

平成 26(2014)年 8 月 17 日

MISTEE 講座 2014 年第 2 回天体観望会

## 皆既月食観望会(十日市親水公園)

Mistee 武村精一

**MISTEE 三次科学技術教育協会**

Miyoshi Institute of Science and Technology Education

## 天体観測のポイント

本日は MISTEE 主催の天体観望会に参加していただき、ありがとうございます。皆既月食の間、月が欠ける様子を観察してみましょう。また皆既中は、空が暗くなります。満月では見えにくい、肉眼では見にくい星雲・星団や暗い惑星が見えます。特に、今回は、普段は、望遠鏡でも見る機会が少ない天王星が月のすぐ近くで見えます。



[撮影データ] カメラ : Canon Eos kiss DN  
 撮影機材:タカハシ製作所 FCT100(口径 100mm、  
 焦点距離 640mm) 直焦点 J型 撮影日:2011  
 年 12 月 10 日 22:32:02 (1/1000 秒)、23:  
 34:08(5 秒)、0:42:28 (1/800 秒) 撮影地:  
 神奈川県足柄上郡大井町 撮影者:東京理科大学  
 野田天文研究会 OB 永田 安男

## 1. 10 月 8 日(水曜)の天文データ (三次市)

旧暦	9 月 15 日	月の出時刻	17:36
日の出時刻	6:08	月の入時刻	05:33
日の入時刻	17:44	月齢(21 時現在)	14.2

## 2. 注意事項

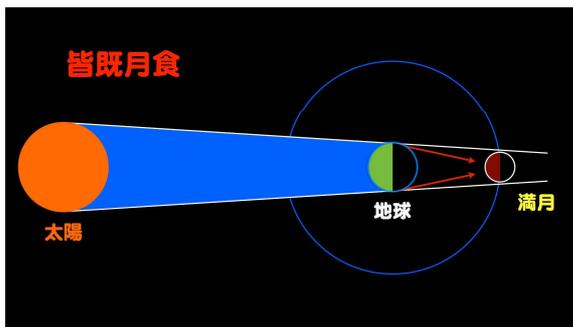
- (1) 懐中電灯は、明るくしないでください。→夜間の眼が慣れた状態で、急に明るい光が入ると、眼を傷めることがあります。
- (2) 危険な場所には立ち入らないでください。→グラウンドは広い場所です。

## 3. 月食とは

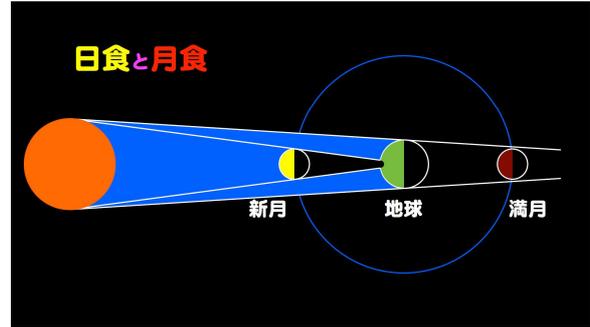
日食と月食は、太陽と地球と月の位置関係で起きるという意味では、よく似た天文現象です。太陽と地球の間に月が入って、月の影が地球に落ちるのが日食。月が太陽の反対側に行って、地球の影に月が入るのが月食です。

日食は影の落ちて限られた地域でしか見ることはできませんが、月食は月が影に入っ

てしまえば、たとえ宇宙空間から見ても月食です。そこで、月食になれば月に向けた側、地球の約半分の地域で月食を楽しむことができます。



皆既月食



日食

#### 4. 月食全体の経過の様子

(1) 東の空の様子 地上から見た全体の様子 (地平線が下になる)



月食は地球の全てで同時に起こる現象です。ただ、月食が起こっていても、この時間帯に月が地平線上になければ、月食を見ることは出来ませんから、月食を見ることの出来る場所は地球上の約半分ということになります。

(2) 月の部分の拡大図

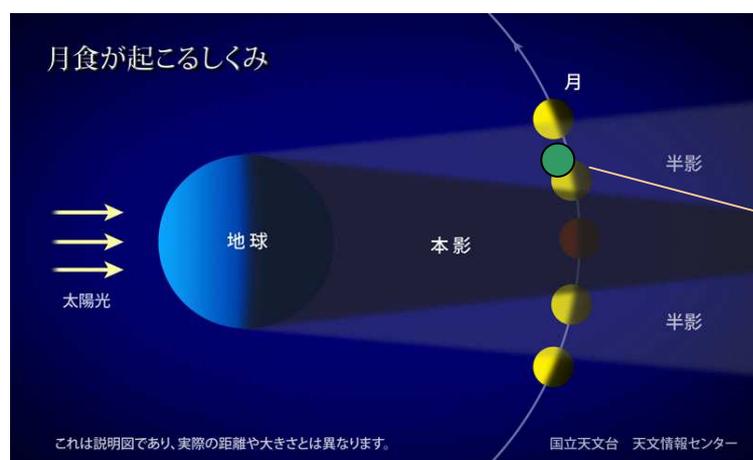
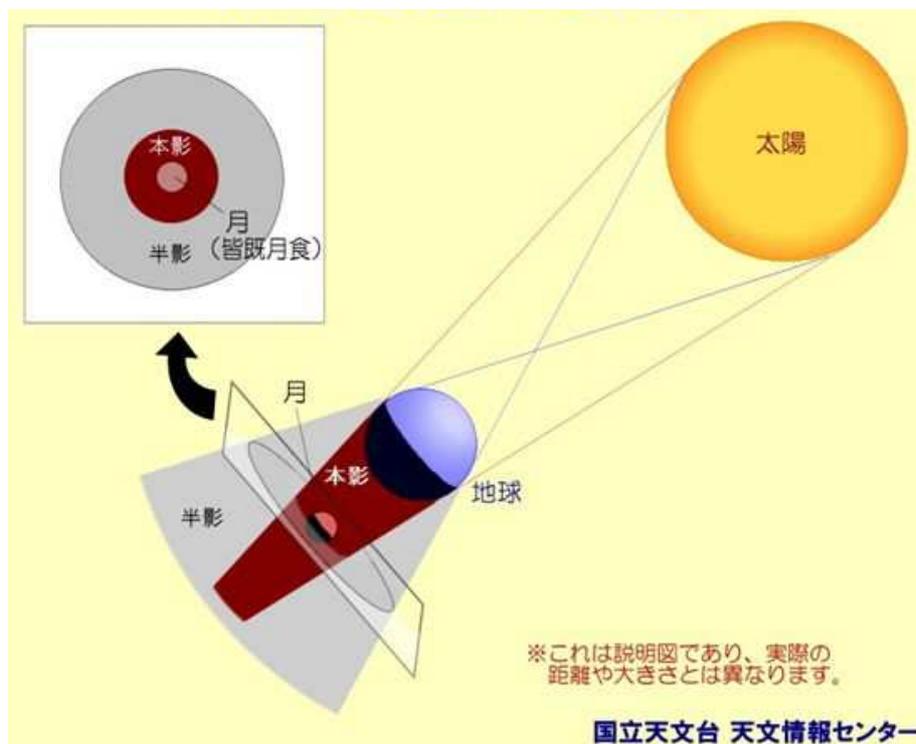


この図は地球から見た地球の影と月を表しています。地球の影に対して、月は向かって右から入って行き、左に抜けていきます。影の中に全部月が入った状態を皆既月食、部分的に入った状態を部分月食と言います。

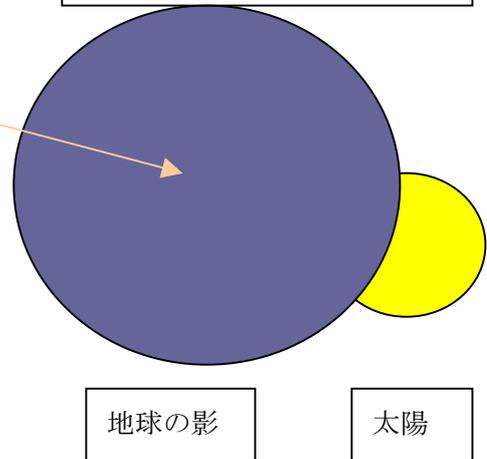
## 5. 月食がおこるしくみ

太陽の光は地球によってさえぎられて、宇宙空間に影ができています。その影には、太陽光の一部だけがさえぎられている「半影（はんえい）」と、太陽光の「ほとんど」がさえぎられた「本影（ほんえい）」の2種類があります。月からながめた場合を考えると、本影食は地球による「皆既日食」であり、半影食は「部分日食」にあたります。半影は、本影の周囲をぐるりと取り囲むように存在しており、本影も中心部へいくほど暗くなっています。

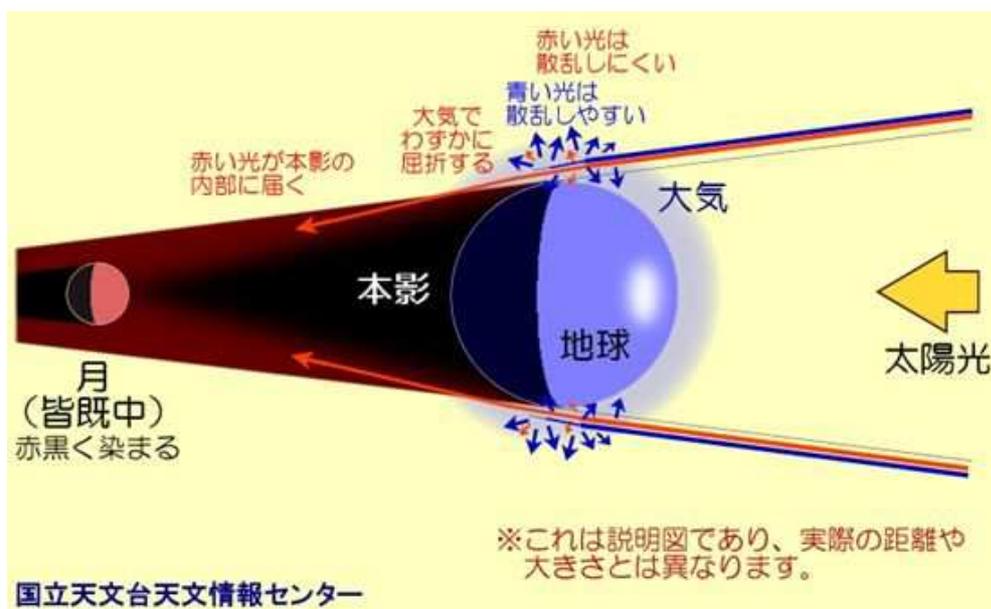
皆既月食や部分月食は、月が本影に入った時におこる現象をいい、皆既月食や部分月食の時でも、月食は必ず半影食から始まり、続いて本影食が始まります。地球の本影の直径は月の直径の2倍以上もあるため、皆既月食は、地球上の広い範囲に渡って同時に見ることができ、また、皆既月食の継続時間は、長いときでは2時間近く続くこともあります。地球上のごく一部の狭い地域で、長くてもほんの数分間しか見られない皆既日食とは随分違います。



この地点で月から太陽を見た場合の様子 (イメージ)



## 6. 皆既中の月の色 月が赤黒く染まる理由



光は密度の異なる物質を横切ると進路が曲げられ屈折します。お風呂の水の中へ手を入れた時のことを思い出してください。水面を境にして手が曲がっているように見えませんか。空気と水という密度が異なる物質を通過することで光が屈折したのです。これと同じことが地球の大気を通過する光にも起こります。

しかも、大気を通る距離が長いほど光は強く屈折します。言い換えると地表近くを通過した光ほど濃い大気を通過するので大きく屈折し、地球本影の中心まで届きます。このような理由から、皆既月食中の月は肉眼でも、ほんのり見えるのです。

とは言っても、その時によって、「赤い色」にもいろいろあるようです。たとえばその時に火山の爆発などが重なると、大気中の塵の量が増えるので、赤い光も月まで届かず黒っぽい月になるし、大気中に塵が少なければ明るいオレンジ色の月になります。

## 7. 様々な食

日食や月食があるのと同じく、月が恒星や惑星を隠してしまう現象もあり、前者を「星食(せいしょく)」、後者を「惑星食(わくせいしょく)」といいます。このようすは、月の満ち欠けによってもさまざまですが、三日月や上弦の月のころは見えやすく、1等星などの星食の場合、遠鏡を使えば昼間でも見ることができます。

星食は、望遠鏡を使えば年に100回以上見ることが可能で、星々が月に隠れるようすは興味深いものがあります。星や惑星が月のどの部分を通るかは観察する場所によって異なり、各地で観察した様子を合わせることによって、月の縁の凹凸を詳細に調べることがもできるのです。なお、天体が別の天体に隠される現象のことを、まとめて「掩蔽(えんぺい)」と呼びます。



## 土星食

2002年3月20日, 20:11 (露出 1/200 秒)

ビクセン 20cm バイザツ LV25mm アイピ  
ース(72倍)でコリメート撮影

合成焦点距離 475mm (35mm フィルム換  
算 2546mm)

オリンパス C-2020Z デジタルカメラ

レンズ...f=6.6mm (35mm フィルム換算  
f=35mm), 絞り F2.0 開放

CCD 感度...ISO400 相当

ホワイトバランス...オート

※写真の上が北の方向

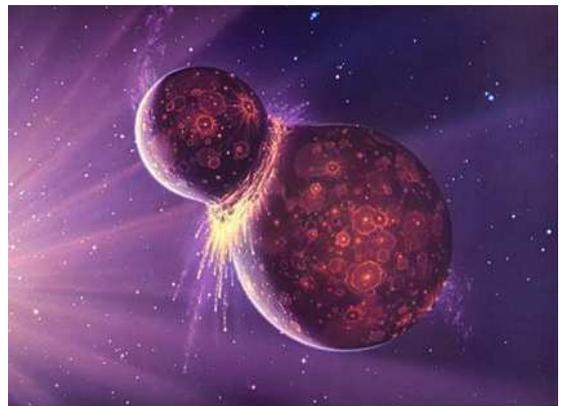
撮影者：栗田直幸

## 8. 月の起源とクレータ

### (1) 月の起源

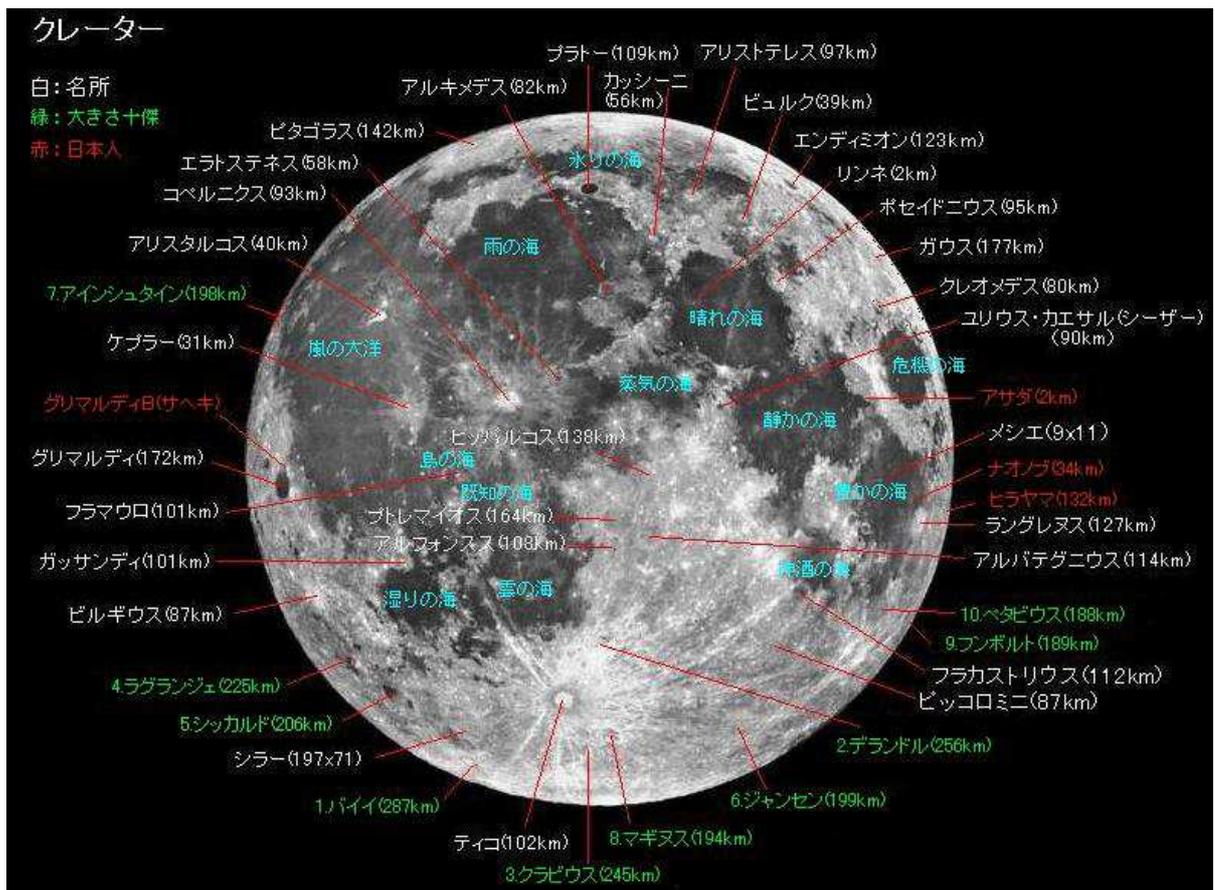
従来までは、捕獲説、分裂説、双子集積説などが唱えられていました。最近になって、これらの説では説明できなかった事柄を説明できる理論として、『巨大衝突説』(ジャイアント・インパクト説)が、にわかに注目を浴びてきました。

誕生してまもなくの原始地球に火星くらいの大きさの巨大な天体が衝突し、その衝撃で飛び散った原始地球と衝突天体、両者の



のマントル物質が軌道上で集積して、月を形成したとする説です(下の図を参照)。この巨大衝突説は、これまで考えられてきた、捕獲説、分裂説、双子集積説のちょうど間をとったような形になっています。これまでのところ、月に関する事実をうまく説明できるため、現在ではこの説がもっとも有力とされています。

## (2) 表面の様子とクレータ



双眼鏡や望遠鏡で月を見ると、火山のカルデラのような窪地がたくさん見えます。これはクレータといい、ほとんどが、隕石が衝突したときの衝撃でできたものです。そのために隕石孔といういい方もあります。クレータの直径は200kmを越えるものもあります。地球の火山のカルデラでは、最大クラスの阿蘇山が23km×14kmである。これとと比較すると、いかに大きいかがわかります。

月には大気や水がないので、地球みたいな活発な風化作用・侵食作用はないが、太陽に光を浴びるときと浴びないときの大きな温度差による風化作用、隕石が衝突することに侵食作用があります。他にも宇宙から飛び込んでくる細かい粒子や、太陽からの荷電粒子をもろに浴びています。それに対して地球は大気や磁場があり、それである程度防いでいます。こうして表面は細かい砂にまで砕かれて、レゴリスにおおわれています。レゴリスは、月の岩石がたび重なる天体の衝突によってこなごなになったものです。その厚さは海の部分で2~8m、長い間衝突にさらされた高地では厚さ20mにも達します。

## (3) 月の海ができた原因

月が誕生した初期には表面から深さ数百キロメートルに及ぶ領域は溶けており、巨大なマグマの海ができていたと考えられています。このマグマの海が冷えるにつれて、いろいろな鉱物が結晶していきますが、軽くて白っぽい斜長石の結晶は表面に浮かび、重くて黒っぽい輝石やかんらん石の結晶はマグマの海の底に沈みました。

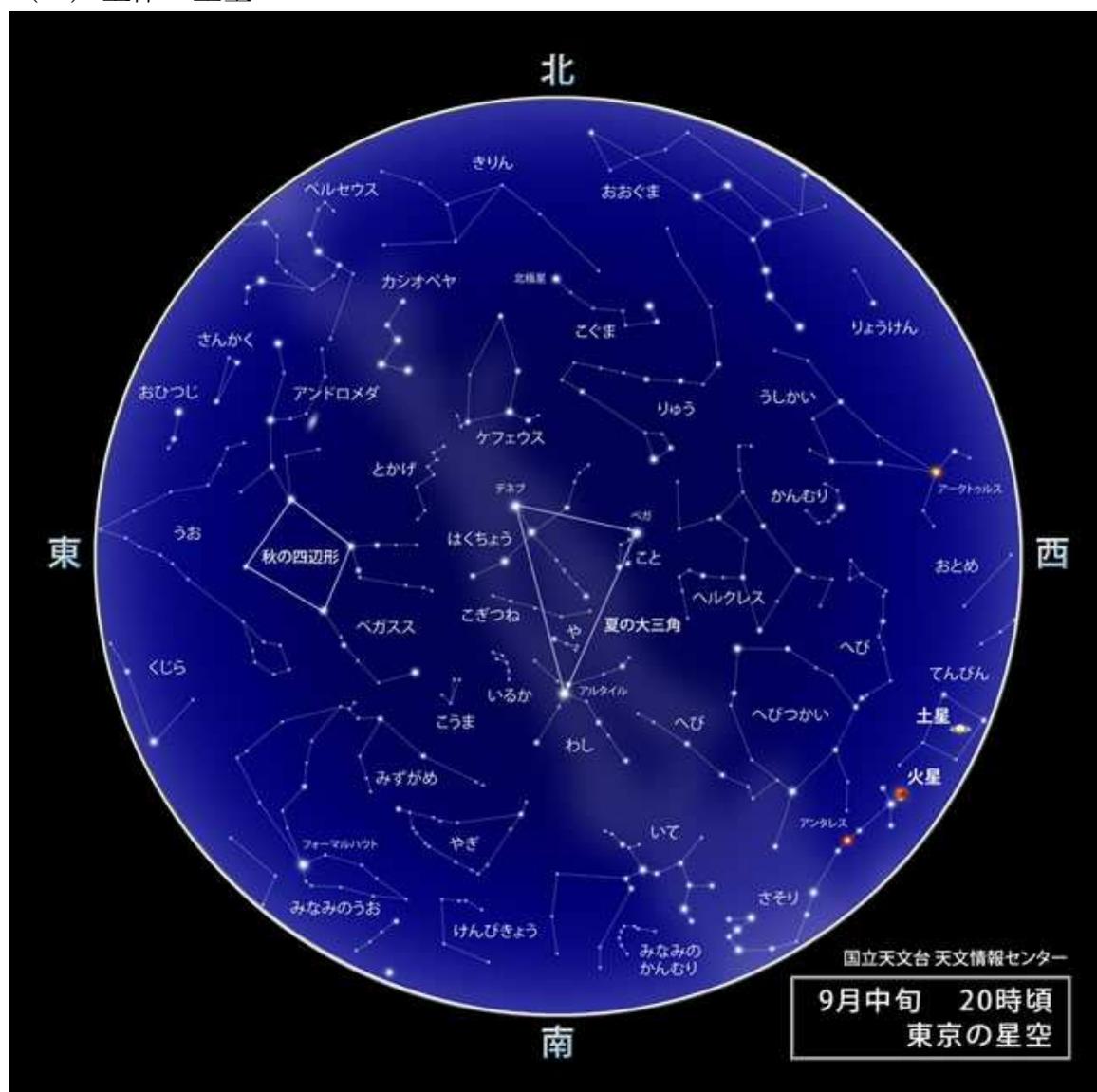
誕生から 5.5 億年ほど経った今から 40 億年ほど前に、直径数十キロメートルの巨大な隕石が月に衝突し、直径数百キロメートルから千数百キロメートルという巨大な盆地ができました。さらに数千～数億年後には、表面から数百キロメートル部分でカリウム、ウランなどの放射性元素の崩壊熱によって岩石の一部が溶け、玄武岩質マグマができました。これが上昇して衝突盆地を埋め、海となったのです。

(4) 月の探査機 かぐや →最後の別紙 1 参照

(5) 月の水の発見 →最後の別紙 1 参照

## 9. 皆既中の空の様子 20：00

### (1) 全体の星空



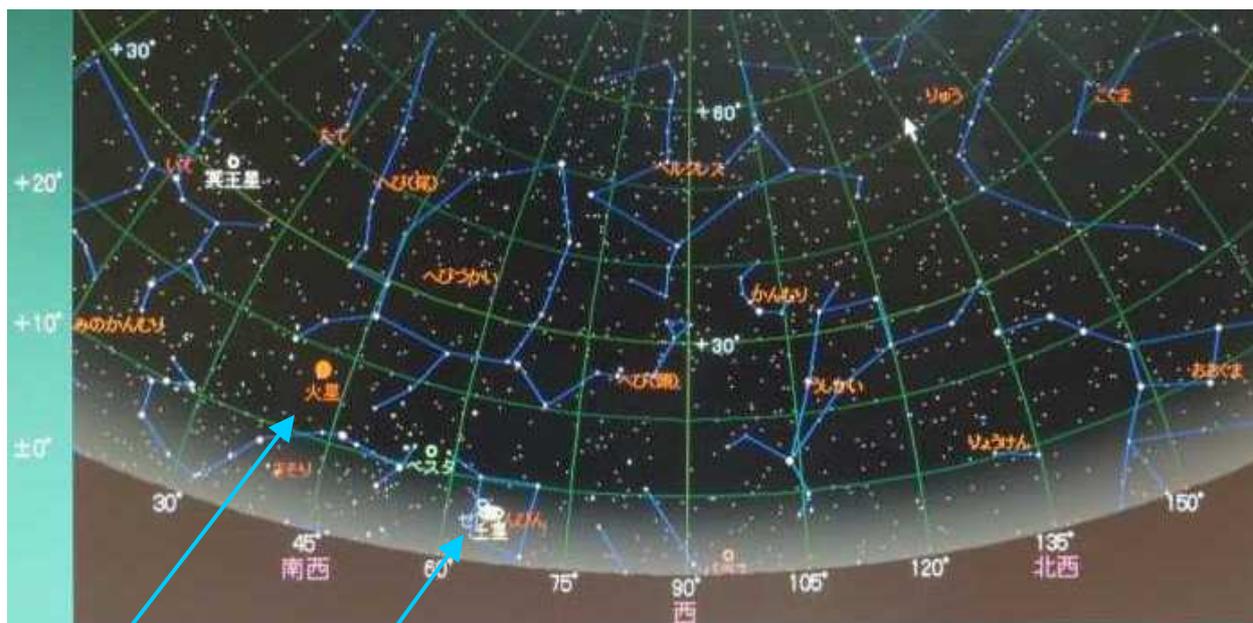
夏の星空の目印は、東の空の明るい3つの星で作る夏の大三角です。まず東の空の高いところで輝く星を見つけます。これは〈こと座〉のベガです。

ベガから右下に下がったところに、1つの明るい星と、両わきにやや暗い星が並んでいるのが見つかります。明るい星は〈わし座〉のアルタイルです。

ベガとアルタイルは、七夕（たなばた）伝説の織り姫と彦星です。これら2つの星の間には、伝説と同じように、天の川が流れています。夏の天の川は、ほかの季節よりも明るく、はっきりと見えます。月のない晩の深夜、空気のきれいなところで頭の上を見上げてみてください。眼が夜空の暗さになれるころ、南から北に流れる天の川が見えてきます。さてベガとアルタイルの左側には、天の川の上を翼で橋渡しするように〈はくちょう座〉があります。シッポの星デネブと、先ほどのベガとアルタイルを結ぶ三角を夏の大三角とよんでいます。



(1) 西の空 以下の使用ソフト つるちゃんプラネタリウム

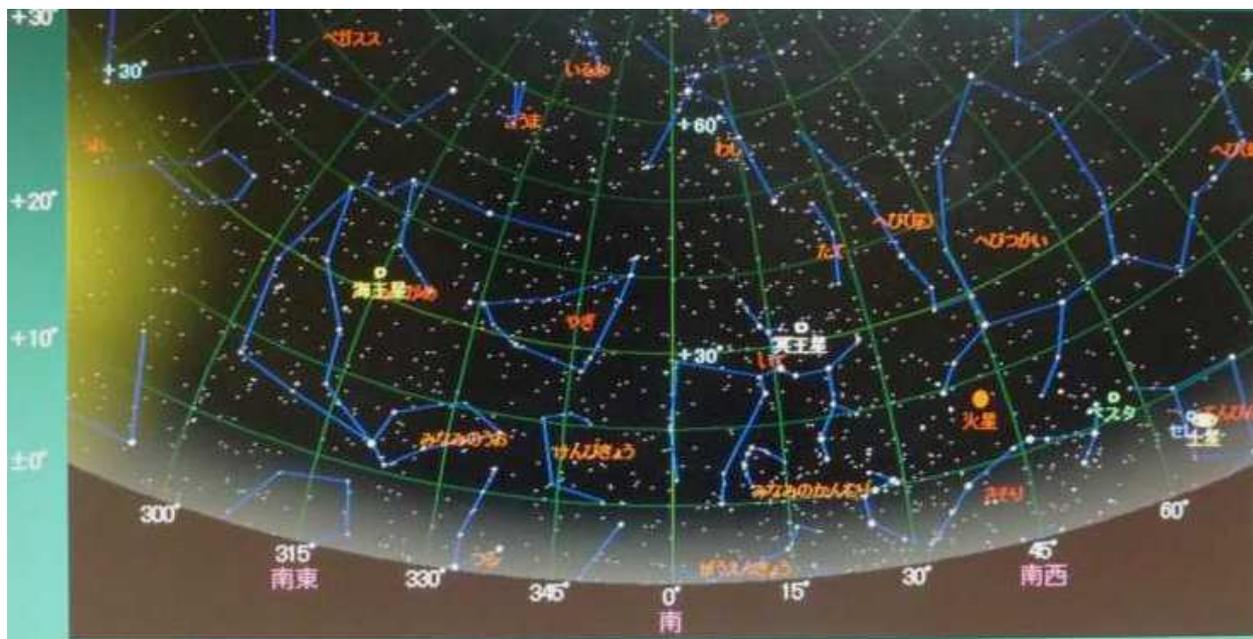


火星

土星

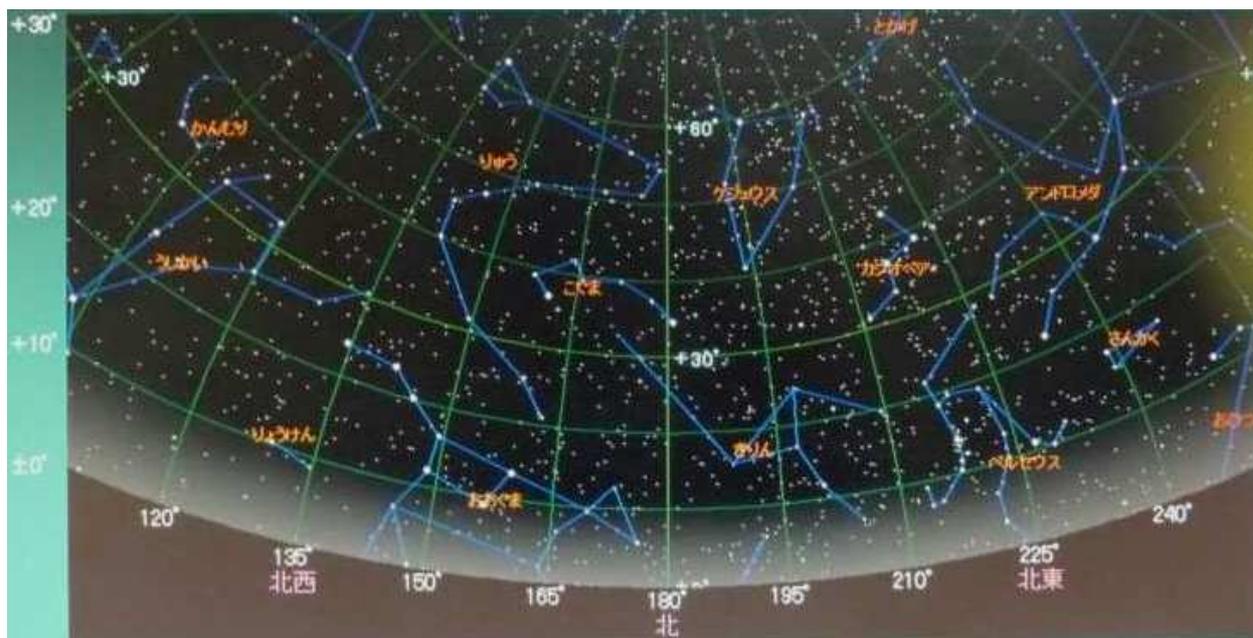
沈みつつある夏の星座と火星、土星が見えます。

(2) 南の空

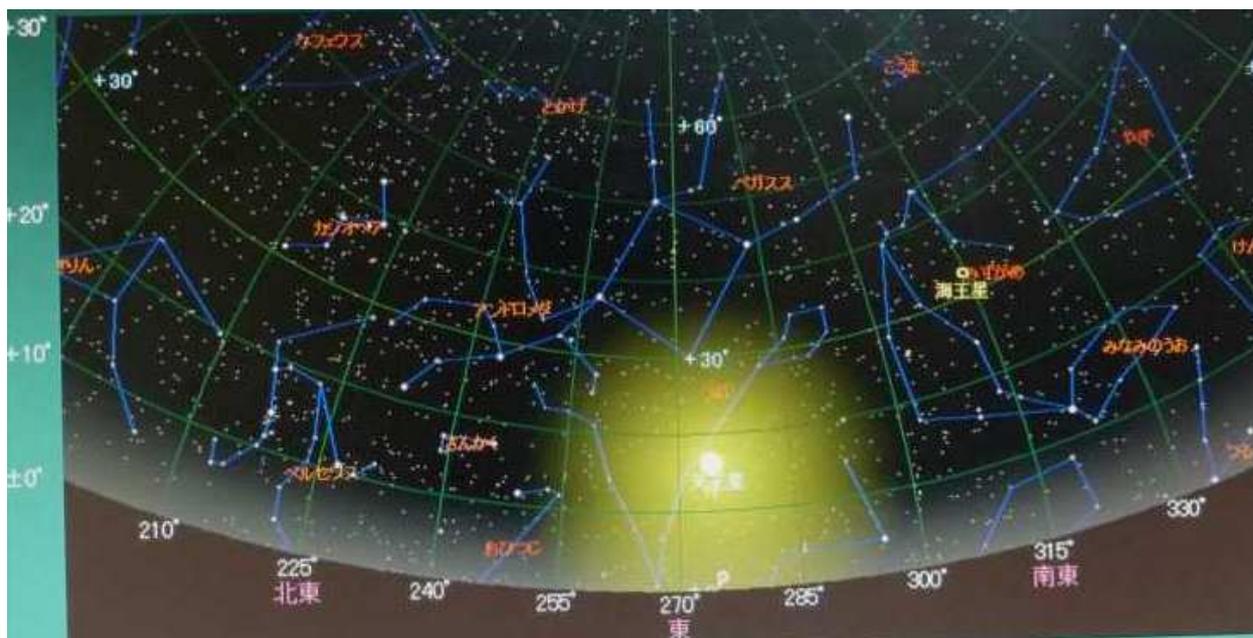


皆既中の月が余り明るくない場合、南の空には、夏から秋の星座が見られます。南東の方角には、この時期では唯一の秋の星座の1等星 南のうお座 フォーマルフォールトがあります。

(3) 北の空



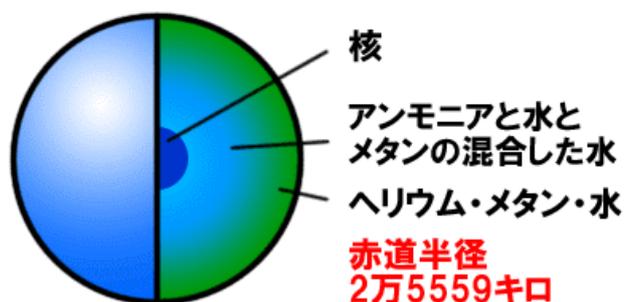
(4) 西の空と天王星



20 : 00 の月と天王星の部分の拡大図

## 10. 天王星、地球、月などのデータ

天王星は、昔から何回も観測されてはいましたが、惑星だということは知られていませんでした。もっとも古い観測の記録は1690年のイギリスの天文学者ジョン・フラムスティードによるものです。その後、1781年に、同じくイギリスの天文学者ウィリアム・ハーシェルが発見し、天王星が動く惑星であることを確認しました。



最初ハーシェルはいろいろ手助けしてくれたイギリス国王ジョージ3世にちなみ、この惑星をジョージの星と名づけました。名前に関するアイディアがでましたが、最後にドイツの天文学者ヨハン・ボーデが考えたウラヌス（天王星）に決まりました。成分の多くは水素、残りはヘリウムとメタンになっています。それから内部には、水とメタン、アンモニアの氷があって、中心には岩石の核（かく）があると言われています。メタンの雲が赤い光を吸収してしまうので、天王星は青く見えます。

太陽系の惑星 名称	英語表記	半径 (km)	体積	質量	密度	自転周期	公転周期
太陽	Sun	696,000	1,304,000	332,946	1.41	25.38	-
水星	Mercury	2,440	0.056	0.05527	5.43	58.65	0.2409
金星	Venus	6,052	0.857	0.8150	5.24	243.02	0.6152
地球	Earth	6,378	1	1	5.52	0.9973	1
火星	Mars	3,397	0.151	0.1074	3.93	1.0260	1.8809
木星	Jupiter	71,492	1,321	317.83	1.33	0.414	11.862
土星	Saturn	60,268	755	95.16	0.69	0.444	29.458
天王星	Uranus	25,559	63	14.54	1.27	0.718	84.022
海王星	Neptune	24,764	58	17.15	1.64	0.671	164.774
冥王星	Pluto	1,137	0.006	0.0023	2.21	6.387	247.796
月	Moon	1,738	0.0203	0.0123	3.34	27.3217	-

太陽は「恒星」。月は「地球の衛星」。体積、質量は「地球=1」とした場合。密度は「g/cm<sup>3</sup>」。自転周期は「日」。公転周期は「年」。

### (1) 月の探査 かぐや

1960～70年代に行われたアポロ計画により、月のことは既によく分かっているはずだと多くの方は考えるでしょう。しかし、意外なことにアポロ計画で月の詳しい写真が撮られたのは赤道のプラスマイナス20度、月の20%弱というごく一部にすぎなかったのです。アポロ計画後、本格的な月探査を行ったのが、日本の月探査機「かぐや」です。2007年に打ち上げられた「かぐや」は約2年間、14もの観測機器で、世界で初めて月を科学的に調べ尽くしました。さらに、月の地平線から地球が上る「地球の出」を鮮明なハイビジョン映像でとらえ、新しい視点と月体験をもたらしたのです。特に月の水の探査という点で、「かぐや」が貢献したのは、氷がある有力候補と考えられる南極のシャクルトン・クレーター内を詳細に観測したこと。そして月の地形を10mの細かさで判別できる精度の高い、月全体の地形図を作ったことでした。



観測を行う かぐや のイメージ図  
JAXA 提供

### (2) 月の水の発見

月に探査機自体が突入し、月の地質に水があるかどうかを調べるという目的で、NASAの探査機「エルクロス」が打ち上げられたのは2009年6月でした。ターゲットは月の南極にある「カベウスクレーター」です。しかし、月に物体を衝突させ、内部から氷などの物質が舞い上がったとして、どうやって観測すればいいのか？頭を悩ませながら開発チームが出したアイデアは、衝突を2段階に分けることでした。

まず第1段階で、探査機エルクロスから衝突体「セントロール・ロケット」を分離して、月に衝突させる。そして月地質から出てくる物質を、探査機「エルクロス」がその真上から観測。第2段階では「エルクロス」自体が月に衝突し、その様子を宇宙にあるハッブル宇宙望遠鏡や地上の大型望遠鏡で観測するという計画でした。2009年10月9日、まず「セントロール・ロケット」がマッハ約7.5もの高速でカベウスクレーターに激突しました。

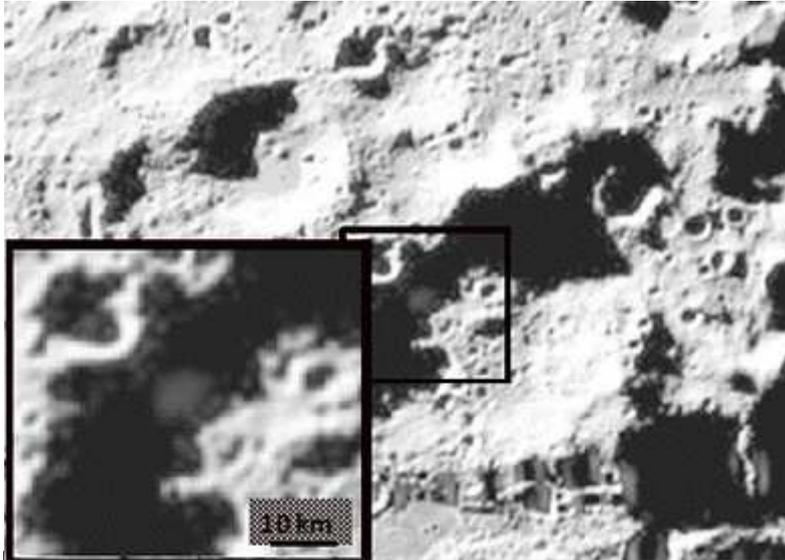
何十億年もクレーターの底に眠っていた物質が、月面の空に舞い上がります。「エルクロス」はその瞬間を見逃さず3種類のカメラで撮影すると同時に、数種類の機器で観測し、データを地球に送信することに成功しました。

そして、その6分後に探査機「エルクロス」が月面に衝突。「エルクロス」の衝突は残念ながら観測されなかったものの、「エルクロス」が地上に送信したデータから貴重な情報が得られます。

NASAは月内部から噴出した物質を詳しく分析した結果、近赤外線データのデータが水蒸気と氷の混合物のデータと一致したこと、また、紫外線のデータが、水とちりの

化合物が出す特徴と一致したことなど、水が存在する数々の証拠が見つかったのです。その量は研究者たちの予想をはるかに上回るものでした。カベウスクレーターの表土に含まれる物質の約 5.6%が氷からできているという驚くべき事実が明らかになったのです。

### (3) 月の水から広がる人類の未来



エルクロスが撮影した、セントールロケット衝突直後の画像。左下が衝突時の噴出物の拡大画像  
photo by nasa

人間が生きていく上で、水は欠かせないものです。例えば、地球の上空約 400km を飛行している国際宇宙ステーションで生活する宇宙飛行士たちは、飲み水や生活用水として1日に約 3.5 リットルの水が必要です。初期には地上から水を運んでいましたが、国際宇宙ステーションにコップ 1 杯の水を運ぶ費用が 30 万円以上かかるため、NASA は尿から飲料水を作る再生装置を使うことで必要な水をまかなっています。

月面に水を運ぶとなれば、さらにコストがかかります。また、水が必要なのは飲料水のためだけではありません。月は真空で空気がないため、水があれば呼吸に必要な酸素を作ることできるし、月面基地をコンクリートで作る建設資材として使うこともできるのです。

月面で人間が生活し、さらに月面基地や天文台を作るなど活動範囲を広げていくには、水の存在がどうしても必要なのです。では、仮に月で人が生活できるようになったとして、月の未来はどう変わるのでしょうか？

月は地球に対していつも同じ面を向けていますが、地球から見えない裏側は、雑音となる地球の電磁波が届かないため、天文観測の「理想郷」と考えられています。また月にあると期待されているヘリウム 3 やアルミニウムなどの資源が見つかる可能性もあり、今後、宇宙研究は飛躍的に進むでしょう。

さらに月から「地球の出」を見たいという観光客も訪れるはずです。小惑星や火星に向かう前に宇宙飛行士達は月で訓練を行っているかもしれません。月には新しい職業が次々に生まれ、果ては月に永住する人も…。このように、月の水が実用化されることで広がる人類の可能性は無限大です。さらなる月の水の探査に期待しましょう。