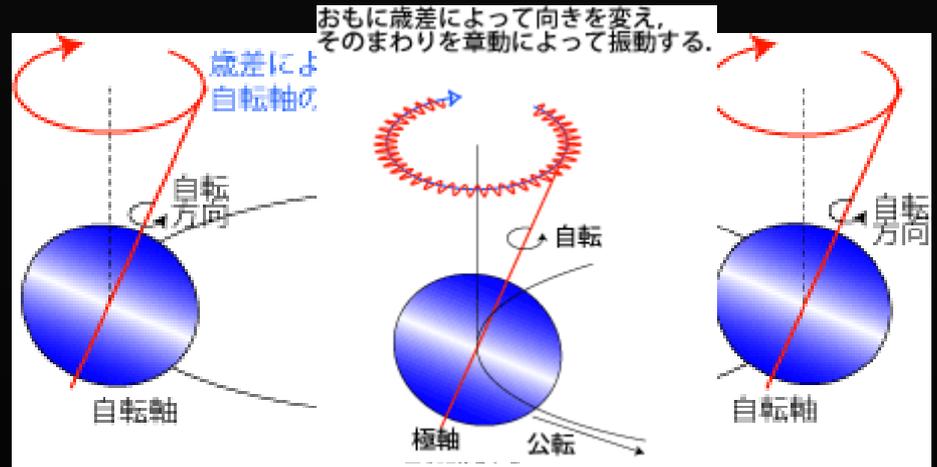


- ・星同士の物理的な動きは、数万年のタイムスケールでも肉眼では無視できるため、先史時代の初期から星座の特徴的なパターンは大きく変化していません。
- ・しかし、数十年から数世紀のタイムスケールでは、歳差と呼ばれる等軸歳差のために、星の配列全体が天球上を移動します。
- ・数十年と数世紀のタイムスケールにわたって、歳差運動は任意の星の赤緯をシフトし、したがってその上昇位置をシフトします。
- ・周極星は周極星になるのをやめるかもしれませんが、その逆もありますが、他の星は地平線の下に完全に消えるか、初めて現れるかもしれません。

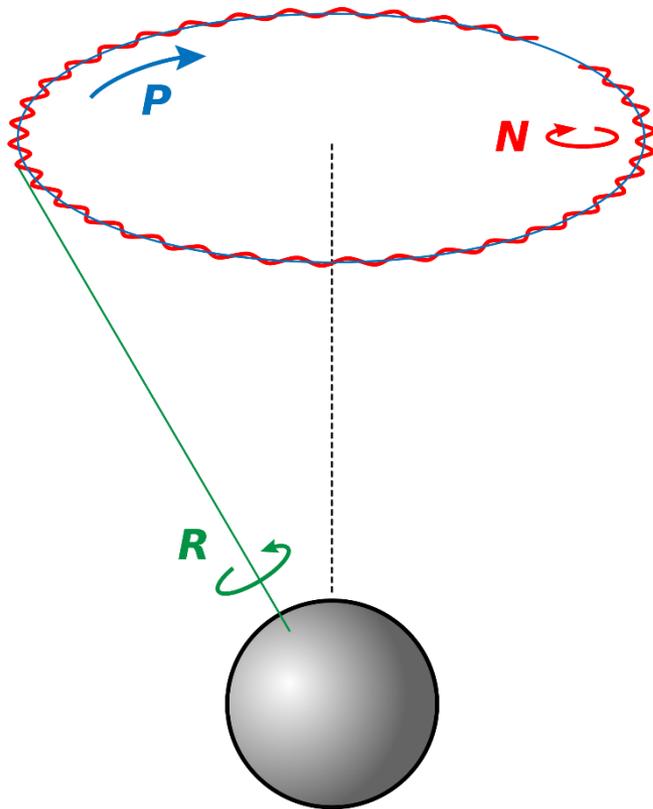
歳差・章動と地球の向きの変化



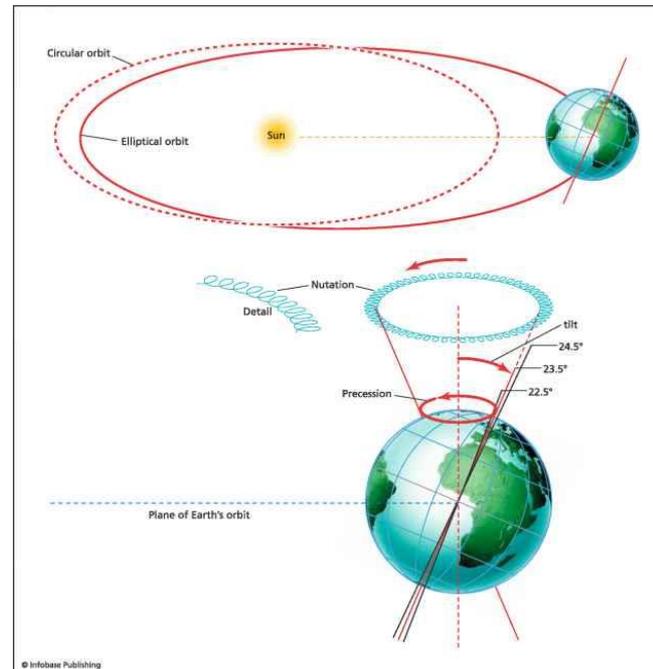
太陽の周りの年間軌道を進むにつれて、地球も1日1回、それ自体の軸を中心に回転します。これにより、宇宙で同じ方向が維持されます。歳差運動が発生するのは、遠方の星に対する地球の軸の向き(地球が太陽の周りを周回しているという事実とは無関係)が、25,800年の周期でコマのように徐々に回転するためです。



惑星の傾斜角における自転、歳差運動、章動

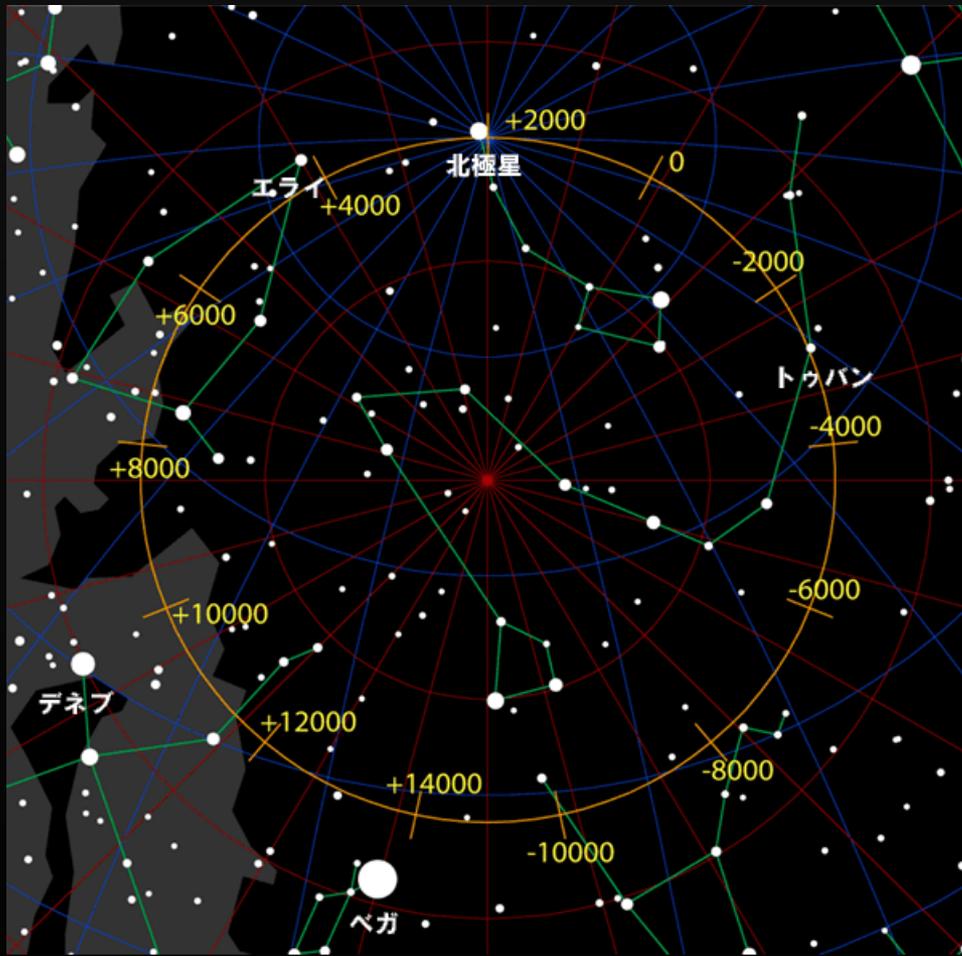


Rotation, precession,
and nutation in the obliquity of
a planet



歳差・章動と地球の向きの変化

過去における天体の見掛けの位置は、歳差等により変化します。

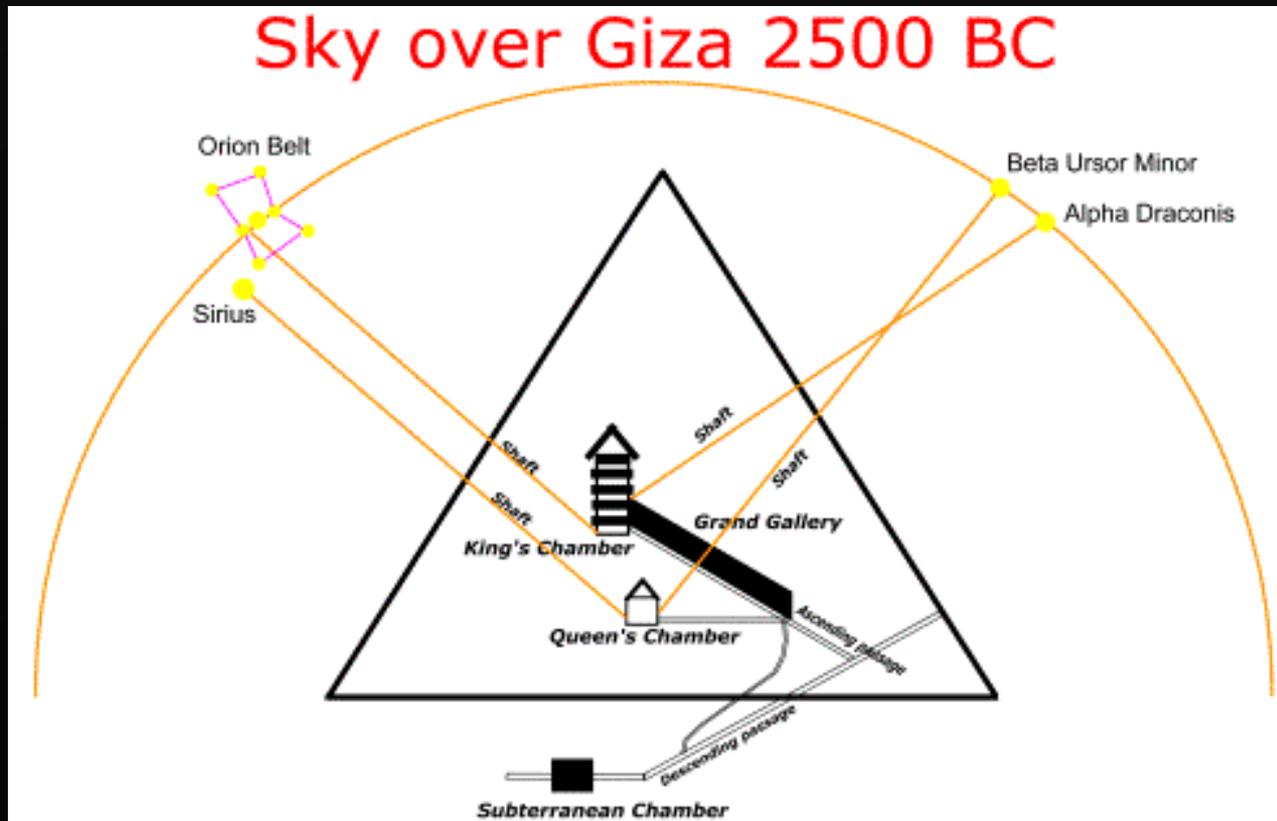


・今日の天の北極から1度以内にある北極星(ポラリス)は、西暦1600年には北極から約3度離れていました。(西暦1000年頃まで遡ると、ポラリスは極から6度離れていたため、何時頃から「北極星」として認識されたのか。)

・一方、りゅう座アルファ星(トウバン)は、今日の極からは25度離れていますが、紀元前2800年頃には1度以内であったため、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。

歳差・章動と地球の向きの変化

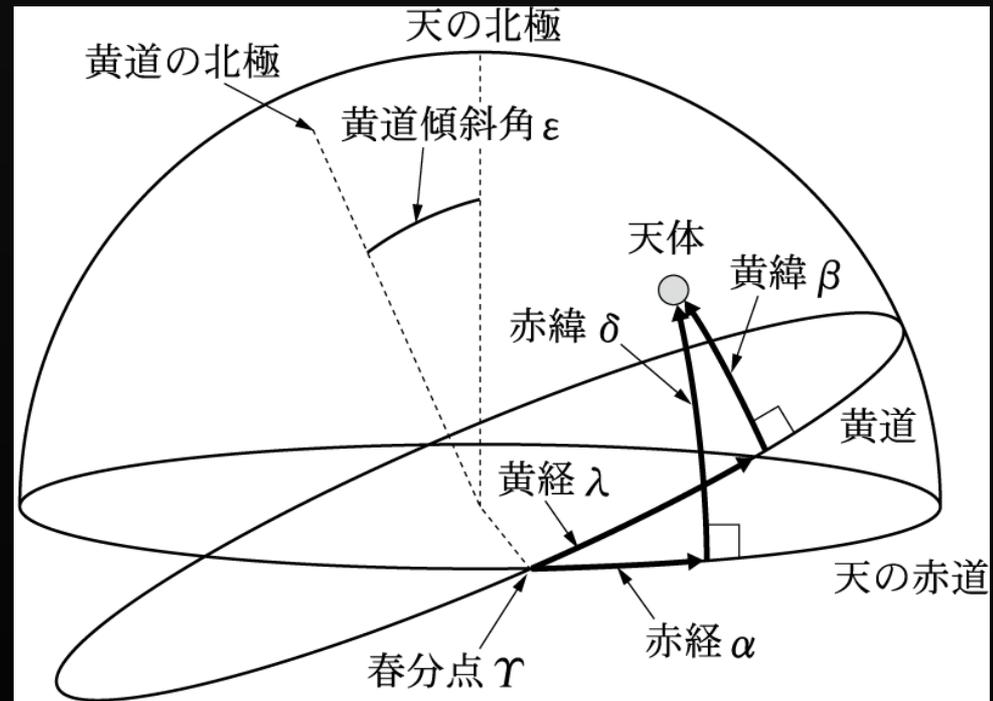
ギザのクフ王の大ピラミッド内のシャフトの1つが、意図的にその方向に配置されている可能性が指摘されています。



黄道傾斜角の変化

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。

過去数千年にわたって、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41,000年）にわたって、それは約24.4度と22.2度の限界の間で振動します。（紀元前6,000年頃に最大値に達し、西暦14,000年頃に最小値に達します。）



過去の天空と風景を再現し、視覚化する

過去における天体の見掛けの位置変化の他にも、遺構その物の保存状態も良いとは限りません。

アンコールワット



パルミラ遺跡

過去の天空と風景を再現し、視覚化する

簡単にアクセスできない場所や、歴史的建造物が地震などの自然災害や意図的な人間の行動によって破壊された場所の調査が必要になります。

ダムに沈んだ古代遺跡（ポルトガル）

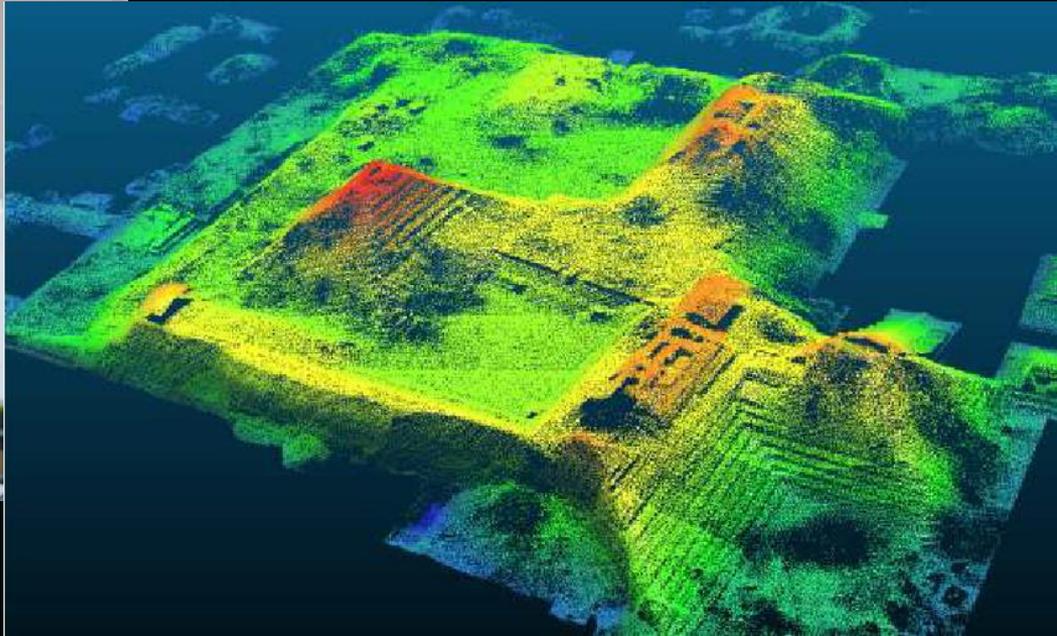


愛知県瀬戸市「大平窯跡」



過去の天空と風景を再現し、視覚化する

さらに、至点などの特定の日付での調査が必要だったり、数か月または数年にわたって観察することは困難です。そこで、興味ある遺構を実測や記録から再構築し、過去の天体現象のシミュレーションに応じた効果を仮想3D空間として体験できるコンピューターシステムの開発が望まれます。





● *arcAstro-VR* の開発目標

- ・天文学的に正しい空のシミュレーションで、先史時代の研究にも適応できる。
- ・昼光の空、薄明の現実的なシミュレーションを提示したり、パノラマ写真で地平線を飾ったりすることができる。
- ・建物の軸に沿った建築の視線(または同様に、直立した石の列など)を調査するため、各視点から、現場で撮影した写真または3Dモデルのレンダリングから、パノラマを作成することが出来る。
- ・既知のポイント、または構造を仮想空間で調査する必要がある場合。3Dランドスケープをロードできる、またはロードするように拡張出来る。



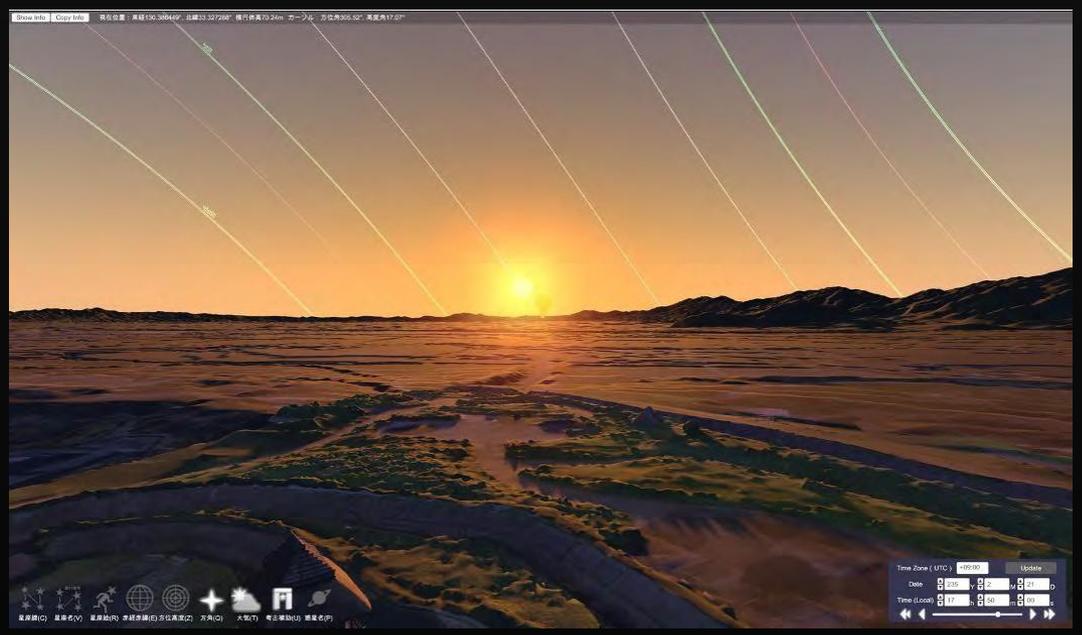
● *arcAstro-VR* の開発

- ・適切に地理参照された正確な3Dモデルを仮想空間にロードし、過去の空の再現と組み合わせた視線を識別して観察する機能、シミュレーションにより、考古構造を再構築し、仮想3Dモデルを正確にコンピューターシステムに取り込むことができます。
- ・多くの聴衆に対しても、これらの現象を明確に説明および実証することができます。
- ・今日の劣化した状態では無く、仮想再構築により、可能性のある過去のサイトの外観を再現することができます。
- ・単一の建物だけでなく、町のような大きなアセンブリが再構築され、ユーザーが自由に動き回ることができるリアルタイムシミュレーションにより、建物間の空間的関係をよりよく理解出来ます。

arcAstro-VRとは？

arcAstro-VRの紹介

- 地形、3Dデータ、天文現象をパソコンでVR再現するアプリケーションです
- LiDARやフォトグラメトリで測量したデータを3D化して可視化することができます
- VR空間の中を自由に移動したり、設定を変更してさまざまな検証が行えます



arcAstro-VRのPCモニター表示例



2024年10月13日夕方の紫金山・アトラス彗星(C/2023 A3)
©長山省吾



スーパームーン



満月の大きさをくらべ

イメージ図



2016年 最大の満月 11月14日 22時52分
視直径[※] 33分30秒角



2016年 最小の満月 4月22日 14時24分
視直径[※] 29分24秒角

※視直径は、地球の中心から月までの距離をもとに計算しています。

