

中世のコンピュータ アストロラーベとは

Astrolabe is ...

みなさん、アストロラーベをご存知でしょうか。あまり馴染みがないかもしれませんが、アストロラーベとは、中世のイスラム世界やルネサンス期のヨーロッパなどで、昔の天文学者や占星術者に広く使われていた天体観測用の機器のことです。星座早見盤のルーツであるとも言われるように、円盤の形状をしていて、各パーツが軸のまわりを回転できるようになっています。

紀元前にヨーロッパで発明され、その後、イスラム圏に伝わると様々な改良が施されました。数百にも及ぶ使い方があり、中世のコンピュータと言われてもあながち間違いではないでしょう。また、細部にわたって独自の自由な装飾が施され、工芸品としての地位を確立させていきました。現在ではオークションで1枚500,000ドルで取引されることもあるそうです。



● アストロラーベの歴史

一説によると、アストロラーベは紀元前2世紀ごろ、古代ギリシャの天文学者ヒッパルコス（BC.190頃-BC.120頃）によって発明されたとも言われています。次第にいろいろな地域で使用され、イスラム圏にも伝わりました。

イスラム世界では、たくさんの機能が追加され、8世紀頃には、まさに「魔改造」の様相を呈してきます。同時に確立されアストロラーベの数学的下地がヨーロッパへと伝わり、コペルニクスなどに影響を与えることとなります。その後も、球面アストロラーベなど新たな展開がなされ、19世紀になっても

さまざまなアストロラーベ制作が続きました。

一方、中世ヨーロッパにはイスラム圏からアストロラーベが逆輸入され、15世紀ごろには盛んに占星術に使用されるようになりました。しかし、17世紀になると振り子時計などの発明により、使われなくなっていきました。

12世紀頃になるとアジア圏にも伝わり、柳琴（1741-1788）が作成した青銅製のアストロラーベは東洋で現存する唯一のものとなっています。江戸時代初期には航海用アストロラーベが日本にもたらされました。

アストロラーベ歴史マップ

古典時代

1. B.C.220-150年頃
ギリシア（ヘレニズム文化）でアストロラーベが誕生する。発明者はヒッパルコスとされる。

2. B.C.??年頃～
アストロラーベは東ローマ帝国（ビザンツ帝国）のギリシア語圏で使われるようになる。

3. 550年頃
アレクサンドリアの哲学者ヨハネス・ピロポスがアストロラーベに関する論文を書く。これが現存する最も古い文献。

中世ヨーロッパ

9. 10C頃
イスラム勢力下のスペインから中世ヨーロッパに逆輸入され、広まってくる。

10. 15～17C頃
天文学教育の基本ツールの1つとして主に占星術のために盛んに使われる。17C中頃までにヨーロッパのいたるところで製作されるようになる。

11. 17C後半
振り子時計や天体望遠鏡などの科学装置が発明されるとヨーロッパでのアストロラーベの使用は急速に減っていく。



アジア圏

12. 12C?～
13Cまでにアストロラーベは中国に伝わっていた。1679年、解説書「Astrolabium」を李之藻とマテオ・リッチが翻訳し、アストロラーベを「渾蓋通憲儀」という名で東洋にもたらした。

13. 13C～

13Cまでにアストロラーベは中国に伝わっていた。1679年、解説書「Astrolabium」を李之藻とマテオ・リッチが翻訳し、アストロラーベを「渾蓋通憲儀」という名で東洋にもたらした。

14. 17C～

江戸時代初期（17世紀初頭）に航海用アストロラーベが日本へもたらされた。全円儀やイスタラビなどという名前と呼ばれた。

15. 18C

1787年に柳琴が青銅製のアストロラーベを制作した。これは東洋で作られた唯一現存アストロラーベである。

イスラム圏

4. 8C～イスラム黄金期
イスラム圏で使用されるようになり、発展する（角度目盛りや等方位角線の追加、カアバ神殿の方角や礼拝の時間の算出など）。

5. 8C～イスラム黄金期
製作年代がわかっていない現存する最古のものはヒジュラ暦315年（西暦927-928年）のもの。

6. 920年頃
シリアの天文学者アル=バッターニーがアストロラーベの数学的下地を確立する。コペルニクスなど中世ヨーロッパの天文学者に影響を与えている。

7. 11～13C
球面アストロラーベ・ユニバーサル型アストロラーベ・線形アストロラーベが開発される。

8. ～19C
ヨーロッパでの使用はなくなるが、アラブ世界では19Cになってもアストロラーベの製作が続く。

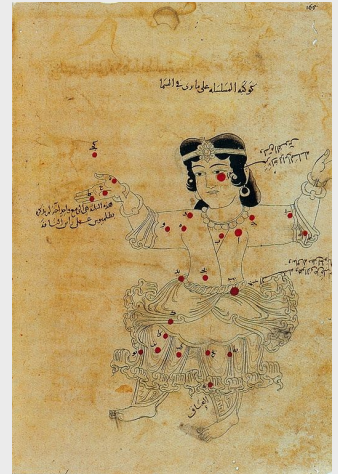
数百におよぶ使用法 アストロラーベの機能と構造

Functions and the Structure of the Astrolabe

● アストロラーベの用途

アストロラーベは中世イスラム世界でさまざまな機能が付加されて、使い方も数百にも及ぶとされています。10世紀のペルシャ人の天文学者アル=スーフィー（903頃-986）は、アストロラーベの使用法を1700章以上に渡ってまとめたと伝えられています。ただし、現存するのは全170章の縮小版のみです。その中には天文に関する以外のことも含まれ、イスラム教の実践に役立つ使用法もあるのが特徴的です。いくつか例を挙げると、次のようなものがあります。

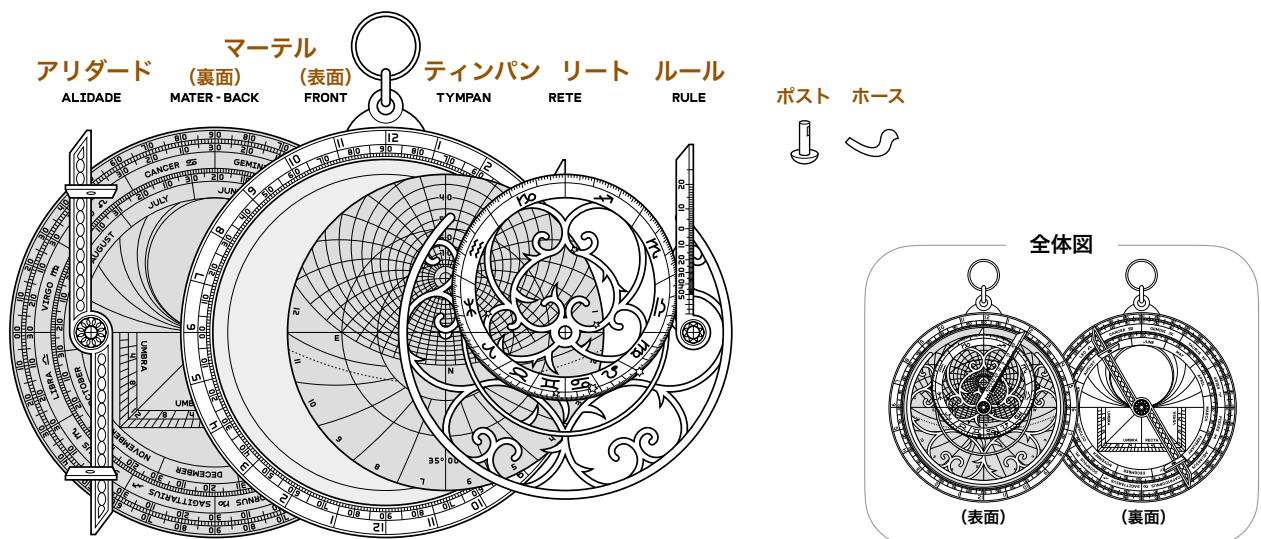
- ・ 太陽・月・惑星・恒星の位置や軌道傾斜角を測定・予測する
- ・ 任意の日にシリウスが昇る時刻を調べる
- ・ 自分のアセンダント（上昇宮：出生した瞬間の東の地平線にあたる黄道の黄経）を調べる
- ・ 現在の太陽の高度から現地時間を算出する
- ・ ある土地の緯度と経度を測定する
- ・ キブラ（カアバ神殿の方角）やサラート（礼拝）の時間を算出する
- ・ 三角比を計算する



アル=スーフィー『星座の書』にあるアストロラーベの図（1009-10年頃作成された現存最古写本）〈<https://ja.wikipedia.org/wiki/星座の書>〉

● 構造はどうなっているの？

アストロラーベはマーテル、ティムパン、リートとよばれる3枚の板と、ルール、アリダードという時計の針に似た2本の部品を重ね合わせ、それをポストとホースで止めた、全体で1枚の円盤状の構造をしています。



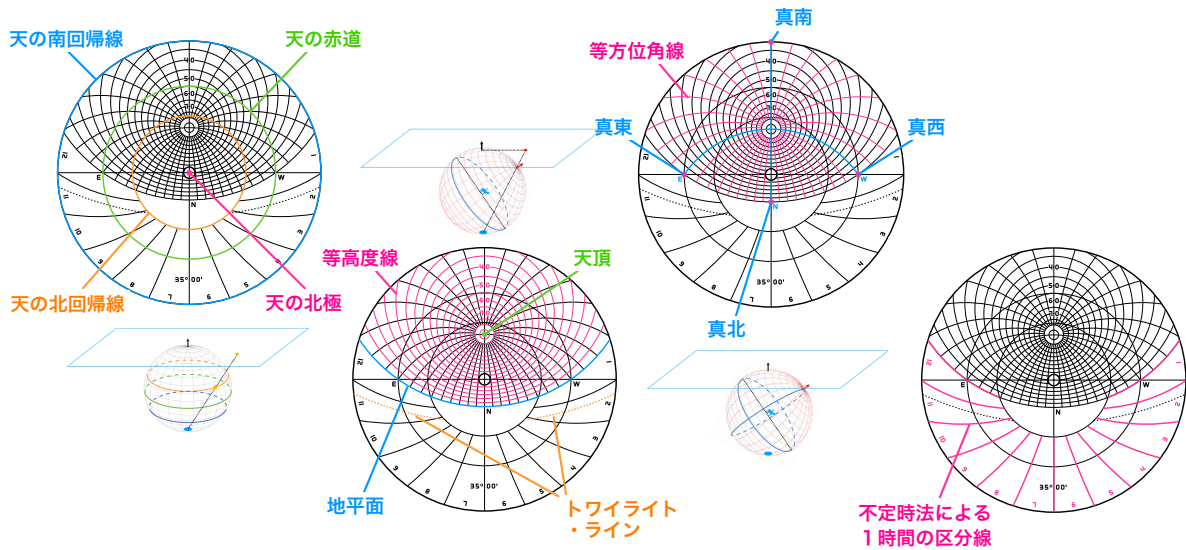
- ・ **マーテル**：周囲に時刻目盛りと角度目盛りがふられています。土台になります。
- ・ **ティムパン**：等方位角線や不定時法による1時間の区分線などが描かれています。使用する場所の緯度によって異なるものを使用します。
- ・ **リート**：天の南回帰線以北にある恒星の位置や黄道が東西を反転して描かれています。装飾性が高く、作り手の腕の見せ所です。
- ・ **ルール**：リート上での太陽の位置を示したり、時刻を割り出したりする際に使います。
- ・ **アリダード**：天体の高度を測定するときの照準器として用います。

高度な数学を駆使して描く ティムパンのステレオ投影

Tympan and Stereographic Projection

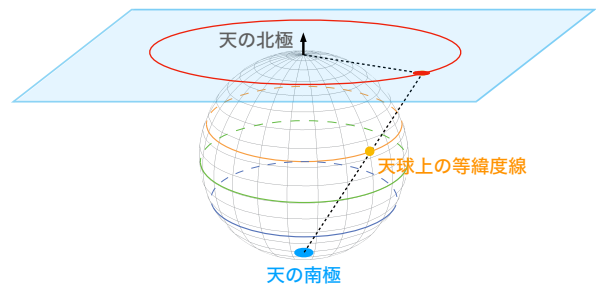
● ティムパンには曲線がいっぱい

マーテルにはめて使うティムパンには、天球面上の天の赤道や等方位角線が描かれています。しかし、当然のことながら天球面は球面をしているので、これらを平坦なティムパンに写そうとすると、「ゆがみ」が生じます。実際に下の図を見てわかるように、ティムパンはいくつもの曲線で埋め尽くされています。



● ステレオ投影を利用する

そこで利用するのがステレオ投影です。右図のように天球面上の天の南極（水色の丸）から、天球面上のある点（オレンジ色の点）を見ます。その視線が、天の北極に接する平面（青い面）と交わるところ（赤い丸）に注目します。天球上の点をオレンジ色の線に沿って1周すると、平面上の点も赤い円を描きます。これが天球面上の等緯度の線を表しています。同じようにして天球面上の点を青い面（ティムパン）に投影していくのがステレオ投影です。



演習問題に
チャレンジ

問題 6.3 世界地図の計量

地球儀の表面の計量は

$$ds^2 = a^2(d\lambda^2 + \cos^2 \lambda d\phi^2)$$

である。ここで、 a は地球儀の半径、 λ は緯度、 ϕ は経度を表す[†]。平面の世界地図の計量は、デカルト座標 x, y を用いると $ds^2 = dx^2 + dy^2$ となるが、我々にとってこの計量は役に立たない。意味があるのは球体（地球儀）の計量である。次の射影を考えるとき、球体の計量を x, y 座標を用いて表すようになるか。

- (a) 円筒上への射影（すなわち、赤道で接する円筒面上へ、地球中心からの光を射影する）
- (b) ステレオグラフ射影（すなわち、南極点に光源を置き、北極点に接する平面上に射影する）

【解】 (a) 円筒上の座標 x, y を

$$x = a\phi, \quad y = a \tan \lambda$$

で導入する。これらの座標を用いると、球面の計量は、

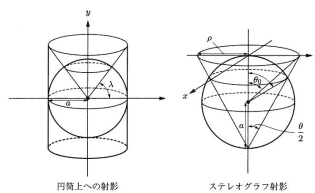
$$ds^2 = \frac{a^4 dx^2}{a^2 + y^2} + \frac{a^4 dy^2}{(a^2 + y^2)^2}$$

となる。これを $ds^2 = dx^2 + dy^2$ と比較すると、 $y = 0$ 、つまり、赤道上で最もひずみが小さくなる。

(b) ステレオグラフ射影では、通常の極角 $\theta = 90^\circ - \lambda$ を用いたほうが、少し簡単である。 (θ, ϕ) を球面上の点の座標とし、 (θ_0, ϕ_0) を射影される点の球面座標とする（図を

[†] 訳者注：それぞれ北緯と東経をプラス、南緯と西経をマイナスとし、 $-90^\circ \leq \lambda \leq 90^\circ$ 、 $-180^\circ < \phi \leq 180^\circ$ とする。

演習 相対性理論・重力理論
A.P.Lightman, W.H.Press, R.H.Price, S.A.Teukolsky
翻訳：真貝寿明、鳥居隆



参照) 明らかに $\phi_0 = \phi$ である。軸から射影された点までの距離は $\rho = 2a \tan(\theta/2)$ になるので、次の座標

$$x = \rho \cos \phi = 2a \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \cos \phi$$

$$y = \rho \sin \phi = 2a \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \sin \phi$$

を導入する。このとき、

$$ds^2 = a^2(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\phi^2) = \cos^4\left(\frac{\theta}{2}\right)(dx^2 + dy^2)$$

となる。これが確かめられる。ひずみが最も小さくなるのは、 $\theta = 0$ 付近で、北極点である。この射影は $(ds^2)_{\text{sphere}} = g(ds^2)_{\text{map}}$ となるので、共形 (conformal) といわれる。ここで、 g はある関数で、いまの場合は $\cos^4(\theta/2)$ である。共形射影は角度を保存する（問題 6.7 を見よ）。



みなさんもデザインしてみよう 現代のアストロラーベ

Today's Astrolabe

● 今、アストロラーベを作るなら……

アストロラーベは昔から占星術のための天体観測や測量などに用いられてきました。こうした実用面は他の機器にとって変わられ、たとえば、星座早見盤はアストロラーベが原型であり、最近ではタブレットやスマホを夜空にかざせば、そこにある天体が瞬時に映し出されるようになりました。一方で、アストロラーベの持つ芸術的な側面やアンティークとしての価値は衰えることなく、逆にそのファンが増えているくらいで、現在でもオークションでは驚くような値段で落札されています。

そこで、「今、アストロラーベを作るなら」、みなさんはどのようにデザインしますか？ もちろん、以前からあるように真鍮製のアンティーク風にするのも1つの選択でしょう。しかし、現代では最新の機械や昔には存在しなかった素材がたくさんあります。それらを使用しない手はありません。そして、みなさんが「私の、私による、私のためのアストロラーベ」を作ってみるのはいかがでしょうか。



球面アストロラーベ

● 現代のアストロラーベ

そこで、今回は大阪工業大学梅田キャンパスのイノベーション・ラボにあるレーザー加工機を用いて、アクリル板から各パーツを切り出して「現代版アストロラーベ」を作ってみました。アクリル板は30cmx40cmくらいのサイズで1枚千円程度で購入できます。データはpdfで用意し（今回は<https://luminareo.x0.com/asl/>のものを利用させていただきました）、加工機に繋いだコンピュータのソフトから命令を送れば自動的に切り出してくれます。あとはリートの形をどうするか、アクリルのカラーや配色

をどうするかなど、オリジナルのアストロラーベをデザインすることができます。もちろん、アクリルだけでなく、木や紙を利用することもできます。

試作品ということなので、アストロラーベの構造をわかりやすくするために透明のアクリル板を用いた「スケルトンモデル」と、昔はきっと無かったであろう真っ黒な「ダースペーダーモデル」を作りました。現代の材料と最新の機械を用いると中世の天文機器はどのような表現を持ち得るのか、これからの可能性に興味を尽きません。



試作品1：スケルトンモデル



試作品2：ダースペーダーモデル