

この広い宇宙いっぱい II 「恒星」

2016年11月13日 2017年10月11日改 別当勉

プロローグ

第1回は、太陽系に人類の観察メスがどのように入ったのか、古代ギリシャの英才たちの功績を順繰りたどってきた。そして、中世の暗闇時代に光を放ち続けたプトレマイオスの『アルmagest』において、古代ギリシャの理論が如何に積み上げられてきたか、その仕組みを明らかにしてきた。望遠鏡が当たり前と観念している現代の私たち、それが無かった時代を思いやりながらも、少なからず蔑視することもあった。肉眼で観測することがどれほどの労苦を招いたか。メガネやコンタクトレンズのお世話になっている私たちは、素直に脱帽すべきである。それでも、コペルニクスとケプラーが真の幾何学的、科学的考察を加えて、太陽系の惑星軌道の大部分を解明した。

私見ではあるが、科学者というのは己れの理論と解析手法にこだわる体質を持つことがうかがわれる。ルネサンスのド真ん中でガリレオが、おそらく歴史的には初めてになるのだろうか、自分のツール（治具）として生まれたばかりの望遠鏡にこだわり手に入れ、その稚拙な遠メガネを使いこなして見事に木星の四つの衛星の発見、金星の満ち欠けを観測した。これは、イタリア・ルネサンスという芸術と工芸が極められた時代が後押しした結果でもある。すなわち、工学者というかエンジニアの登場である。しかも、天文学者や物理学者もそれに染まり始めた。ティコ・ブラーエは、古来の六分儀などによるが、自前の天文台を建設して膨大な肉眼観測データを集積した。ニュートンさえも望遠鏡の光学メカニズムに着目して反射望遠鏡を考案したという。恒星を見極めるためには、今や、天体望遠鏡が不可欠である。我が国のスバルの8m反射鏡の放物線鏡面の精細加工と、据付け時の自重負荷による鏡面歪みの補正などにおける技術の粋を、NHKの報道で見せつけられた。それに付加するCCDカメラも高度化し、光を分析するための分光器または特殊フィルター、シンチレーション（ゆらぎ）補正器など精密な付属機器類も果てしがたい。かつ、観測画像のデジタル・データ収集にコンピュータは欠かせなくなった。高性能望遠鏡でも観測できないブラックホールや、星々の過去と未来まで、コンピュータ・シミュレーションによりその仕組みと動態シナリオを解き明かそうとする。もはや、天文学者、物理学者にはIT自体が、幾何や代数と同じレベルで必須の習得技術となってきている。いや、近い将来にエンジニアが天体物理学者を従えるケースが生じるかもしれない。

このようにサイエンスとエンジニアリングが融合している状況下で、私たちは消化しきれないほどの情報を前にして、宇宙に分け入ろうとしている。

だから、やみくもに突入することではなく、エポック・メイキングな星々に絞って切り込んでいくことにしよう。そうすることによって、この広い宇宙の数えきれない出来事や新たな発見にも連想という知的機能が働いて意外に理解できるにちがいない。

まずは、太陽に一番近い、と言っても4.2光年だから光速の1/100（秒速3千km）で飛べば最短で400年以上かかるけれども、近隣の恒星から始めよう。エッジワース・カイパーベルト付近のボイジャー兄弟（秒速20km程度）を、思索ワープで追い越すことになる。

星座と恒星

夜空にきらめく無数の星々は、どのように分別して何から観ればよいのだろうか。

じっと見ていると動かないで輝く星、だから恒星というのだが、狩の獲物でも動くから判る。惑星も周期的に動いたからその軌道が調べられた。古代ギリシャの天文学者ピッパルコス、明るい星々を観察して等級を定めて分類した。これが歴史的には初めて恒星を分別した実績と言われている。

誰でもどこかで聞いたような星座と一等星（**ゴシック**）は、次のようなものであろうか。

オリオン座：Orion **ベテルギウス**：冬の大三角、**リゲル**、三連星、オリオン星雲

星座のキングであり、オリオン（米語：オライオン）はギリシャ神話における巨人の狩人である。海神ポセイドンの息子オリオンはメロペ姫を見染め、彼女の父オイノピオンに許しを請うが、凶暴な大獅子退治が条件とされる。見事に成敗したが。神話は長い。オリオン星雲は、景観上も、天体物理学上も共に人気最高。

白鳥座：Cygnus **デネブ**：夏の大三角、サドル、X 1

人類が初めて太陽からの距離が測定された61番星とか、ブラックホール：白鳥座X 1を特定できたことで有名。なお、南十字星に対して、サドル星（胸）を中心とした北十字星ともいう。天の川をまたいで飛ぶ姿は、鳥の王者ゆえん。スパルタ王の妃レダに横恋慕したゼウスは、愛の女神アフロディーテに驚んでももらい、自分は白鳥になって驚に襲われるという得意の狂言を講じる神話。

大犬座：Canis Major **シリウス**：冬の大三角

シリウスとは「輝くもの」という意味。中国では「天狼星」とも呼ばれ、青色巨星。全天で一番明るい。中島みゆき作詞作曲のプロジェクトX主題歌「地上の星」に出てくる。巨人狩人オリオンが連れていた猟犬という神話がある。

小犬座：Canis Minor **プロキオン**：冬の大三角

プロキオンとは「犬の前に」という意味。猟師アクタイオンの猟犬メラnposの神話がある。アクタイオンは半人半馬のケンタウルス族の賢者ケイロンに弓術を学んで猟師になった。月の処女神アルテミスの水浴を見てしまい、鹿にされてメラnposに襲われる。

大熊座：Ursa Major ドゥベ

日本では北斗七星として知れ渡り、民衆は「ひしゃく」の形を当てて探し易いようにしてきた。神話では、月の処女神アルテミスの待女カリストにゼウスが恋慕し、息子アルカルが生まれた。嫉妬した女神ヘーラーが彼女を熊にしたが、やがて大人になった狩人アルカルが母熊を退治する瞬間に二人ともゼウスが天に上げた。カリストを大熊にアルカルを小熊にして。

小熊座：Ursa Minor ポラリス：北極星（二等星）

これこそ、古代ギリシャ人が天は動くとは勘違いした星空の日周運動の現在の中心である。紀元前2000年頃には、竜座のアルファ星ツバンが北極星であった。地球の歳差運動：約26,000年／回転による。

カシオペア座：Cassiopeia カフ、シェダル

W字形の星座で北の空で目立つ。カシオペアとはエチオピア王の妃の名である。その娘がアンドロメダ姫。（ギリシャ神話）

琴座：Lyra **ヴェガ**：織姫（織女星）、夏の大三角

豎琴の名手、吟遊詩人オルフェウスの悲劇が背景にある。死んだ妻のエウリディケに会うために冥府に落ち、冥王プルトの許しを得て妻を連れ帰るときに見てはいけない妻を振り返って見てしまった。これで再度の別離となったが、これを憐れんだ神が豎琴を天に上げた。ヴェガとは「落ちる鷲」の意味で、鷲座のアルタイル、白鳥座のデネブとともに、夏の大三角をなす。ヴェガは13,000年後に北極星となるが、13,000年前もそうだった。

鷲座：Aquila **アルタイル**：彦星（牽牛星）、夏の大三角

アルタイルとは「飛翔する鷲」の意である。

トロヤの美少年ガニメデスを大神ゼウスが鷲に化けてさらって囲う神話。

蠍座：Scorpius **アンタレス**

火星の赤さに対向する赤色超巨星アンタレスという意味合いがあり、天空最大級の超巨星でもある。オリオンを暗殺するために、大神ゼウスの妃である女神ヘーラーが大蠍に化けた。

ケンタウルス座：Centaurus **αケンタウリ、ハダル**

南天の星座。ケンタウルスとは伝説の半人半馬のことで、ケンタウルス族をなした。αケンタウリ星は、地球に最隣接する恒星である。最近、その三連星のうち一つであるプロキシマbに地球に似た水の惑星が発見されたという。

乙女座：Virgo **スピカ**

純白のスピカは、大神ゼウスと法の女神テミスの娘アストライアの姿という。スピカとはラテン語で穀物の意味である。神話は続くが長い。

射手座：Sagittarius ルクバト

南天の星座。ルクバトは膝という意味の名前の星で、いて座のケイロンの膝の部分にあたる星。ケイロンはケンタウルス族（半人半馬）の賢者で、文武両道の勇者でもある。弓を引いている姿は隣の蠍座のアンタレスを狙っているという。この星座は、天の川銀河の中心に重なっている。

アンドロメダ座：Andromeda アルフェラッツ、**アンドロメダ銀河**

α星アルフェラッツは、ペガサス座と共有している。王妃カシオペアの娘のアンドロメダ姫の姿を現す。20世紀にはM31アンドロメダ銀河で有名になった。

ケフェウス座：Cepheus アルデミラン、ガーネット・スター

カシオペア王妃とアンドロメダ姫が付き添うケフェウス王の姿である。アルデミランは、西暦7500年には北極星になるという。ガーネット・スターはハーシェルが名付けたガーネット色の美しい星。

ケフェウス座 δ 型変光星 (Cepheid variable) は英語読みでセファイドと呼ばれ、宇宙の距離測定で重宝がられた最初の星。

牡牛座：Taurus **アルデバラン**、プレアデス星団 (昴)、かに星雲

散開星団のスピルで有名。谷村新司の歌にもなった。また、ヒアデス星団もあり、その中のアルデバランは一等星。牡牛の角の先にあるかに星雲があり、超新星爆発の名残が広がるパノラマには誰しも眼を奪われる。

フェニキア王のエウロペ姫に懸想した大神ゼウスが純白の牡牛に化けてエウロペを乗せて拉致する神話。この牡牛が駆け回った大陸をヨーロッパと呼ぶようになった。英字はいずれも“Europe”。

竜骨座：Carina **カノープス**、 η (イータ)カリーナ星雲

アルゴ号の冒険神話における四つの星座のうちの一つ。この星座にある一等星カノープスは、南天に輝き南の地平線をすれすれに動くので、北半球では見つけにくい。この名はトロイ戦争での水先案内人に由来すると伝えられている。中国では南極老人星。

竜骨座 η (イータ) 星は、太陽質量の70倍と30倍の大質量星同士の連星でいまにも超新星爆発しそう。それを含むイータカリーナ星雲は、広大なまだら模様の星雲で、天文学的研究をそそる部分が多い。

ランドマーク同様にスカイマークとしても星座を目印にした古代ギリシャ時代、民衆が覚えやすいように神話をあてはめた。これにより、農民が作付けや刈入れの期日を知り得たこと、旅人や航海者が迷わずに目的地に着けるナビゲーションになったことなどから、誰もが覚えたにちがいない。欧米人と話すときには、常識として神話と星座を知らなければ冗談すら理解できない。16世紀頃から大航海時代が始まり、南洋航海で必須のナビゲーションのために、南半球の夜空に新たな星座を名付けたほど重要だったのだ。また、あやしげな予言や占いにも星座は活躍して黄道12宮なるものが定められ、占星術なるものにまで使われた。

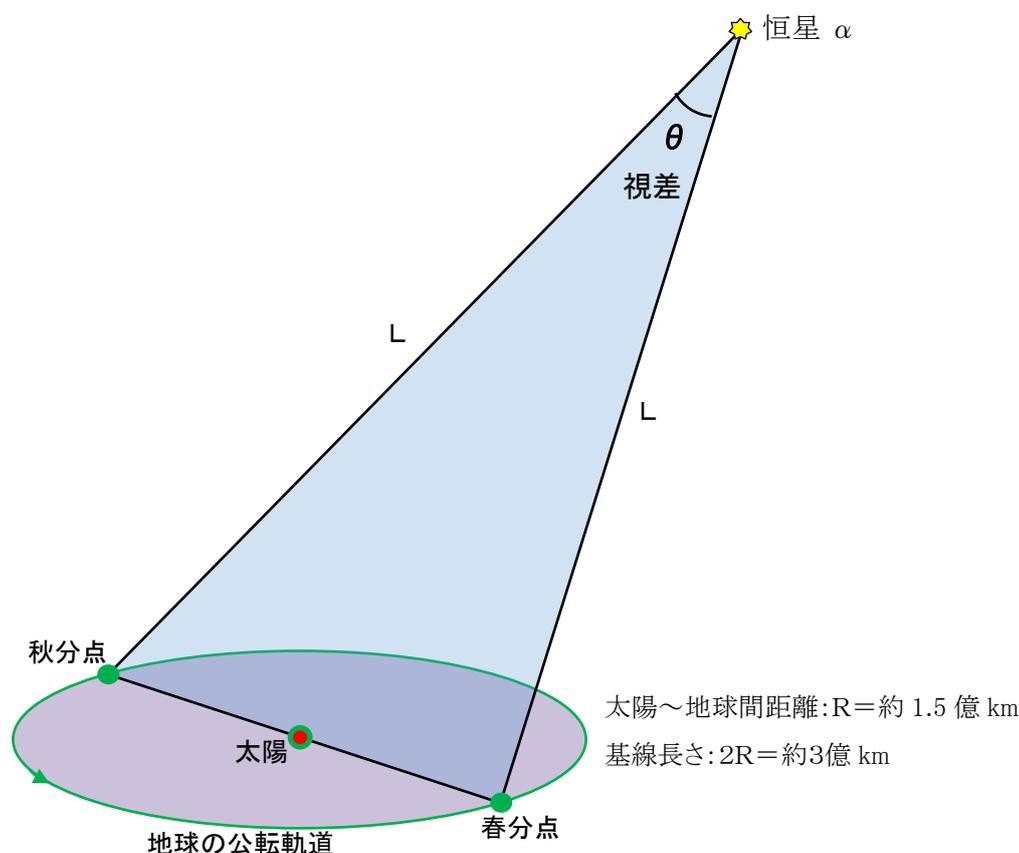
いずれにしても、恒星を知る上で星座を基にする必要がある。夜空を見上げるときに必ず参考になるからである。現在の第一線の天文学者や天体物理学者さえ、星座を覚えなければ「あの星座のあの星の近く」というふうに場所を大雑把に指し示すことができない。厳密には、天の赤道を基準にした赤経・赤緯の度分秒で、すなわち天の座標で指定することになる。これにより、例えば、危ない彗星や小惑星を見つけた場合に、世界各地の天文台に通知すれば即座に望遠鏡を向けることができ、危険な天体が地球の裏側に消えても追跡できるメリットは大きい。

太陽系近傍の恒星

19世紀になると、世界中で天文台が建設され始めた。天文学者の最大の関心事は、恒星の視差測定である。それによって恒星までの距離が判明する。しかしながら、地上では基線をいくら長くしても数千km程度であり、それでも視差が出ない。つまり、どの星も視線角度に差が出ない。真っすぐの道で車をドライブしていると側面の遠くの山の頂上の形が変わっていくのがわかる。それが視差である。

狙いの恒星を頂点とした極細の三角形の底辺＝基線を伸ばせば良いということで、地球軌道を使うことにした。つまり、春分と秋分点を使えば、なんと基線は3億kmの長さになるから、地上の10万倍である。

この方法は図にすると、次のようである。



これにより視差が測れば、 $2R = \theta \cdot L$ により、恒星 α までの距離 L が計算できる。

厳密には、基線長： $2R$ は恒星を中心にした円の“弦”であって“円弧”ではない。円弧＝ N ならば、 $N = \theta \cdot L$ となるが、秒角単位の視差： θ になると限りなく弦と弧は近づき

$$N \approx 2R$$

と解せる。円周は“ $2\pi r$ ”という公式が基になっているとおり、円周の一部分は弧といい、角度はラジアンで定義される。すなわち、1秒角＝ $2\pi / (360^\circ \times 60分 \times 60秒)$ というラジアン値になるが、計算は度分秒でなく、この値を用いなければならない。

この考えで近接していると思われる恒星の視差を測ったところ、なんと、1秒角に満たなかった。さすがに天文学者達も驚愕したにちがいない。それほど星々は遠い存在だったのだ。

年周視差：1秒角とは、次のとおり天文学上の距離単位として定義されている。

1パーセク: 1 per second = 3.26 光年 \approx 約 30 兆 km

(パーセクとはパーセコンドの略で、セコンドとは秒のことである。)

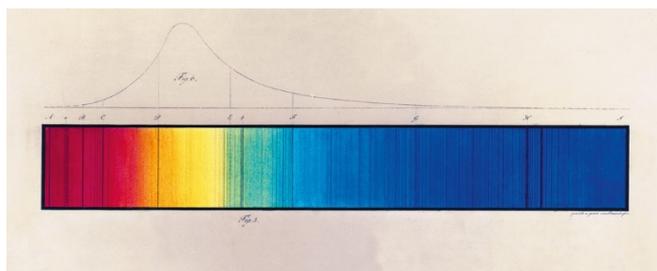
したがって、1秒角に満たないということは、3.26光年以上の距離があることを意味する。太陽系は、オールトの雲までがほしい1光年であるから、それを越えると一番近い α ケンタウリ星との空間は、完全に何も無い絶対真空と言っても過言ではない。凄まじい宇宙の物理とも言える。(厳密には星間物質の極めて希薄なガスがある。)

さて、年周視差の測定に挑んだ三人の天文学者たちの話にする。18世紀までは、カッシーニやホイヘンス、ハーシェルなど名高い天文学者たちがいくら観測しても年周視差を誰一人、検出できなかった。19世紀になると、世界各地に天文台と高精度望遠鏡が続々と設置され始めた。1838年から1839年にドイツのベッセル、エストニア(ロシア)のストルーベ、および南アフリカ(大英帝国)のヘンダーソンの三人は競うように恒星の年周視差測定競争に走った。結果として、次のようにベッセルが金メダルに輝いたのだが、この人は円筒函数を分析した功績により、その名に“ベッセル函数”と冠された高名な数学者フリードリヒ・ヴィルヘルム・ベッセルでもあった。

コンペティター	狙いの恒星	年周視差[秒角]	
ベッセル:	白鳥座61番星	0.314	0.287(現在値)
ヘンダーソン:	ケンタウルス座 α 星(α ケンタウリ)	1.16	0.755(現在値)
ストルーベ:	琴座 α 星(ヴェガ)	0.262	0.124(現在値)

今日的測定値からのズレは、それぞれ9%、35%、53%であるから、やはりベッセルの精度は優れていた。距離的に一番近い α ケンタウリが視差最大であるから、誤差は最小となるはずだが、望遠鏡の性能と測定方法の精密さに格差があったのかもしれない。ちなみに、ベッセルは“ヘリオメーター”(0.3秒角の精度)なる付加装置を使ったという。

また、ベッセルが使用したケーニッヒスベルク天文台に納められた望遠鏡は、当時は最高のガラス技術者であったフラウンホーファーが作った口径16cmの屈折望遠鏡であった。このガラス職人フラウンホーファー(ヨゼフ・フォン・フラウンホーファー(1787-1826))は、当時の随一の望遠鏡製作技術者でありながら、太陽光の虹色を観測・分析して輝線と暗線(吸収線)を精密に画像化したことでも有名になり、いまだに彼の業績は天文学で光り続けている(次図)。ただし、輝線と暗線はなにゆえに発生するのか分析するまでには至らなかった。やがて、まさかこれが遠ざかる星や銀河の距離測定に「ドップラー・シフトの赤方偏移」として使われるなどとは夢にも思わなかったにちがいない。



<https://www.fraunhofer.de/de/ueber-fraunhofer/profil-selbstverstaendnis/geschichte-fraunhofer/joseph-von-fraunhofer.html>

現在の最新データ、すなわちあの“ヒッパルコス衛星”の精密データにより裏付けられた太陽系近傍の恒星までの距離は、次表のとおりである。

表. 主な恒星～太陽間の距離

恒星	星座	年周視差	距離:光年	備考
α ケンタウリ	ケンタウルス座	0.755	4.4	ゲル(A)とB星、 プロキシマの3連星。
プロキシマ・ケンタウリ	ケンタウルス座	—	4.2	
バーナード星	蛇遣い座	0.548	5.9	赤色矮星
ウォルフ359	獅子座	0.421	7.8	
BD+36° 2147	大熊座	0.393	8.2	
ロイデン 726-8(A・B)	鯨座	0.387	8.7	2連星
シリウス(A・B)	大犬座	0.379	8.6	2連星。B星は白色矮星。
ロス 154(いて座 V1216)	射手座	0.337	9.7	
ロス 248	アンドロメダ座	0.314	10.3	
ロス 128	乙女座	0.298	10.9	
白鳥座 61 番星(A・B・C)	白鳥座	0.287	11.4	3連星
プロキオン(A・B)	小犬座	0.285	11.4	2連星。B星は白色矮星。
プロキシマ・ドラコ(A・B)	龍座(Draco)		11.5	2連星
鯨座タウ星	鯨座		11.9	鯨座タウ星 スーパーアース
アルタイル	鷲座		16.8	
ヴェガ	琴座	0.124	25.1	
ポルクス	双子座		35	
アルデラミン	ケフェウス座		45	
カフ	カシオペア座		45	変光星。
カストル	双子座		50	「3連星×2」の6連星。
アルデバラ	牡牛座		60	
ドゥーベ	大熊座		70	北斗七星の「杓の端」。
アルフェラッツ	アンドロメダ座		80	

欧州宇宙機関が1989年に打ち上げて運用したヒッパルコス衛星は、恒星の年周視差を測定して実距離を求めてきた。その結果、

118,274個の恒星

の年周視差： θ を1,000分の1秒角の精度で実距離： L を調べあげた。これは、光年を計算すると次のようになる。

$$\begin{aligned}
 L &= 3 \times 10^8 \text{ km} / 10^{-3} \times 2\pi / 360 \text{ 度} \times 60 \text{ 分} \times 60 \text{ 秒} < L = 2R / \theta > \\
 &= 3 \times 10^8 \text{ km} \times 1296 \times 10^6 / 2\pi \\
 &= 619 \times 10^{14} \text{ km} \\
 &\Rightarrow 619 \times 10^{14} \text{ km} / 9.46 \times 10^{12} \text{ km} \quad [\text{光年}]
 \end{aligned}$$

≒ 6,544 [光年]

なんと、およそ6千光年先までの恒星の実距離が判明したのである。凄まじい成果である。宇宙真空の環境がいかにか透明であるか、マイクロ・ダストとシンチレーション（揺らぎ）が伴う大気に囲まれた地上での観測との格差に驚きを禁じ得ない。

それまで地上の5m級の高性能反射望遠鏡ですら、せいぜい100光年先ぐらいまでの数百個ほどしか判らず、辟易（へきえき）していた世界中の天文学者たちの“目から鱗が落ちた”のだ。また、彼らは知恵を絞って、ドップラー効果を応用した「運動星団法」とか「統計的視差法」など、年周視差が判別できない星々までの距離計測について非常に難解な方策を開拓してきたほど、涙ぐましいほどの知的労苦を強いられてきた。それらも、太陽に近い恒星までの距離測定に限れば不要となった。

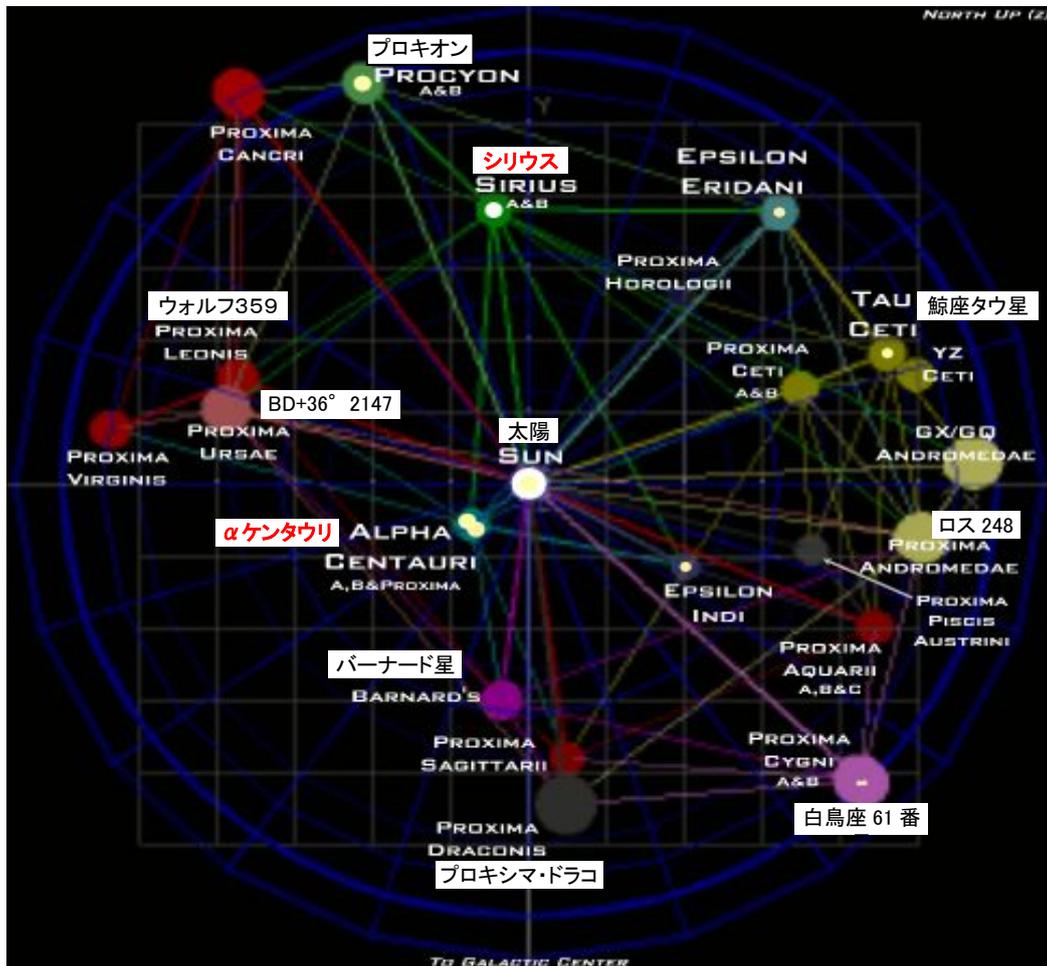
また、ヒッパルコス衛星は、100万個以上の恒星の光度測定、12万個以上の恒星の角運動量の測定など非常に多くの成果を挙げた。実距離と光度測定は地球から見た星の見かけの明るさではなく、実際の明るさが判明したことになる。したがって恒星の実等級が分類できた。

角運動量は[角速度×質量]で定義されるが、対象恒星が比較的少ないのは動きがあるものに絞ったものであろう。これにより互いに回っている2連星や3連星のそれぞれの質量(重さ)が計算可能となったにちがいない。同時に明るさと質量の関係も大幅に確度が向上したはずだから、遠くの測定できそうもない恒星の光度が判ればその重さまで推測できることとなった。

近隣恒星のプロファイルのうち、忘れることができないのはその動きである。星たちは天の川銀河を回っている速度も正確に解明されたことも極めて重要である。およそ秒速100～200kmと言われてきたが、それも個別に観測できたのであろう。また、太陽は誕生時にいくつもの星々と一緒に固まって生まれたのではないかという大きな問題もあった。あたかもプレアデス星団(昴)のように。それが散らばって現在のようにまばらな状態になったという仮説について、50億年前の過去をたどってみることもできる。

ヒッパルコス宇宙望遠鏡のとんでもない成果といえども、私たちの天の川銀河全体で数千億個と言われている恒星の数からすれば、浜辺の一握りの砂でしかない。それほど宇宙は広い。

では、太陽から11光年内の近隣恒星の分布を、次の画像に掲げる。
(“Proxima”とは「太陽に一番近い星」という意味。)

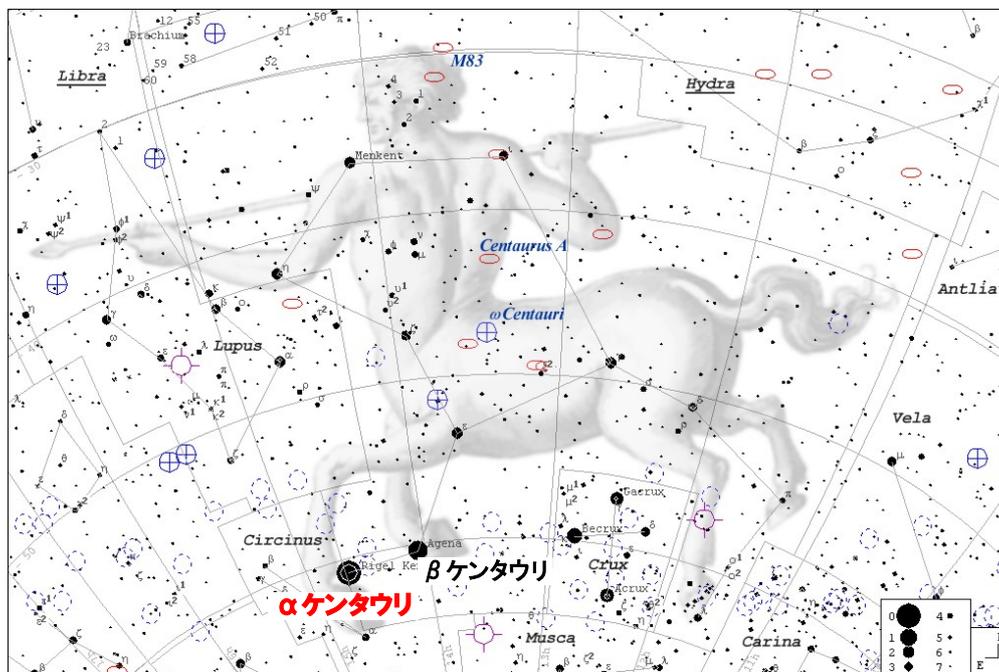


<http://www.closeststars.com/Map1.html#model>

ケンタウルス座:Centaurus

一番近い α ケンタウリ

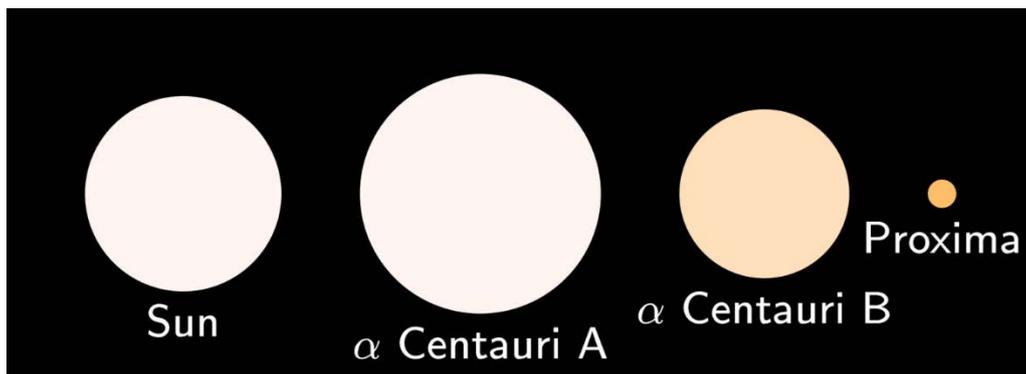
ケンタウルス座は、北半球では南の地平線近くに見えるので、よく晴れた夜でない観測には適さない。ケンタウリを“Centauri”と記すが、英語の発音はセントーリである。



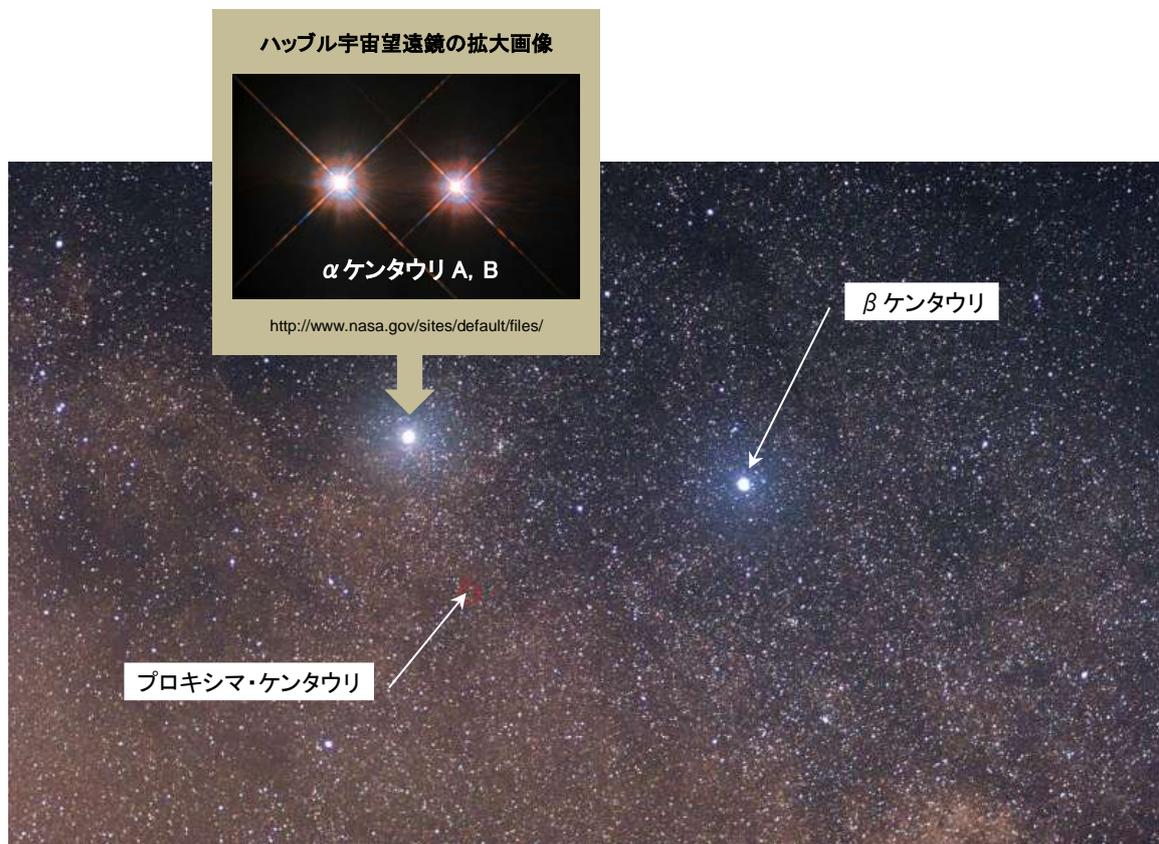
ギリシャ神話によれば、半人半馬のケンタウルス族がテッサリアに跋扈（ばっこ）していた。そのむかしテッサリア王イクシオンは、オイカリア王ディオネウスの姫ディーアを娶ることになったが、婚礼のときにイクシオンはディオネウスを事故で焼き殺してしまった。このためイクシオンは村八分になり、大神ゼウスは哀れに思い、彼の罪を浄めた。元気になった蛮王イクシオンは女神ヘーラーにまで恋をして、周りにホラを吹きまくった。大神と女神はこれを怒り、幻の雲のヘーラーをつくり、彼に与えた。イクシオンは雲と交わり、それで生まれた子が半人半馬のケンタウロスであった。ケンタウロスは野蛮にして粗暴、かつ無神論のケンタウルス族を成した。ところが、その族の中でケイロンとフォローという二人の賢人が現れる奇跡が起きた。ケイロンは、タイタン神族の王クロノスと海神オケアノスの娘の間に生まれた。フォローは酒神バックスが育ての親である。ギリシャ神話の豪傑ヘラクレスは大猪退治したときにフォローと親しくなった。フォローは酒神バックスから「ヘラクレスと飲むように」と言われてもらった美酒でヘラクレスと祝杯をかわした。このかぐわしい匂いに魅かれたケンタウルスの群れが現れ、二人と闘いになったが、毒蛇ヒドラの血を塗った矢でヘラクレスは敵を追い散らしたが、運悪くそのうちの一つの矢尻にフォローが触れたために死んでしまった。哀れに思ったゼウスはフォローを天に上げたそう。なお、ケイロンもこの毒矢の傷により射手（いて）座に昇天したが、ケイロンは豎琴（たてごと）の名手でもあり、それが（別の神話で）琴座に飾られている。

α 、 β 、 γ という接頭文字は、その星座で明るい星から順に付けられてきた。だから、 α 星というのは、ケンタウルス座で一番明るい星である。これが、実は二つの星が重なって見え、プロキシマは暗い赤色矮星と呼ばれ、惑星のように主星A・B二連星の周りを遠く回っていることが判ってきた。それぞれに次のような名が付けられている。

- | | | |
|----------------------|--------|-----------|
| (1) α ケンタウリ A | 4.4 光年 | } [近接二連星] |
| (2) α ケンタウリ B | 4.4 光年 | |
| (3) プロキシマ・ケンタウリ | 4.2 光年 | [赤色矮星] |
- (“プロキシマ”とは太陽系に一番近いという意味の接頭語である。)



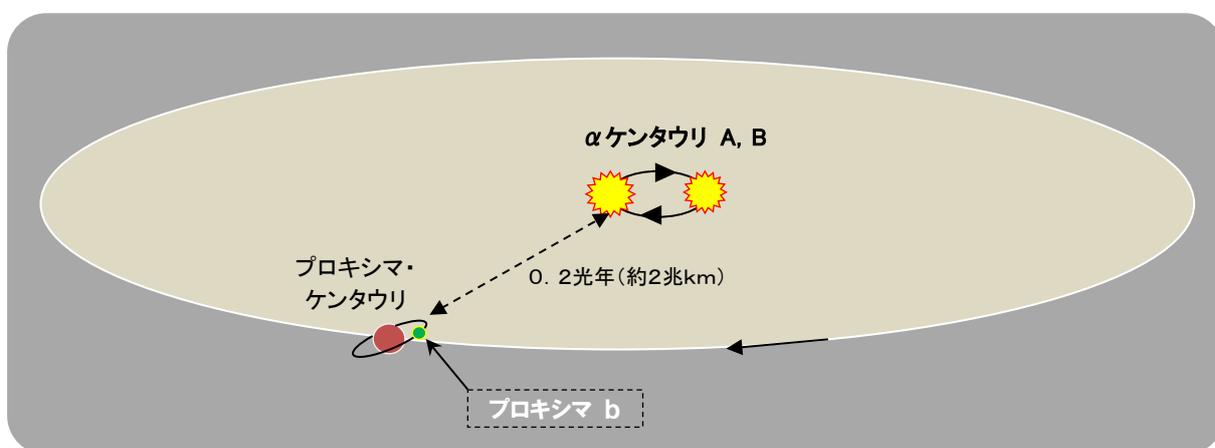
<http://phys.org/news/2016-04-alpha-centauri-life.html>



<http://phys.org/news/2016-04-alpha-centauri-life.html>

そして、最近にわかに世界をにぎわしたニュースになったのが、赤色矮星のプロキシマ・ケンタウリに惑星：**プロキシマ b**が見つかったということである。それは地球に酷似した惑星で水が存在するらしい。映画「アバター」でも出てくる水の惑星である。

発見の方法は、プロキシマ・ケンタウリの微動観測による。惑星周回により秒速1 mほど揺らされているらしい。太陽も木星周回により秒速1.3 mで揺動しているというから、大変こまかな動きである。太陽系外惑星の発見については、既に打ち上げられた『ケプラー観測衛星』が成し遂げてきたが、その観測方面にはケンタウルス座はない。しかしながら、これまでの地上からの観測でその星が揺らいでいるというデータが得られた。かなりノイズに埋もれたものであったので、英国チームがチリの高精度望遠鏡ほかで長期間の観測データを集積して補正し、統計的数値計算を施すことにより揺れの周期性を明らかにすることができたのである。これにより惑星の存在と周回周期が1.1日と判り、プロキシマ・ケンタウリの質量はすでに判明しているため、ケプラーの法則によりその惑星の質量も軌道半径も計算できた。



水が液体で存在するという事は、そこに生物が住めて育つことを意味する。

惑星学で言えば、“ハビタブル・ゾーン（生命居住可能領域）”に**プロキシマ b**が周回していることになる。その周期は1.1日ほどで地球の365日に比べればはるかに短い。同時にプロキシマ・ケンタウリに極めて近いが、赤色矮星ということから表面温度が3千度程度で太陽の半分だから、近くても水が蒸発しない。生命が“ハビタブル（生存可能）”な環境にあるということである。プロキシマ・ケンタウリに近すぎて月のように絶えず一面を向けて回っており、いわゆる潮汐ロック状態にあるので、

『アイボール・アース』（眼球状の地球）と呼ばれ始めた。（右画像）

凍り付くと思われる裏側も大気があるため対流、つまり風や台風が生じてかき回るのでそれほど凍らないらしい。質量は地球の1.3倍と見積もられているから、猿や人間など直立歩行できる重力で、進化の程度により知的生命体の存在可能性は大きい。



<http://www.nhk.or.jp/cosmic/more/160922.html>

それ以上に、人類がやがて地球環境を破壊し尽くして居住できなくなる前の移住先として真剣に考えるべきという世界の識者たちの想いは無視できない。

すでに、英国の理論物理学者スティーブン・ホーキング博士が、

“スター・ショット計画”（恒星撮影計画）

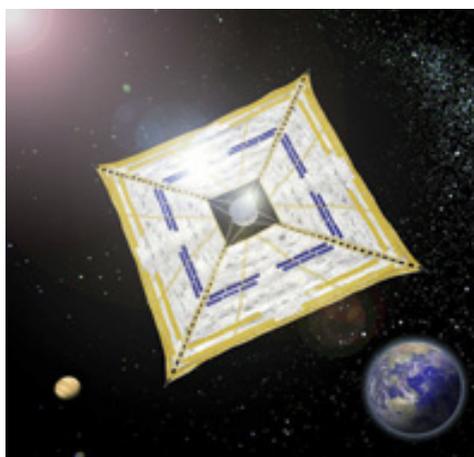
をぶち上げて、資金提供者はじめ天体物理学者、宇宙工学者など幅広く呼び掛けた。現時点でのアイデアは、日本の「イカロス」型より小さな宇宙帆にカメラと通信機器を乗せて飛ばすという計画である。加速はイカロス・タイプの太陽風によるものでなく、地上からレーザー光線を当てて光速の1/10まで速度を上げれば、40年後にはプロキシマ・ケンタウリに到達するだろうとの目論見だ。ただし、その1m四方の小さな宇宙帆を数十個も次々に打ち上げて、標的を外さないように、かつ、微弱になる電波を増幅中継することも考えにあるはず。

これが実現すれば、**プロキシマ b**の撮影画像が50年後には送られてくる。とにかく電波の速度は光速と同一だから、送信だけでも4.2年かかる。もし可能になるなら、おそらく地球をダメにする二酸化炭素排出による温暖化や、化石燃料の枯渇がくるであろう200年後には間に合うかもしれない。その前に移住先を調べ上げておけば、やみくもに地球を飛び出る無謀さはなくなる以上に、希望という選択肢がかすかに、しかしくっきりと見えてくるのだ。

当然ながら、NASAもJAXAもこの計画を捨て置けない。“イカロス”を成功させた我が国こそ一番で名乗りを上げるべきとの想いは日本人なら皆が抱くであろう。

これからは、領土の争いでもなく、経済大国の損益競争でもなく、まさに人間本来の闘争本能をこの広い宇宙に向けるべき絶好の時が来た、と言っても過言ではあるまい。

ソーラーセイル「イカロス」

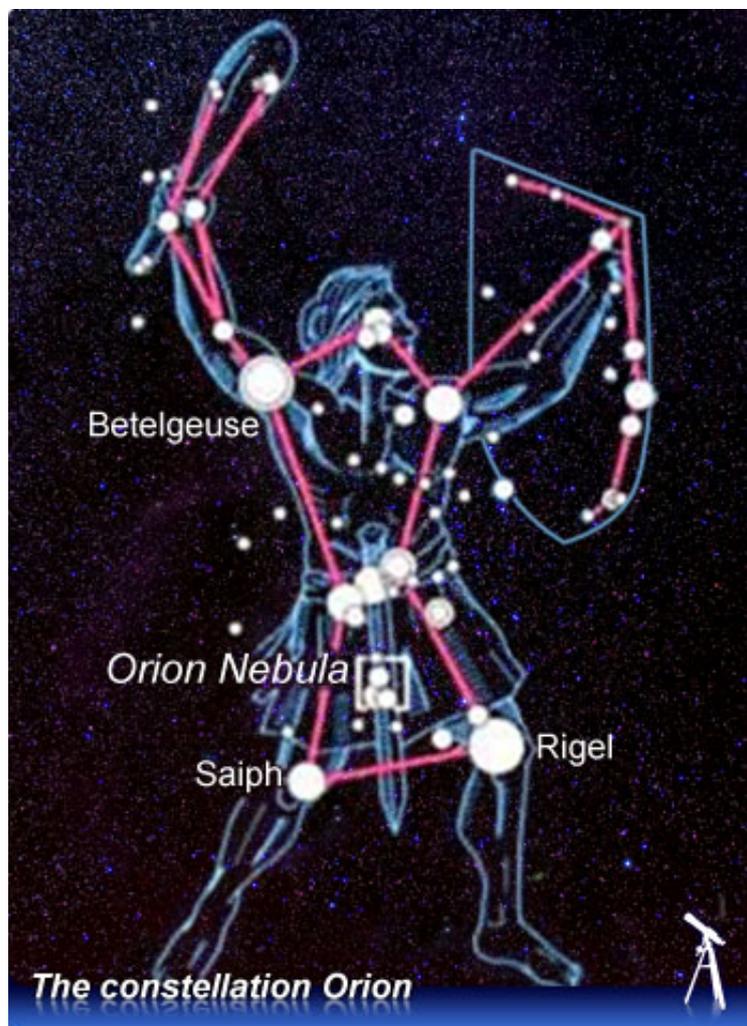


http://www.jaxa.jp/article/special/explore/mori02_j.html
IKAROS の帆は対角線の長さが 20m もある正方形で、厚さはわずか 0.0075mm のポリイミド樹脂。

天空の王者オリオン座: Orion Constellation

この星座を語らねば、本編はおさまらない。

これを知らなければ、宇宙は語れない。



<https://tamilandvedas.com/tag/orion/>

神話でも、伝説の巨人狩人オリオン（オライオン：米語）が飛びぬけている。私たち日本人としては、ハンマー投げ金メダルの室伏広治氏をイメージするとよいかもしれない。

オリオンは海神ポセイドンとミノス王の王女エウリュアレとの間に生まれた英雄であった。成人する頃には、類まれな筋骨たくましく美しい体格を持ち、狩の名人となった。キオス島のオイノピオン王の娘メロペを見染め、結婚を申し込んだが、オイノピオンは気に入らず、大獅子退治を条件に認めるとした。造作もなくオリオンは退治して獲物を捧げた。困ったオイノピオンは、オリオンを酒席に招いて酔いつぶし、盲目にして海岸に放り出した。

失明したオリオンは、東に行って朝日を浴びれば治るという神託を信じて、座頭市みたいに手探りながらレームノス島の鍛冶屋に行った。そこの工人で少年ケダリオンに頼んで自分の目替わりとして肩に乗せ、東の国へたどり着いた。日の神ヘリオスに会い、ようやく視力を取り

戻した。オイノピオンへの復讐に燃えたが、彼はオリオンを恐れて隠遁してしまい見つけることができず諦めた。

その後、クレタ島にわたり、月の処女神アルテミスに出会い、しばらく同棲する。狩の腕前に慢心したオリオンは「あらゆる獣を射止められる」とホラを吹いた。これを聞いた大地母神のガイアは怒って、一匹の大蠍を刺客としてオリオンのもとに送り、その毒針に刺されてオリオンは暗殺された。オリオンの死を悼んだアルテミスは天に捧げて星座になったと。

このためか、オリオンは冬の夜空でまばゆいほど輝いているが、春になって東の空に蠍座が出てくると逃げるように西の空に消えていくという。

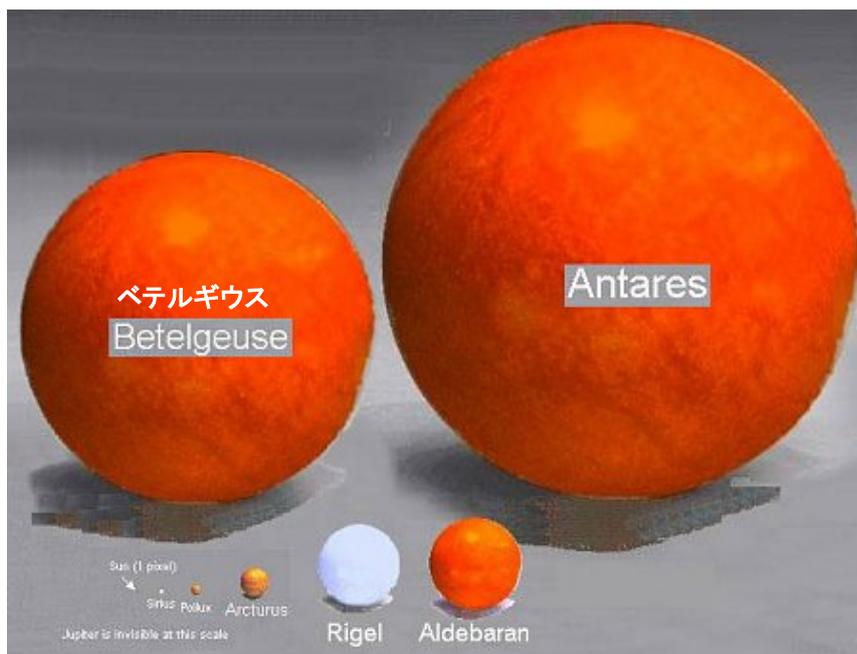
次の画像はオリオン座の中心部分がクローズアップされており、東京の街の明るすぎる冬空でもくっきりと見えるから、よく晴れた寒い夜には観察されることを薦める。



<http://www.constellation-guide.com/constellation-list/orion-constellation/>

【オリオン座：ベテルギウス】

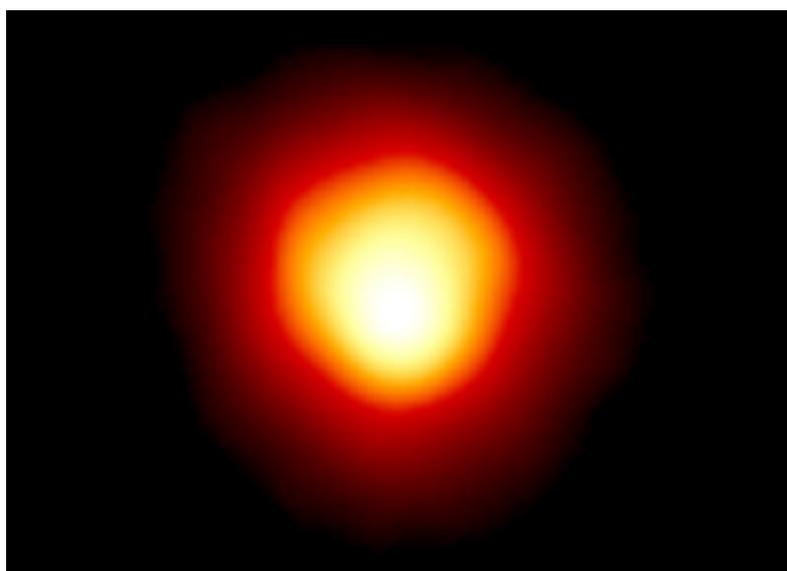
最も明るく赤いベテルギウスは、太陽の直径の800倍ほどあるが、アラビア語で「白い帯をした羊の腋下」という意味であるごとく狩人オリオンの腋下にあり、天文学上は赤色超巨星に分類されている。最大は蠍座のアンタレスで、二番手がベテルギウスとなる。その大きさの比較は下図のようであり、太陽は点になる。一方、リゲルは左足という意味で、青色超巨星と分類され表面は1万度を超える。直径は太陽の約70倍ある。



<http://pics-about-space.com/names-of-red-giant-stars?p=1>

なんと、太陽の位置にベテルギウスをもってくると、木星軌道に達するという。太陽からの距離は約640光年であるから、それほど遠くない。アンタレスは約550光年。

問題は、ベテルギウスが次の画像のようにいびつに蠢いて（うごめいて）いることである。



<http://www.universetoday.com/45775/famous-stars/>

この蠢動（しゅんどう）は、近いうちに超新星爆発する兆しであることが確実視されて、天体物理学者たちは恐れおののいている。このため、爆発前に飛び出すニュートリノを観測すれば、その予兆を知ることができるから、日本の岐阜県の神岡鉱山（地下）にある“スーパーカミオカンデ”という最新のニュートリノ・アンテナで観測すべきとして、世界中の宇宙物理学者たちが注目している。ただし、爆発に伴う豪絶な衝撃波が広がるスピードは、秒速千～2千 kmほどであり、光速の 1/200 以下と見積もられている。であるから、10 万年後には太陽系に到達するようだ。ただし、そのはるか前に爆発光と同時にベテルギウスの自転軸方向にガンマ線バーストという恐るべき放射線ビームが発せられる。これが地球に到達すると全球が焼け焦げて全生物は死滅するらしい。恐竜絶滅どころではない。幸いにも、天体物理学者たちが泡くって調べたところ、ベテルギウスの自転軸は太陽系を逸れていることが判明したから、胸をなでおろしたということである。明日にでも爆発しそうな様相だから、ガンマ線バーストは爆発光線と同時に発するので、ニュートリノ観測で予知できたとしてもほんの数時間後に着光してしまう。このような宇宙の事件がいつ起きても大惨事になるおそれがある故に、プロキシマ・ケンタウリの惑星プロキシマ b に移住できるように世界中の識者たちが呼び掛けてきたのだ。

まさに、肉眼では動きが見えない宇宙は、その一つの恒星が動き出しただけでも恐怖そのものなのである。私たちは穏やかな今日的地球環境に真剣に感謝すべきではないだろうか。

なお、超新星：Super Nova については、語るべきものが多すぎるから第3回に特集する予定である。

【オリオン座：三連星（三ツ星）】

三ツ星は空で見て右からミンタカ、アルニラム、アルニタクといい、オリオンのベルト部分をかたどる。

デルタ δ 星（ミンタカ）：

アラビア語のアル・ミンタカ・アル・ジャウザ（巨人の帯）からきている。

イプシロン ϵ 星（アルニラム）：

アラビア語のアル・ニラム（真珠の糸）、本来は三ツ星全体に付けられていたのが、この星の固有になったもの。

ゼータ ζ 星（アルニタク）：

アラビア語のアル・ニタク（帯）がそのままつけられた。

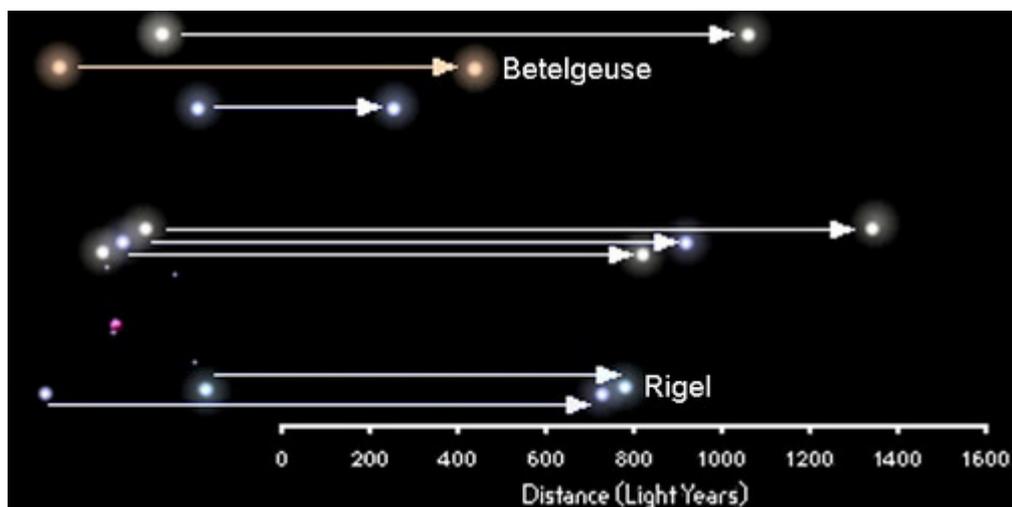


<http://tigaku.com/astronomy/astro_mythology/winter/Orion2.html>

エジプト・カイロのギザ台地にそびえる三つのピラミッドとオリオン座の三ツ星との並び方が同じという。調べれば調べるほど共通点が見出されるそうだが、裏付ける史書がない。

同様に、囲碁布石の「中国流」の三石の並び方が似ていると思うのは私だけではないだろう。これに対する歴史的論証も見つからない。

オリオン座における恒星それぞれの太陽からの距離は次図のようである。



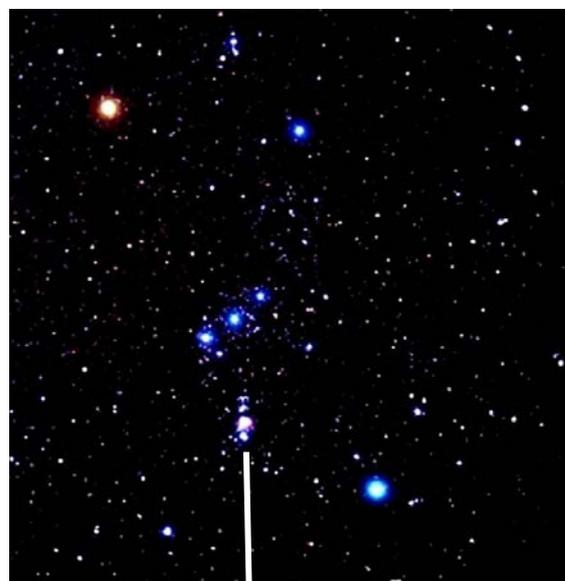
<https://astrobob.areavoices.com/2010/01/11/learning-to-see-the-sky-in-3-d/>

オリオン星雲 : Orion Nebula

オリオン星雲までの距離は 1,344 光年である。メシエ・カタログではM42として登録されている。メシエ:Mとは、シャルル・メシエというフランスの天文学者の名であり、彼が18世紀に星雲、銀河や星団などぼやけた天体を100ほど観測して分類・作成したものである。

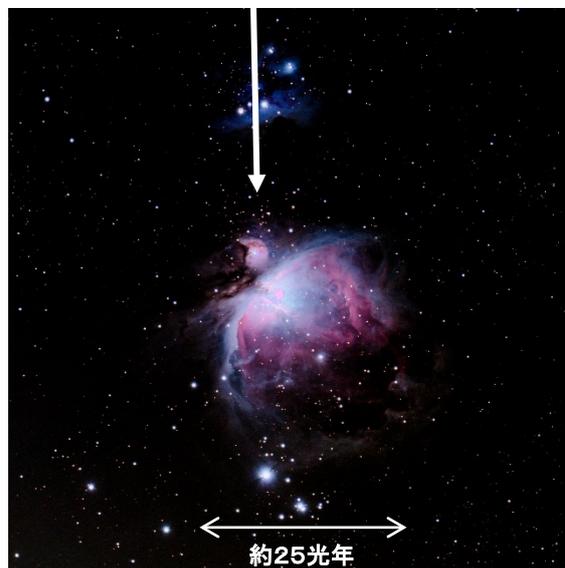
星座全体画像で見ると、オリオン星雲は三連星の下にぶら下がっている。

オリオン星雲は、散光星雲と分類されており、散光星雲とは、ガスやチリでできた星間雲が、近くや内部にある高温の明るい星の光を受けて光っているもので、一般に不規則な形をしている。



<http://www.christiancyt erspace.com/cosmic-discovery/html/800-constella ion-Orion-mouseovers.htm>

散光星雲までの距離は、その星雲を光らせている星までの距離を調べれば知ることができる。距離がわかれば、見かけの大きさから実際の大きさを求めることもでき、オリオン星雲は、距離約1500光年で、さしわたしは約25光年となる。また、オリオン星雲全体の質量は、太陽の質量の1万倍程度と推定されている。



<http://pics-about-space.com/nebula-orion-constellation-location?p=2>

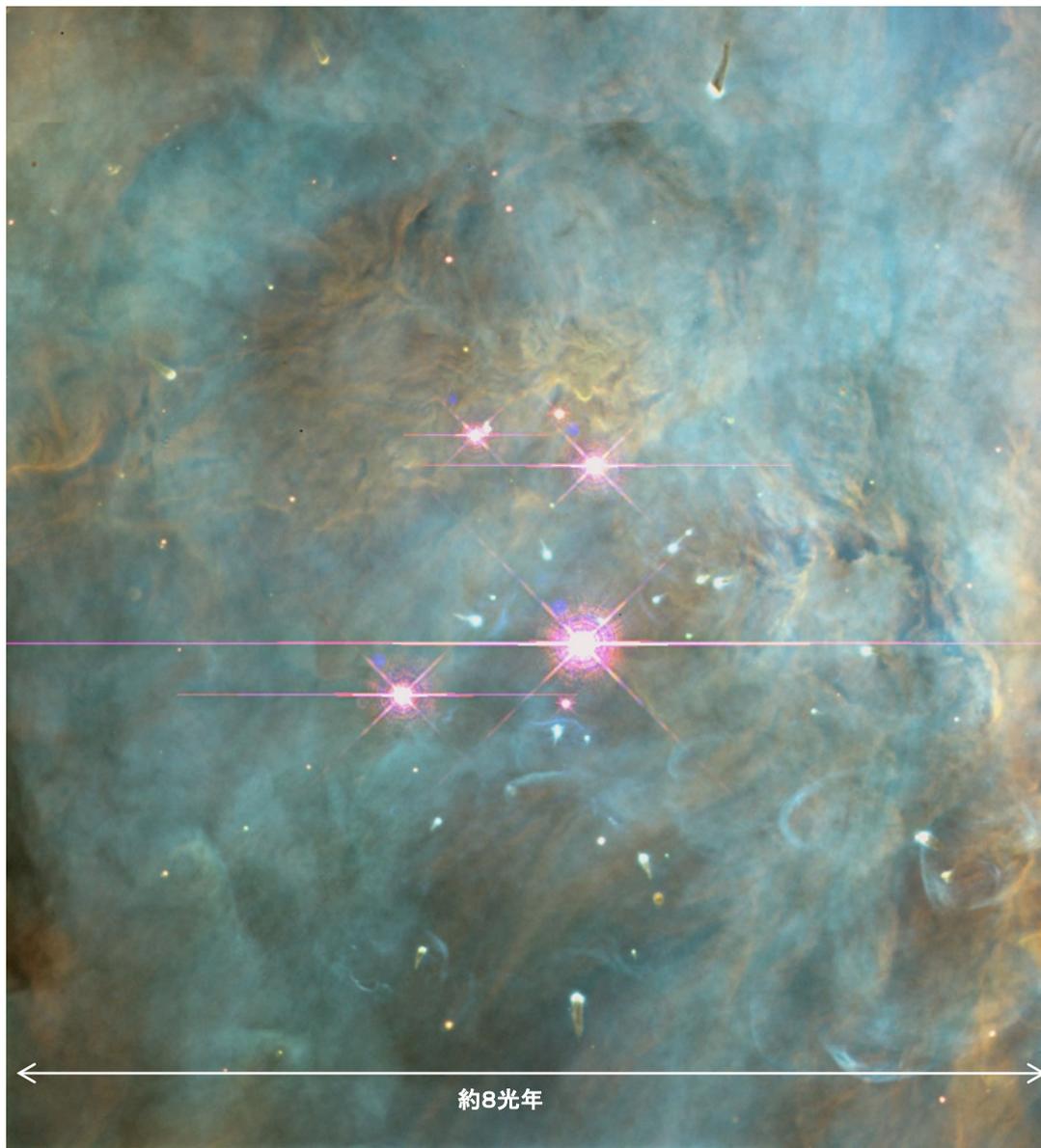


https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_693.html

オリオン星雲の中心部の拡大画像であるが、真ん中にトラペジウムという四つ星がある。強烈な光線によりまぶしくそれらの存在は分別できないが、次頁に鮮明な画像を掲げる。

星間雲は、新しく生まれる星の原料であり、オリオン座の大星雲は、まさに星の誕生する現場となっている。トラペジウム（台形）とよばれる四つの星が光っており、星雲全体に散らばるガスや塵を照らして雄大かつ豪華な星雲の姿を映し出してもいる。これらの星は、この星雲から生まれたばかりの星たちで、また、赤外線による観測から、星雲の中には、まもなく星になる星のタマゴたちがたくさんうもれているようだ。つまり、オリオン座の大星雲は、星間雲から星が誕生するまでのすべてを見せてくれるので、天体物理学におけるかっような研究材料となってきている。

From <<https://www.kahaku.go.jp/exhibitions/vm/resource/tenmon/space/nebula/nebula04.html>>



<https://www.spacetelescope.org/images/opo9545j/>

上の画像では、四つ星からの強烈な恒星風を受けて原始太陽系のようなチリとガスの塊が尾を引いているのが明らかに分かる。これにより塊が圧縮されていくのであろう。NASAによれば700個ほどの若い原始星があるという。

白鳥座 : Cygnus Constellation

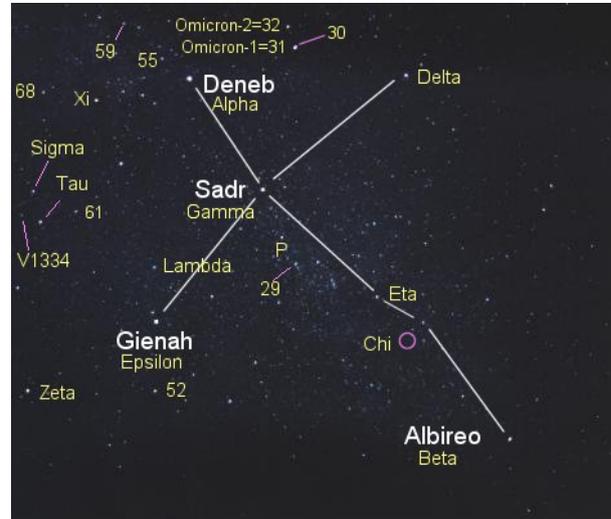
スパルタ王デュンドレオスの妃レダは美貌群を抜く存在だった。いつものように大神ゼウスは横恋慕して、ものにするために狂言をたくらんだ。愛の女神アフロディーテに願って驚になってもらい、自分は白鳥に化けてスパルタにおもむいた。

レダを見つけ、驚に追い回されて命からがら逃げる場面を演出したところ、案の定、レダに呼ばれた。

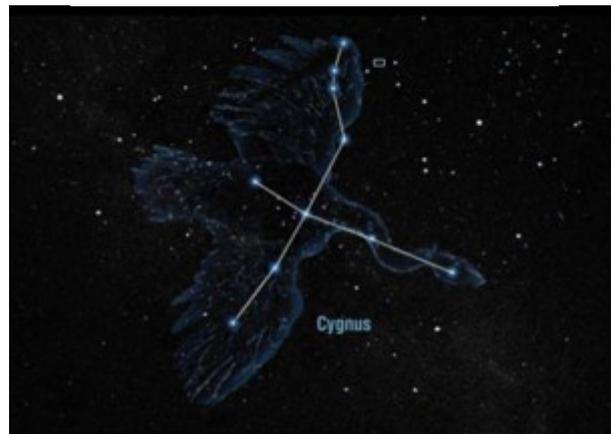
したりとゼウスはレダの傍に逃げ込んでレダの胸に抱かれ、想いを遂げた。

このときの羽ばたく白鳥の姿が白鳥座になったと。ゼウスの色情深さ、狡猾さ、また、権力と神力の私用については、果てしが無い。純白の牡牛に化けてエウロペ姫を籠絡した手際の狡さもそうである。裏返せば、美姫や美妃といえども魅惑的な生きものへの愛着と憐憫の情には弱いということか。

その後、レダは二つの卵を産んだ。その一つから双子座のカストルとポルックスが、もう一つからクリュタイムネストラとヘレネが生まれたのである。この結末は神話らしい。一等星デネブとは「尻尾」という意味である。β星アルビレオは「くちばし」という話もある。



<http://stars.astro.illinois.edu/sow/cyg-t.html>



<https://news.mst.edu/2015/09/visitors-night-at-the-st-observatory-to-feature-viewing-of-cygnus/>

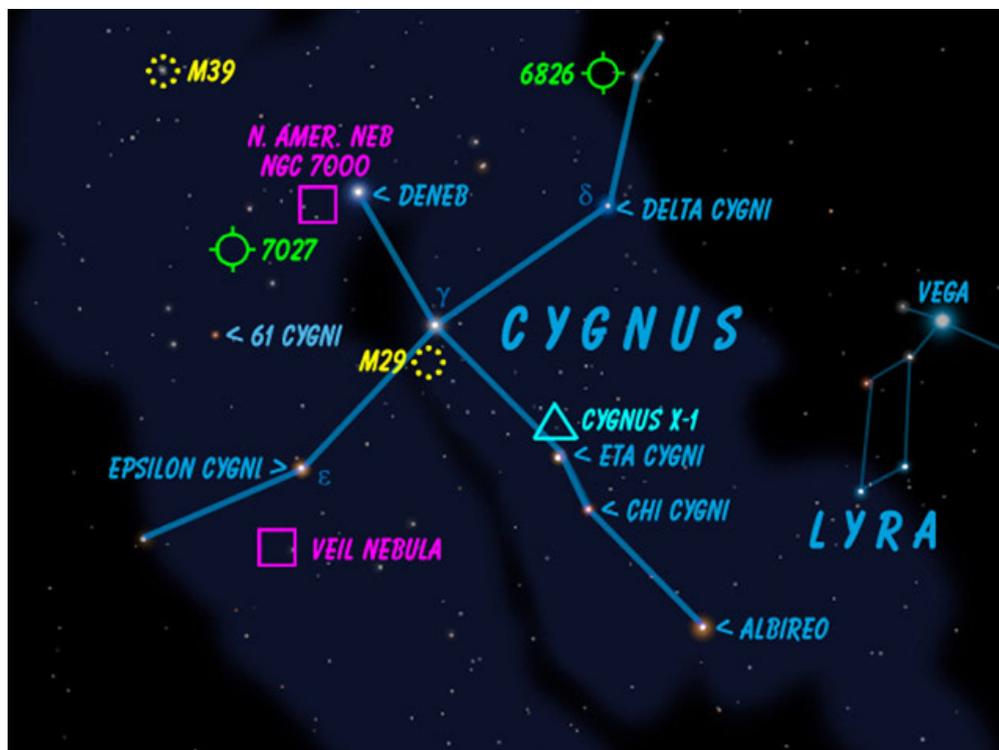
白鳥座の位置は、次の画像のとおり天の川銀河の中心近くにある。中心部に当たるのは「射手座」である。



<http://aclusterofthoughts.blogspot.jp/2015/02/where-wild-things-are-cygnus-ob2.html>

白鳥座における、その他の天体を眺めてみる。

次の図においては、メシエ天体やNGC (New Galaxy Catalogue) 銀河などが記されている。この中では、**シグナス X1** というブラックホールが有名すぎる。



<https://jp.pinterest.com/pin/68609594302488016/>

散開星団M29 (NGC6913) <http://universe.art.coocan.jp/deepsky/M29.html>

夏の天の川銀河、それと重なっている白鳥座。メシエ天体はスバルに似ているこの M29 と、同じく散開星団の M39 があるだけである。このあたりは天の川が濃い。視直径が7分角ほど。

約 1,000 万年前に形成されたとされる若い散開星団で、星数約 50、実直径 11 光年で、距離は 4,000 光年。



<http://www.ne.jp/asahi/stellar/scenes/object/m29.html>

NGC7000 Cygnus Wall

この星雲は形状ゆえに「北アメリカ大陸」星雲とも呼ばれている。白鳥座の一等星デネブの近くにある大きく赤い散光星雲。

距離はおよそ 2000 光年。



<https://apod.nasa.gov/apod/ap101218.html>

白鳥座 X1

白鳥座 X 1 は、数十年前にその存在に大いなる期待をかけていたケンブリッジ大学のスティーブン・ホーキング博士を思い出す。当時、確実性は弱かったが、ブラックホールの存在を彼は信じて疑わなかった。ブラックホールは蒸発するとして『ホーキング輻射』を予言した。いまだその現象は観測されていないが、私たち一般人は、そうか蒸発してしまうから地球が吸い込まれる惧れが少なくなるのだ、と身勝手に考えて安心した覚えが生々しい。

X 1 は、太陽から約 6,000 光年先にある。

東大宇宙航空研究所（現 J A X A）の小田稔博士がそれを確定する実証を得たことは、我が国が世界に誇るべき偉業の一つと言える。彼は、NHK コスミック・フロントにおいても特集されたように、「すだれコリメータ」という特殊なフィルター装置を発明し、これにより、世界初の X 1 観測に成功した。

X 線観測衛星「ウフル」(NASA) が打ち上げられ、X 1 を観測したところ、1 秒ほどの短い時間で、バタバタとその X 線の強度が変動していた。そこで 1971 年に「白鳥座 X 1 はブラックホールかもしれない」という論文をしたためた。しばらくして彼は X 1 の正確な位置を求めることができて公表すると、即座に世界中の天文台の望遠鏡が一斉に向いたという。

そして、1975 年ごろまでには、太陽の約 30 倍の質量をもつ青色超巨星と、太陽の約 10 倍の質

車椅子の天才物理学者 スティーブン・ホーキング博士 (72 歳)



<http://commonpost.info/?p=77045>

はくちょう座 X-1 のイメージ図。 主星(左)からブラックホール(右)にガスが落ち込んで円盤が形成され、ジェットが噴出している。



http://www.astroarts.co.jp/news/2011/04/27/cygnus_x1/index-j.shtml

量のブラックホール+周辺のガス降着円盤が、共通重心のまわりを 5.6 日の周期で公転していることが判明したのである。

<http://www.jaxa.jp/article/interview/no7/index_j.html>

この不可思議な連星系の仕組みのほかに、皆が知りたい発生経緯と将来などを語りだすと、どうしても超新星と銀河の話に拡大発展してしまう。ここではこの程度の紹介に留め、次回以降に持ち越したい。

大犬座 : Canis Major Constellation

この星座はオリオン座の傍にあり、共に真冬に見られる。プロキオンと併せて冬の大三角を成す。α星の一等星シリウス (Dog Star) は全天で一番明るく、距離は 8.6 光年と太陽近傍 10 光年内にある。

ギリシャ神話によれば、その昔、ポーキス国の公子である美青年ケパロスとその愛妻のプロクリスがいたが、曙の女神エーオースがケパロスに横恋慕し、無理にさらって恋人にしたが、彼は愛妻の話を止めなかった。仕方なく故郷に帰した。その時に「お前の愛妻プロクリスは浮気しているにちがいない」とささやいた。ケパロスは旅の男に化けて愛妻に近づき誘惑したところ、手練手管に負けて体をあずけたので、ケパロスは正体を現して愛妻をなじった結果、プロクリスは逃げ出してしまった。



<http://www.astronomytrek.com/interesting-facts-about-the-constellation-canis-major/>

美しいプロクリスはクレタ島のミノス王の愛人になり、名猟犬ライラプス (旋風) と槍を贈られた。王妃の嫉妬をおそれたプロクリスはクレタ島を離れ、ケパロスと再会し、ライラプスと槍をプレゼントしてよりを戻した。これを喜んだケパロスは、さっそく悪ギツネ退治に出かけたが、すばしっこい悪ギツネになかなか追いつかず、猟犬ライラプスが追っている狐めがけて槍を投じた。このとき、名犬と悪狐が同時に傷つくのをおそれたゼウスは、ライラプスを天にあげて「大犬座」にしたという。

この後、プロクリスの疑心暗鬼でケパロスを殺すという事件を起こして、悲劇に終わった。いずれにしても、夫婦が相互に信じきれないことが不幸の因果という逸話でもある。

【シリウス】

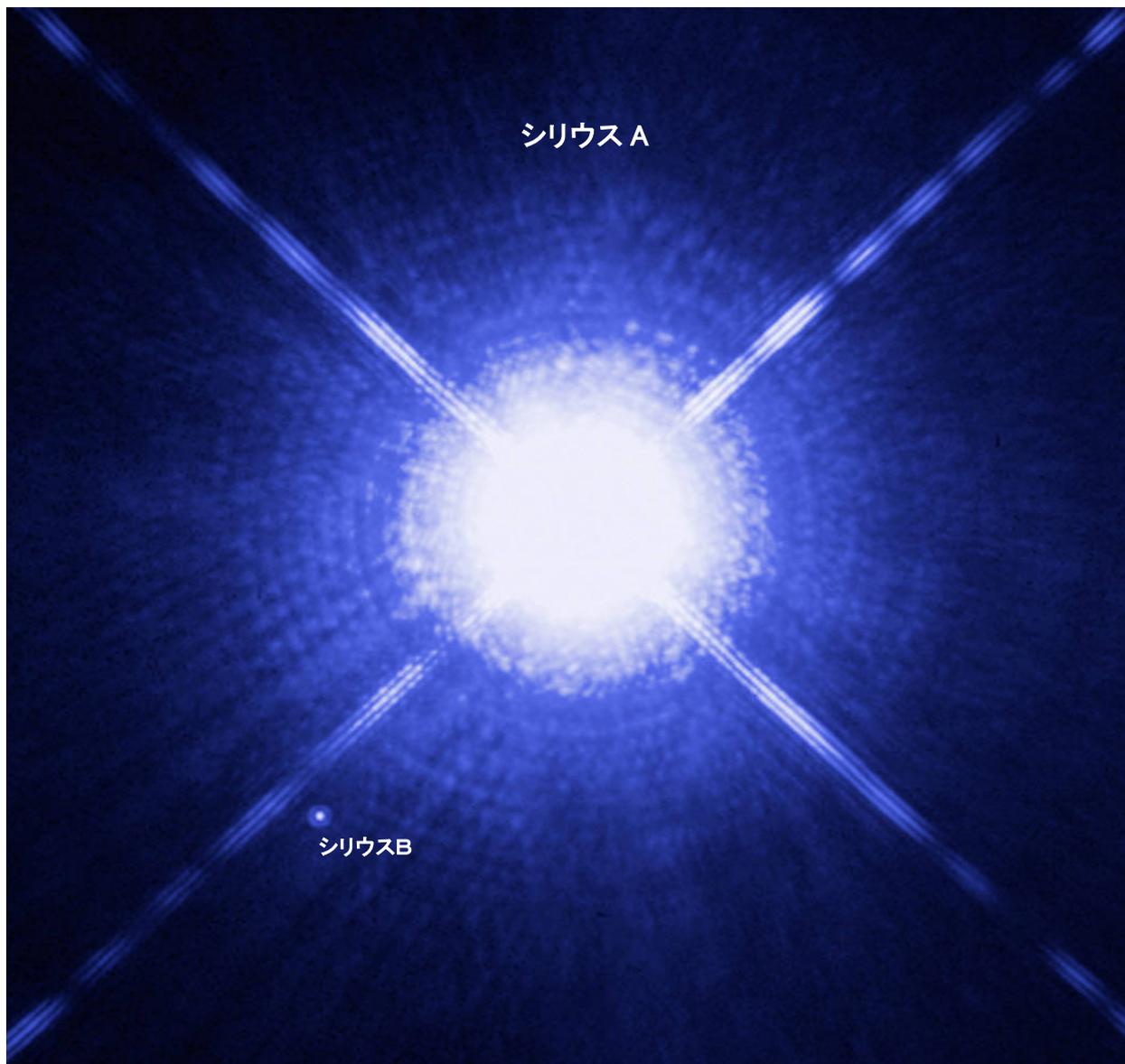
青色巨星：シリウスは冬の夜空いっぱいに輝く星であるが、わきに小さな白色矮星シリウス B が隠されて肉眼では見えない。ハッブル宇宙望遠鏡はその様子を鮮明に映し出した。

- ・ 大きさ： 質量は太陽の約 2.5 倍、半径は 1.76 倍 (約 135 万 Km)
- ・ 表面温度： 約 1 万度、中心温度が 2000 万度
- ・ 伴星シリウス B： 50 年周期で周回蛇行しているが、シリウス A の質量の 2/5 もあるため、お互いに共通重心を回っているから蛇行しているように見える。

シリウス B は地球より小さいが、重力は 35 万倍もある。このため、アインシュタインの一般相対論によると、その光は重力赤方偏移しているそうである。その質量は太陽とほぼ同じだから、大きさは地球より小さいのに 20 万倍もある。

この伴星の白色矮星が原因でシリウスは数百万年後に超新星爆発する惧れは消えない。それだけでなくとも巨星の類いは、全体として重いがゆえに水素の核融合スピードが極めて速く、燃え

尽きるのも1億年内と早い。太陽はちょうどいい加減の質量で100億年も水素の核融合が途絶えないから、あと50億年以上は今の状態で光り続ける。



https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_468.html

- シリウスB 直径は太陽の0.016倍（地球のだいたい1.7倍：2万km）
質量は太陽の1.06倍（平均密度は水の40万倍）
- AとBの距離 約20天文単位（1天文単位＝約1.5億km）：太陽と天王星の距離に相当
公転周期は約50年

射手座 : Sagittarius Constellation

射手座にはロマンがある。

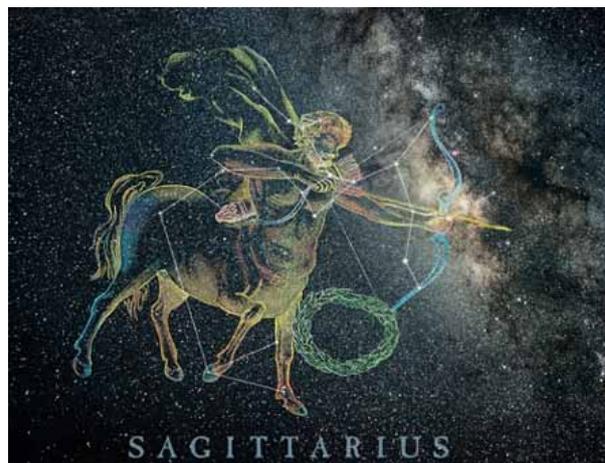
しかも私たちの天の川銀河の中心部と重なっているから、覚えておくべきものでもあるう。

神話は、ペレウスとケイロンの関係から始まる。ペレウスが円盤投げの練習時にあやまって異母弟に当てて死なせてしまう。ペレウスと双子の兄弟テラモンの二人は国を追われ、テラモンは運よくサラミス島の王女を娶り、国王になってしまう。ペレウスは遙かなテッサリアまで逃げ、エウリュティオン王に罪を浄めてもらい、王女と結婚して国土の3分の1を割譲された。

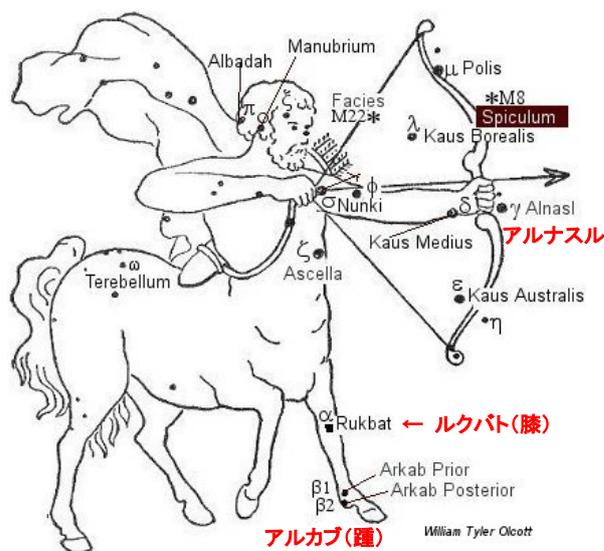
そのころ、カリュドーン王のオイネウスは収穫の感謝祭で、月の処女神アルテミスへの祭祀を怠ってしまった。怒ったアルテミスは、牛ほどの大猪を送り暴れさせた。この野獣の退治に各国から豪傑が招集された。イアーソン、カストルとボルックス兄弟、ペイトリオスなどの勇士である。エウリュティオンはペレウスを伴って参加したが、狩の最中にペレウスの投げた槍がエウリュティオンに当たりまたもや死なせてしまった。このため、また追放されて彼はイオルコス国へ逃げた。ペレウスは再度イオルコス王に浄めてもらった。その国では、ペリアス（イアーソンの叔父）の追悼競技会でペレウスはレスリングに参加した。

試合では負けたが、アカストスの妻がペレウスを見染め、言い寄ったがペレウスは拒絶したので、彼女はペレウスに暴行されそうになったと嘘をついた。アカストスは怒ったが、冷静に一計を案じて彼を山奥に誘って狩をした。ペレウスは数頭の獲物をしとめた疲れで眠ってしまった。アカストスは彼の剣を隠して置き去りにした。目を覚ましたペレウスは剣を探しているうちに、凶暴なケンタウルス族に襲われた。絶望したが、その時に一人のケンタウロスが現れ救われた。それがケンタウルス族の長老にして賢者ケイロンだった。

海の老神ネーレウスの娘に美貌のティリスがいた。この娘をゼウスとポセイドンが争っていたが、「この娘から生まれる子は父をしのぐ」というプロメテウスのお告げを聴いて諦めた。



<http://www.crystalinks.com/sagittarius.html>



<http://www.constellationsofwords.com/stars/Spiculum.html>

ゼウスはやけになってテティスをペレウスに与えようとしたが、テティスは人間に嫁ぎたくないとして水になって海中を逃げ回った。

そこで賢者ケイロンは、ペレウスに「陸に上がったときに捉えて絶対に離すな」と助言した。言われたとおりにして彼はテティスを捕まえた。テティスは妖術で怪物や大蛇などに化けて逃げようとしたが、ペレウスはしがみついて離さなかった。疲れ果てたテティスは遂にペレウスに嫁いだ。この二人の子がトロイ戦争で活躍した英雄アキレウスだったと。ケイロンはアキレウスの文武の養育にも務めた。

ペレウスの物語からしばらくして、英雄豪傑のヘラクレスが美酒の匂いに狂ったケンタウルス族と戦ったとき、ヒドラ（海蛇座）の猛毒を塗った矢で凶暴なケンタウルス族を追い散らし、何頭かを山中まで追い詰めた。そのうち三頭は賢者ケイロンが住む洞窟に逃げ込んだので、その暗闇に毒矢を打ち込んだ。奇しくもケイロンの膝に一矢が当たり、猛毒にケイロンはさいなまれた。死ぬまで悶え苦しむというし、不死のケイロンにとっては最悪の事態で永遠に苦しむ。ケイロンはプロメテウスに不死の命を譲り、自分は死の安息を求めた。ゼウスは、数々の英雄を育てた功績としてケイロンを射手座に上げた。同時にゼウスはケイロンに蠍座が暴れてオリオンを再び刺さないよう、その心臓たる赤色超巨星アンタレスに狙いを定めるよう命じた。

【射手座の星々】

α 星ルクバト（膝）は 250 光年先にある。
 α 星なのに何故かそれほど明るくない。ロス 154（射手座 V1216）は、太陽に一番近く 9.6 光年である。1.8 等のカウス・アウストラリス（弓の南部）が 80 光年先にあり、一番明るい。



<http://www.sagittariuszodiacsign.net/sagittariusymbol.htm>

干潟星雲: Lagoon Nebula M8(NGC6523)

この星雲は射手座にある散光星雲である。散光星雲を南北に横切る帯状の暗黒星雲が存在し、その姿が干潟に似ていることからその名が付けられている。太陽から 5,000 光年先であり、横の長さは 150 光年もある。



<https://apod.nasa.gov/apod/ap070716.html>

牡牛座 : Taurus Constellation

この星座は、冬空でオリオンの右側に位置する。何故か、おびただしい天体のパラダイスになっており、さすがにゼウスが化けた『純白の牡牛』というだけのことはある。

黄道 12 星座の 2 番目にあたる。

フェニキア王には息子 3 人と一人娘エウロペがいた。天界のゼウスはいつものように生娘を物色していたとき、海岸で遊ぶエウロペ姫を見染めた。その姫の美しさに魅了され、妃ヘーラーにばれないように純白の牡牛に化けて、姫に近づいた。エウロペはその牛に見とれ、そっと近づいて摘んだ花を差し出すと、牛は鼻先を姫に触れながら、じゃれるようになった。

姫はまったく警戒を解いて、なんと牛の背にまたがって乗ってしまった。やがては、牡牛と姫が駆け抜けた大陸の名がヨーロッパと呼ばれるようになった。

白い牡牛は喜びにはじけ、乗せたまま海に飛び込んでクレタ島にたどりついた。この姿が昇天して星座になったと。

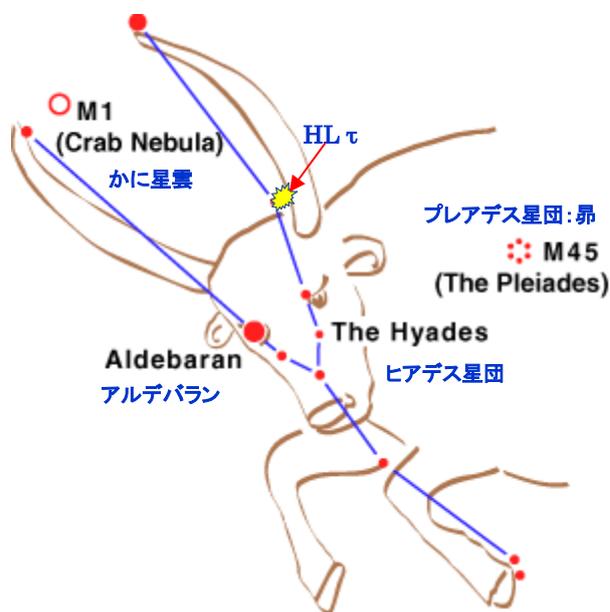
エウロペは、ゼウスの子を三人なしたが、後にクレタ王の妃になったので、王位はその子らに継がれることとなったが、長子ミノスが王位継承の第 1 位であると主張し、その証拠に、望みは神力により何でも叶えられるとうそぶいた。そして彼は生贄のために一頭の牡牛を届けられたいと海神ポセイドンに祈ったら、海中より牡牛が現れ、見事にミノスが王位についた。

ところが、その牡牛が余りにも美しいので他の牛に変えて生贄にした。これがポセイドンの怒りを買って、ミノスの妃パシパエがその牡牛に恋慕するように仕向けた。

道ならぬ牡牛への恋情に悶々とした妃は、クレタに亡命していたアテネの工人ダイダロスに相談したところ、木材で牛の骨格を作り牛皮を張って、その牡牛そっくりの張子の牡牛を作った。その中にパシパエを潜ませて放牧場に曳いていったところ、盛りのついたポセイドンの牡牛は即座に挑みかかって、パシパエの想いが遂げられたと。しかしながらパシパエが身籠って



<http://cseligman.com/text/sky/constellations.htm>



<http://pics-about-space.com/planets-constellation-near-taurus?p=1>

生まれた子が、人間の体に牛の頭がついた“ミノタウロス（ミノスの子）”という怪物だった。この牛人は凶暴で人肉を食したため、ダイダロスが作った迷宮に閉じ込められた。

神のお告げというか、棚ぼた幸運や桁外れの望みの成就には、天罰が下るという話でもある。現在では、億円の宝くじに当たれば続いて交通事故で車にも当たるとい現象かもしれない。

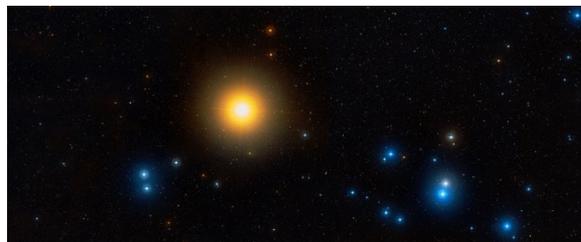
アルデバラン

「後に続くもの」という意味であり、アルデバランはプレアデス星団（昴）の後に続いて東から昇ってくる。

距離： 65.23 光年

表面温度： 3,910 K

半径： 30,760,000 km（太陽の 44 倍）



<https://heartstar.org/2015/02/12/>

プレアデス星団(昴):Pleiades Star Cluster

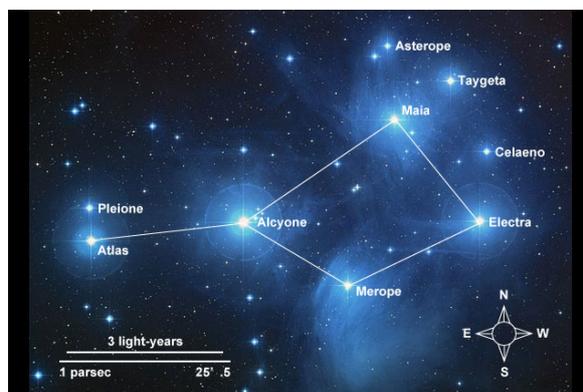
散開星団。

距離は約 400 光年、実直径は約 12 光年。

肉眼でも輝く七個の星の集まり。

約 6000 万～1 億歳とされる年齢の若い青白い高温の星の集団。

プレアデスは、タイタン族の巨人アトラスと海のニュムペであるプレイオネとの間に生まれた七人姉妹という。



<http://pics-about-space.com/pleiades-star-cluster-names?p=1>

ヒアデス星団:Hyades Star Cluster

散開星団（年齢約 6 億年）

距離： 149 光年

実直径： 13 光年

ギリシャ神話では、ヒアデスは巨人アトラスとアエトラの間に生まれた七人姉妹とされており、プレアデスの七人姉妹とは異母姉妹の関係にある。

また、ほとんどの星が同一方向に運動しているので「運動星団法」により比較的容易に距離推定ができるという。しかも、他の主系列星（後掲）の距離も判り、セファイド変光星（後掲）の距離推定にも敷衍できるようなのである。



<http://pics-about-space.com/hyades-cluster-nasa?p=1>

国立天文台、神戸大、東海大、東工大などの研究グループは、岡山天体物理観測所 188cm 反射望遠鏡と高分散分光器 HIDES を用いて、地球に最も近い散開星団でありヒアデス星団を観測した。本研究グループは、この星団に属する恒星の一つである、おうし座イプシロン (ϵ) 星に巨大惑星を発見した。<<http://www.oao.nao.ac.jp/public/research/hyades/>>

おうし座 HL 星

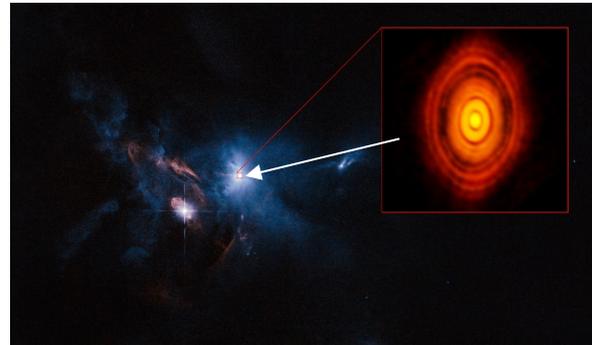
距離は約 450 光年。

2014 年 11 月 06 日 アルマ望遠鏡、「視力 2000」を達成！- 史上最高解像度で惑星誕生の現場の撮影に成功。

星は、宇宙に漂うガスや塵の雲の中で誕生する。生まれたばかりの星の周りにはガスや塵でできた円盤があり、1 千万年以上かけて円盤内の物質が衝突合体を繰り返して惑星が作られると考えられている。

こうした場所は密度の高いガスや塵に覆われているので、可視光や赤外線ではその中を見通すことができない。しかしアルマ望遠鏡が観測するミリ波・サブミリ波はこうした物質に吸収されないため、星や惑星が誕生するまさにその現場を観測することができる。

<<http://alma.mtk.nao.ac.jp/j/news/pressrelease/201411067466.html>>



<http://alma.mtk.nao.ac.jp/j/news/pressrelease/201411067466.html>

かに星雲: Crab Nebula

距離： 約 7,000 光年

メシエ：M1 であるから、星雲カタログでも一番の榮譽に輝いている。

かに星雲の出現は西暦 1054 年で今からおよそ千年前である。重い星が進化の果てに起こす超新星爆発で現れた。その様子は、中国の歴史書、我が国では藤原定家の日記『明月記』に記録され、昼間でもその輝きが見えたと言われる。アメリカ先住民の壁画では、太陽が一つ増えたと思われたらしい。

中心には、直径 20 km ほどの中性子星パルサーが名残としてうごめいている。その質量は、角砂糖 1 個：1 cm³ 当たり 10 億トンもあるという。

超新星は、この広い宇宙における壮大なドラマを語ってくれるが、次回に解説したい。



<http://www.jpl.nasa.gov/spaceimages/details.php?id=PIA01320>

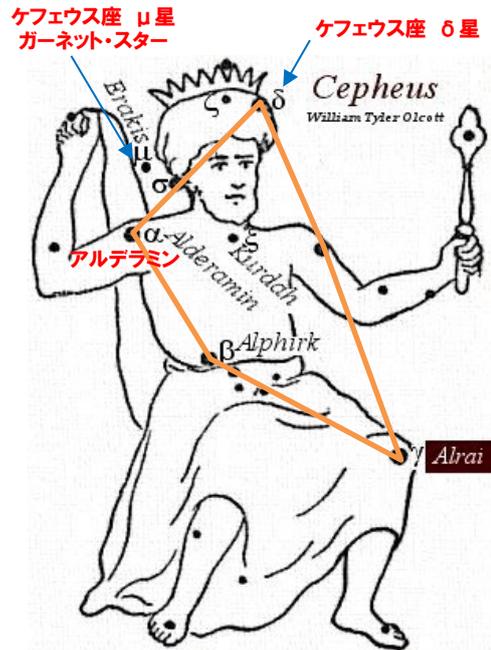
ケフェウス座 : Cepheus

この星座は、変光星セファイドで1920年頃から天文学界でにわかになら有名になった。隣にはカシオペアとかアンドロメダ、大熊座など名だたる星座が割拠しているのに、歴史とは不思議なものである。

- α 星アルデラミン Alderamin 距離：50光年
西暦7500年頃、北極星になる。
- β 星アルフィルク Alfirk 距離：600光年
 α 星より先に西暦5100年頃、北極星になる。
- γ 星アルライ Alrai 距離：45光年
アルライとは「羊飼ひ」のこと。西暦4100年頃、北極星になる。
- δ 星セファイド Cepheid 距離：900光年
 δ 型セファイドの代表的な変光星で、5.36日の周期で変光を繰り返している。
- μ 星 Garnet Star 距離：1000光年
イギリスのハーシェルが「ガーネット・スター」と呼んだ。不規則変光星としても知られていて、その大きさは太陽の1500倍、表面温度2000Kという低温の赤色超巨星。

神話によると、エチオピア王ケフェウスには、王妃カシオペアと王姫アンドロメダがいた。いずれも美しさは際立っていた。王はこれを誇らしく自慢していた。ある日、カシオペアは「アンドロメダはネーレディウス（海神ネーレウスの50人の娘達）ですら及ぶまい」と言いふらした。これにネーレウスは怒り、海神ポセイドンに頼んでエチオピアに洪水と津波を起こしてもらった。泡食ったケフェウスは怒りを鎮めるため神託したところ、アンドロメダを海の怪獣に生贄にせよ、となり、王は涙をのみながら姫を海岸に鎖でつないで捧げた。

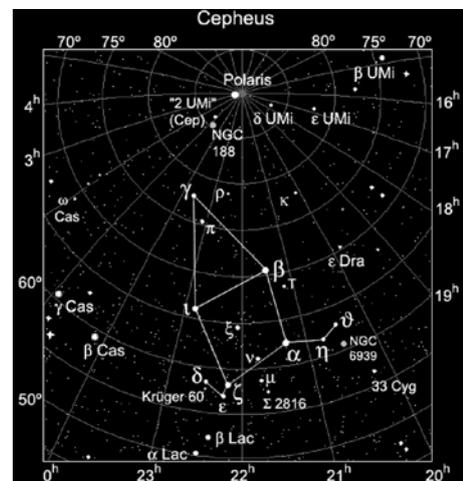
その時、天馬ペガサスに乗った英傑ペルセウスが上空を舞っていた。彼は、視線で相手を石に変えてしまう妖怪メデューサを成敗した帰りだった。アンドロメダに魅かれたペルセウスは王に「怪獣を退治するから姫をいただきたい」と述べたところ、王はやむなく承



<http://www.constellationsofwords.com/stars/Alrai.html>



<http://www.astronomytrek.com/interesting-facts-about-the-constellation-cassiopeia/>



http://www.dibonsmith.com/cep_con.htm

諾した。姫の前に巨大な怪獣が現れてきたが、岩陰から飛び出したペルセウスはその鼻先にメデューサの生首の視線を向けたところ、即座に怪獣は大きな岩になってしまった。死んでもメデューサの眼をみてしまうと何物も石にされてしまうという妖術だけは生きていた。めでたく、姫を連れて宮殿に行き王に拝して、ペルセウスは姫を娶った。が、姫の婚約者ピーネウスは不機嫌で、ペルセウスの誅殺をたくらんで襲ったとき、少しも慌てないペルセウスはまたまたメデューサの生首を見せたところ途端にピーネウス一味はことごとく石になってしまった。

やがて、ケフェウス王もカシオペア王妃もアンドロメダ姫も一緒に星座に昇天したと。

ケフェウス座 δ 星 (セファイド)

デルタ星は2連星であり、その主星が 5.36 日の周期で変光している。これは星の大きさが 30% : 百万 km も膨張・収縮を繰り返しているからである。

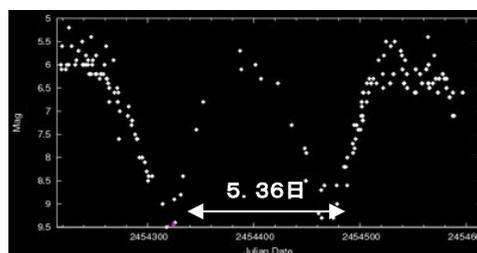
1890年代、ハーバード大学天文台の天文学者ピカリングが若い女子の卒業学生達を指導して恒星カタログ作成を行っていた。そこにヘンリエッタ・スワン・レヴィット (1868-1921) というマサチューセッツ大学教育協会の卒業生がスタッフとして参加した。彼女は、変光星に興味を持ち、ピカリングの指導を受けながらペルーのアキレバ天文台の写真乾板を調べ、小マゼラン雲の中に 2400 個の変光星を同定した。整理すると「明るさ (絶対等級) と変光周期の関係」が判明し、太陽系近傍の星々と比較したところ、ケフェウス座 δ 星と一致することが判った。これらの恒星群に「セファイド」という名称が付けられた。調査研究成果をまとめ 1908 年にレヴィット女史は出版した。

さらにレヴィット女史は、絶対等級が同じ変光星は変更周期も同じであることを掴んだ。これにより、天空のどこかに同じ周期のセファイドが見つければ、見かけの明るさから相対距離が推定できることになる。ただし、絶対等級でないから、距離測定には使えない。しかし、彼女の発見から、デンマークのヘルツシュプルングや米国のシャプレー等が打開しようとした。

セファイドは、次のようなメカニズムで変光することが判り始めた。

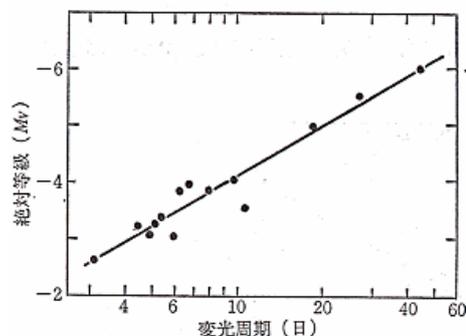


<http://www.nhao.jp/public/astroGallery/picture/>



<http://earthsky.org/?p=3758>

明るさ(絶対等級)と変光周期の関係



<http://www.geocities.jp/planetnekonta2/hanasi/distance.html>

- ・太陽のように水素とヘリウムを核燃焼させて末期にいたった年老いた赤色巨星である。
- ・この状態では、星の中心核が収縮はじめるが、温度は上がる。
- ・熱が外層へ伝わり、一階電離のヘリウムを活性化させる。
- ・さらに二階電離すると光を吸収して熱を閉じ込めるから、膨張して百倍も大きくなる。
- ・膨れ上がると表層は冷え、ヘリウムは一階電離に戻って晴れ上がり、縮みだす。
- ・このサイクルが繰り返されるメカニズムが、セファイドの脈動である。

シャプレーは、太陽との比較においてセファイドが恒星の中で最も明るい部類に属することを発見し、絶対等級まで推定した。(HR図(後掲)の右上) さらに、ウィルソン山天文台の1.5 m最新望遠鏡でセファイドがたくさんある球状星団を見つけ、セファイドを**基準星**として距離を計算できた。

距離が判っている球状星団に目をつけたシャプレーは、その一番明るい星々の絶対等級が同じであることを観測した。セファイドが無くても星団の一番光る星を見つければ距離が推定できることまで判明した。

恒星の距離測定における**灯台:セファイド**を見つけた**レヴィット女史**の功績は、1923年、エドウィン・ハッブルのアンドロメダ銀河におけるセファイド観測と距離計算に応用されたことで歴史的に輝いている。灯台という喩えは、最大輝度が一定して明滅するからであり、遠くの船(地球)から観れば明滅の標準周期で見つけられ、標準である輝度を測れば距離が判る。

おそらく女性が天文学第一線に登場した時代の幕開けになるうか。

なお、同じピッカリング・ハーレムで星のスペクトル分類方式を研究したアニー・ジャンプ・キャンノン(1863-1941)女史の活躍が少し早い。いずれにしても、研究成果というものは助手の貢献によるところが大きい。江崎ダイオードの「トンネル効果」を発見し得たのも研究助手(女史)の疲れを知らないデータ収集なくしては成らなかったと言われており、中性子星を見つけたのも助手(女史)の念入りな取得データの観察というサポートがあったからである。

HR図 (HRD : Hertzsprung-Russell Diagram)

ただ夜空に光っているだけの恒星、どれもこれも同じように見える。だから、古代の知識人は神話を当てはめて区別・認識できるようにした。

しっかりと観れば、実は色々なカラーで輝いている。あのアポロ13号がエンジン故障により惰性で月を周回しているとき、月の裏側にさしかかった。恐怖におののきながら宇宙を見たとき、まばゆいほどの星々が視界いっぱいにはたがり、三人のスペース・クルー達はあっけにとられたという。あたかも百花繚乱のごとき夜空の星々のありさまに度肝を抜かれ、数分間とはいえ、恐怖心を忘れて胸がふるえたと伝えられている。仮に、月の裏側に天文台を設置できれば、ハッブル宇宙望遠鏡：HSTを遥かにしのぐ倍率と超高精細な8K画像が得られること疑いなし。ただし月一回の満月の時に限る。

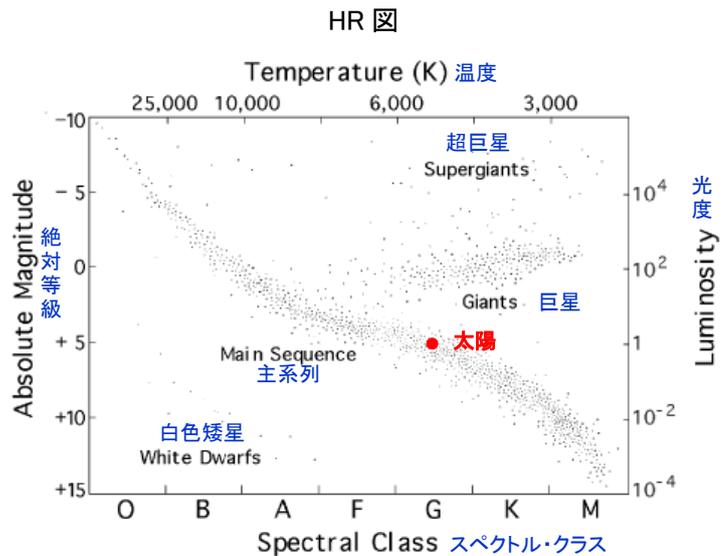
そのような宇宙の星々に共通するたった二つの特徴、「光度と色」にこだわり分類してグラフにした男たちがいた。デンマークのヘルツシュプルングと米国のラッセルである。

アイナー・ヘルツシュプルング(1873-1967) & ヘンリー・ノリス・ラッセル(1877-1957)

彼らの発想の原点は、「すべての恒星は太陽のともだち」 = 「太陽がいっぱい」であった。これは今でも天文学者たちに確信されており、太陽の研究から恒星の類推に直結している。

HR図 (右) の特徴は次のとおり。

- (1) 恒星の種別が判明
(主系列など)
- (2) スペクトル種別が明解
- (3) 星のライフサイクル究明



<https://www.cpp.edu/~pbsiegel/phy303/ch13.html>

恒星の種別 : ① 主系列

原始星が十分成長し、中心部の温度がおよそ 1,000 万度に達すると、水素原子核 4 つからヘリウム原子核 1 つが作られる **PP連鎖** (Proton-Proton : 陽子・陽子) という核融合反応が始まり、膨大な核エネルギーを放射する。この状態にある星を主系列星と呼ぶ。

星の内部の重力により供給される物凄い圧力により温度が高くなり出し、陽子どうしの反発クーロン力を上回ると核融合が始まるのである。太陽や夜空で輝く多くの星がこの主系列星で、平均で 100 億年という一生のほとんどをこの主系列星という段階で過ごす。

その昔、太陽は重力エネルギーで輝いているとした考えもあったが、それによると最長で 1 千万年しか続かないと言われている。それほど核燃焼エネルギーは凄まじいのである。

太陽質量の約 1.3 倍の星の内部では **CNO (炭素・窒素・酸素) サイクル** が起きる。その質量は 2.585×10^{30} kg もある。炭素・窒素・酸素を触媒とした水素核融合である CNO サイクルが主体となる。CNO サイクルは温度に非常に敏感なため、星のエネルギー生成は中心部に集中するようになってコアの領域に対流層が発達するという。

要するに、核反応により恒星は輝き、太陽も周りの惑星に核エネルギーを降り注いでいるということである。私たちの地球が温暖なのは、偏に、太陽が比較的安定して核燃焼し続けており、それを受ける地球も大気に、いわばビニール・ハウスみたいに覆われているからである。また、見えない地磁気が南北に大きくカバーしていることも見逃せない。これにより危険極まりない放射能すなわち太陽風が避けられている。すなわち、私たち人類や生物ぜんぶが、地球環境という生命維持装置の中に生きているのだ。日本人最初の宇宙飛行士の毛利衛氏が感慨深げに語っていた。

恒星の種別：② 赤色巨星

主系列星の中心の水素が枯渇してヘリウムのコアができると、ヘリウム・コアの表面では水素の核融合が進行し、ヘリウム・コアの質量は増え、かえって収縮し、温度が上がる。中心部の温度が上がると、外層部の水素は膨張する。膨張につれて星の表面温度は低下して **赤色巨星** となる。赤色巨星の外層では、恒星の中心からの距離が遠くて重力が弱いために、徐々にガスが周囲に流出し、恒星は外層を失っていく。赤色巨星の直径は 1.3 から 1.7AU となるので、太陽の末期の巨星化では地球は飲み込まれる。

(1AU; Astronomical Unit = 約 1.5 億 km : 太陽・地球間距離)

太陽質量の 0.5 倍より大きい恒星では、ヘリウムのコアの収縮が進行して絶対温度が 1 億度を超えると、中心でヘリウムから炭素への核融合反応がはじまり、主系列星の時と同じように安定に調節される核融合反応が起こることになる。星全体が収縮して主系列星に近い状態に戻るが、恒星の外層が不安定な状態となり、星全体が脈動する **セフィッド変光星** となる。

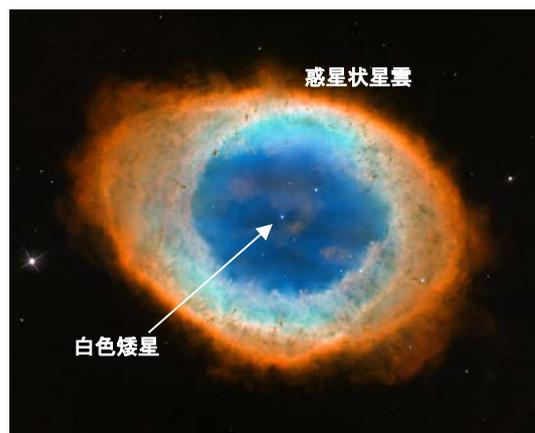
太陽質量の 0.5 倍から 8 倍までの恒星では、炭素の核融合が起こるほどには中心核の温度が上昇しないので、太陽質量の 0.5 倍以下の恒星と同様に、外層を失った炭素のコアが白色矮星となって一生を終える。周囲に放出されたガスは **惑星状星雲** として輝く。

恒星の種別：③ 白色矮星

赤色巨星の外層は星の中心から離れているために重力による束縛が弱く、徐々にガスが星から流出して、そのため恒星は外層を失い、中心核が露出する。ここで核融合反応が終了したものが **白色矮星** となり、流出したガスは、惑星状星雲として観測される。

白色矮星は、恒星が進化の終末期にとりうる形態の一つで、質量は太陽と同程度から数分の一程度であるが、直径は地球と同じぐらいに縮小しており、非常に高密度の天体である。

右の画像は、代表的な惑星状星雲のリング星雲 M57 である。琴座にあって太陽からの距離は 2,300 光年であり、リングの差渡しは 1 光年ほどに広がっている。



<https://apod.nasa.gov/apod/ap130605.html>

スペクトル・クラス

光度は、星が放出する電磁放射の量に関係し、太陽光度の単位：SI でも測られる。1 SI は私たちの太陽の放射で、およそ 3.846×10^{26} ワットとなる。この放射量は光が見える部分と見えない部分の形態から成る。

HR 図のように、恒星は異なる波長（スペクトル）クラスの文字で分けられている。

[O, B, A, F, G, K, M]

このモデルにおいて、O 星は最高に熱く、M 星は最も冷たい。

それらは、“Oh, Be A Fine Girl, Kiss Me.” で簡単に憶えられる。

一般的に、

O 星は、極めて熱く明るい（主系列星においておおむね 3 百万に 1 個ある）。

A 星は、白か青白い星で 160 に 1 個ある。

F 星は、同じように白く、主系列にあって 33 に 1 個ある。

G 星は、私たちの太陽のように黄白色の星で α ケンタウリ類も含まれ、13 に 1 個ある。

K 星は、濃いオレンジ色で比較的低温で、8 に 1 個ある。

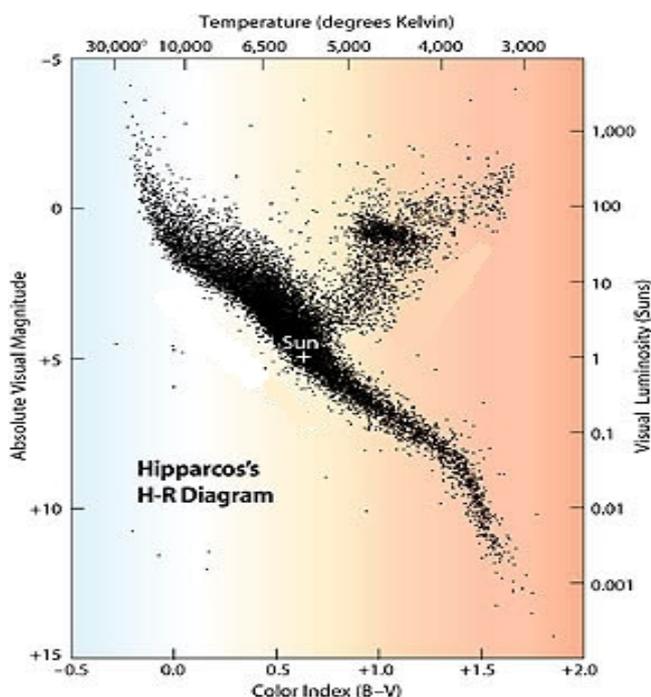
M 星は、最も低温で最も普通であり、主系列星の 76% を占める。

恒星のスペクトル・クラスの色と温度

Spectral Class	Color	Temperature (K)	Spectral Lines
O	Blue-violet	30,000-50,000	Ionized atoms, especially helium
B	Blue-white	11,000-30,000	Neutral helium, some hydrogen
A	White	7,500-11,000	Strong hydrogen, some ionized metals
F	Yellow-white	5,900-7,500	Hydrogen and ionized metals (Ca, Fe)
G	Yellow	5,200-5,900	Neutral and ionized metals (Ca)
K	Orange	3,900-5,200	Neutral metals
M	Red-orange	2,500-3,900	Titanium oxide and some Ca

ヒッパルコス衛星により観測された恒星（4千個以上）が右の画像のようにプロットされた。これが最新のHR図となる。

横軸のカラー・インデックスとして“B-V”とあるのは、実際の色測定のために用いたフィルターの種類である。Bはブルー・フィルターで、Vはヴィジュアル・フィルターを指し、この差分 B-V が、ありのままの色と温度が導かれるという。

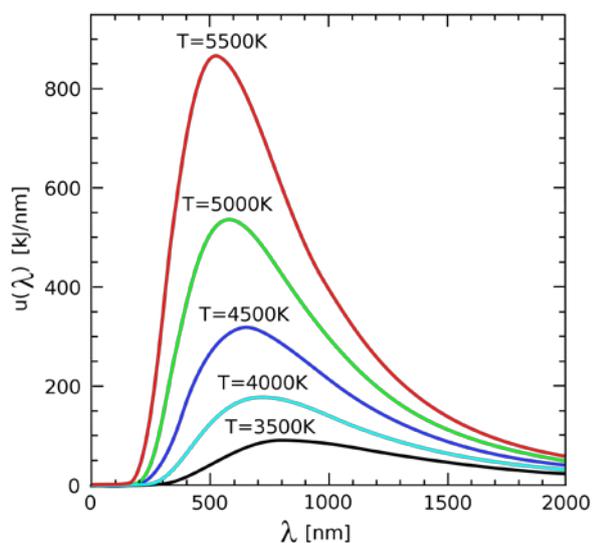


http://abyss.uoregon.edu/~js/lectures/st_pop/page_8.html

これまで、色すなわち光の波長と温度の関係に触れなかったが、簡潔に述べる。

1893年にドイツの物理学者ウィーンにより「ウィーンの変位則」(右図)が理論的に導かれることにより、星の色のスペクトルが判れば星の表面温度が求められることになったのである。

これで、HR図がにわかに貴重な天文学のダイアグラムに刷新された。遠すぎて距離すら判らなかつた星もスペクトラムが解れば温度も計算できることとなったのである。スペクトラムとは、色を示す波長毎にその強度をグラフにしたもので、すなわち図における曲線のように分布するものである。



<http://m.teachastronomy.com/astropedia/article/The-Size-of-Stars>

質量・光度グラフ(主系列星)

この質量・光度グラフは、SRC(Simulation RPG Construction)の質量・光度画像と主系列星の光度・質量にかかる対数グラフである。星の質量は次の式で計算できる。

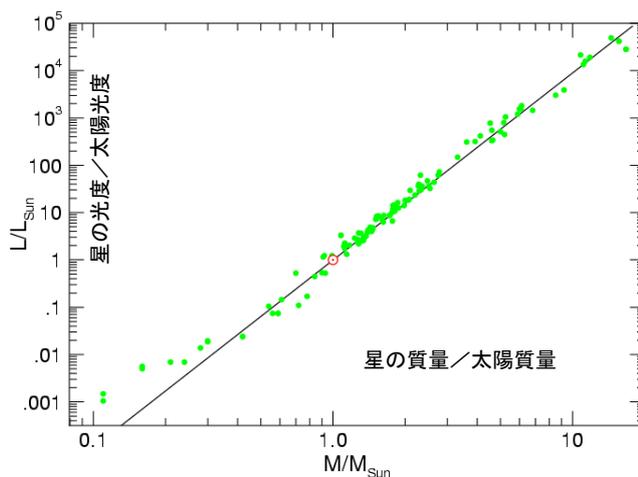
(星の光度/太陽光度)

$$= (\text{星の質量/太陽質量})^{3\sim 5}$$

理論的には光度は恒星質量の3乗に比例する。実際は恒星を取り巻くガスの性質から明るく見えて、光度は恒星質量の3乗から5乗に比例する観測結果が得られている。

この式により、星の絶対光度が解れば、質量が求められることになり、ヒッパルコス衛星の精密な距離と光度測定データは極めて貴重であることが自ずから解り得よう。即座に HR 図に反映できるのであるから。

なお、この式は巨星や白色矮星には適用できない。



<http://www.astronomy.ohio-state.edu/~pogge/Ast162/Unit2/structure.html>

スブラマニアン・チャンドラセカール (1910-1995)

チャンドラセカールは、現在はインドになるが、1910年10月19日に生まれた。大学の時、彼は最初の論文、コンプトン散乱と新統計学を書いた。彼の物理学の学士位に努め、1930年6月に受けた。学士過程を卒業後、インド政府はチャンドラセカールをケンブリッジ大学への奨学金留学に賞した。その大学で彼はR. H. ファウラー教授に会った。たくさんの異なる世界中から集まった教授たちと知り合うことで関係作りを始めた。ついに彼は1933年にケンブリッジ大学の博士号を取得した。

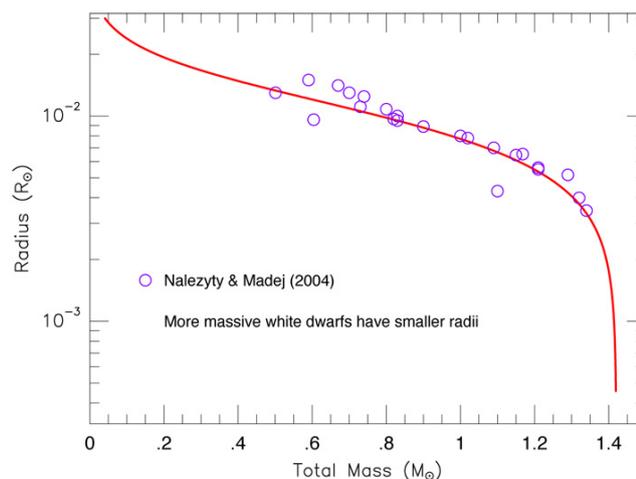
チャンドラセカールは英国を去り、シカゴ大学で天体物理学理論の教鞭をとった。他の名門大学からたくさんの教育依頼を受けたけれども、チャンドラセカールの残りの経歴は、シカゴ大学にて積み上げた。そこにいる間、イェークス天文台と天体物理学・宇宙開発研究所(LASR)においてたくさんの研究業績を遂げた。研究中に、チャンドラセカールは、一つの特定課題に数年を捧げ、次から次へと移りながら、何を研究するかに基礎を置き、彼の人生でも明確な時期であった。彼の研究分野と研究期間は次のとおり。

1929-1939	恒星の構造、 白色矮星の理論
1939-1943	恒星系力学
1943-1950	放射転移とマイナス水素イオンの量子論
1950-1961	流体力学、磁気流体力学的安定性
1960s	平衡楕円体の平衡性と安定性、一般相対論
1971-1983	ブラックホールの数学理論
late1980	重力波の衝突理論

星の構造と進化における物理的プロセスの彼の研究成果により、チャンドラセカールは、1983年にノーベル物理学賞を受けた。表彰は受けたが、彼は賞が初期の功績に当てられたということに戸惑った。

チャンドラセカール限界は最大質量の白色矮星（右図）が中性子星かブラックホールのいずれかに崩壊することを説明している。この白色矮星の限界質量、つまり**太陽の 1.44 倍**という数字は、超新星 Ia 型の爆発において超新星以上に厳然と輝いている。

NASAは1999年に、ブラックホールが放出するX線の観測衛星にチャンドラセカールの名を「チャンドラX線観測衛星」として冠した。



<https://www.cpp.edu/~pbsiegel/phy303/ch13.html>

アニー・ジャンプ・キャンオン (1863–1941)

米国発の女性天文学者、アニー・ジャンプ・キャンオンは、恒星の分類の開発およびハーバード分類スキームにおける決定的な成果で大きく認められている。エドワード・C・ピッカリング (1846 - 1919) と共に、キャンオンは、温度に基づいて関連づけた分類システムを創り上げた。彼女の実績は、あらゆる恒星の温度依存の分類法において最初の真の試みを成したものとみなされよう。

彼女はしょうこう熱で聴覚障害になってしまった。しかしながら、彼女のかつての教授に、天体物理学の教授サラ・フランシス・ホワイティングに仕事に就きたいとして、手紙を書いた。キャンオンは、ホワイティングの助手として雇われた。この地位がジャンプ・キャンオンに大学院課程を取れる機会を与えたのであろう。彼女は、天文学コースで情熱を捧げるチャンスを得た。

アニー・ジャンプ・キャンオンは、1894年に物理学と天文学の修士課程のためにウェルズリー大学に戻ることを決めた。彼女は、その研究資源と良好な望遠鏡を使えるハーバードのラドクリフ女子大学にも入学した。2年内には、ピッカリングがハーバード天文観測所における助手としてキャンオンを雇った。彼女は数人の女性たちとともにヘンリー・ドレイプ・カタログに恒星を分類することに携わり、彼女たちは、写真乾板の光度9のすべての恒星の位置を確認して確定することを行った。

アニー・ジャンプ・キャンオンは、一つの解法を見つけることができた。

彼女は、**O, B, A, F, G, K, M**という波長（スペクトル）クラスに星々を分けた。記憶を助ける仕組みが、星の分類の形式は“**Oh Be A Fine Girl, Kiss Me**”として覚えることで使われた。彼女のアイディアは、バルマー吸収線の強度の持ち上がりに依存した。そして、温度がより良く解釈されると、彼女の分類のイニシャル・システムにより、恒星カタログを更新する必要が

なくなった。ヘンリー・ドレイパー・カタログのために、彼女は独りで約 230,000 個の恒星のリストを創ることができた。1907 年までに彼女はウェルズリーでの研究を終わらせて、MA (修士号: Master of Astronomy) が付与された。彼女の職歴は、女性がかろうじて科学界にて受け入れ始められた時代の中で 40 年以上も続いた。1941 年に亡くなる前に、アニー・ジャンプ・キャノンは、彼女の生涯を通してその榮譽に対し数多くの賞を受けた。彼女は、1925 年にオックスフォードの名誉博士号に賞された、それまでの最初の女性であった。

アイナー・ヘルツシュプルング (1873–1967)

化学者であり天文学者でもあるデンマーク人のアイナー・ヘルツシュプルングはコペンハーゲンで生まれ、ロスキルデにて逝去した。

彼は、ヘルツシュプルング・ラッセル図でよく知られているが、それは、1910 年代にヘンリー・ノリス・ラッセルと共にその図を創り上げた。HR 図は、絶対光度、明るさ、スペクトル型、等級と星の有効温度との相互関係を散布図として表される。HR 図は星の進化をよりよく理解するために現象的用途として使用されてきた。星の階層的システム、つまり、スペクトル型による星の分別、発展段階、そして光度を明るみにしており、星のいろいろな種類と進化を記述する際にも用いられている。

ヘンリー・ノリス・ラッセルとの共同作業の後に、ヘンリエッタ・レヴィットが光度・周期関係を発見してセファイドを特定したことを認め、ヘルツシュプルングはセファイド変光星の距離を計算するために統計的視差法を用いた。

ヘンリー・ノリス・ラッセル (1877~1957)

ヘンリー・ノリス・ラッセルは、1877 年ニューヨークのオイスター湾で生まれた。彼は、ヘルツシュプルングとの共同研究で有名なアメリカの天文学者であった。彼の 1910 年の HR 図開発のほかに、フレデリック・サウンダースとのラッセル・サウンダース・カップリング (LS カップリング) の功績でもよく知られている。

ラッセルは、1903~1905 年にケンブリッジ天文台でアーサー・ロバート・ヒンクスの研究助手として働き、ジョージ・ダーウィンの影響を深く受けた。研究助手のあと、1908 年までプリンストンに戻り、天文学の教鞭をとった。

彼はそこで 1911 年まで助教授、1927 年まで教授、1947 年まで研究特任教授として働いた。この時期の 1927 年に、レイモンド・スミス・デュガンとジョン・クインシー・ステュアートを手伝って二冊にわたる教科書を書いた。それらは“天文学: 若者向けの天文学マニュアル改版”である。この教科書は、20 年後まで天文学界の標準テキストになっていた。1912 年から 1947 年まで、プリンストン大学の天文台長に就任した。

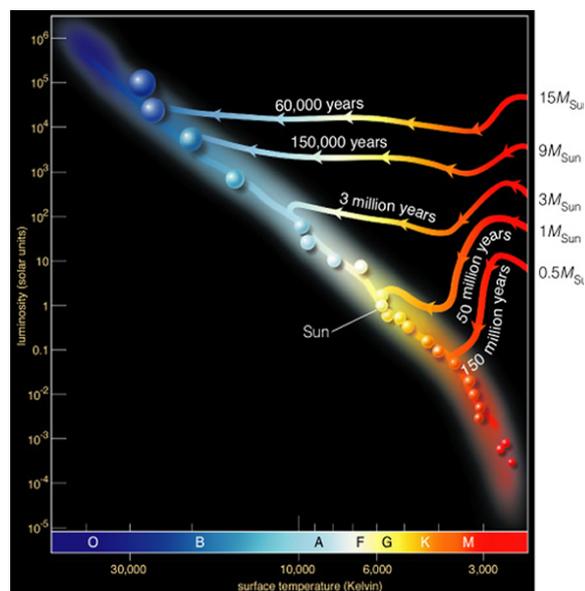
恒星のライフサイクル

誕生

恒星の誕生は、原始星フェーズまたは初期星の形成とともに始まる。その過程は、巨大な分子雲（GMC : Giant Moelecular Clouds）が重力収縮を経て、星の進化スタートを告げる生起とともに開始される。平均的な GMC は、だいたい 100 光年または $9.5 \times 10^{14} \text{km}$ に亘り、 $1.2 \times 10^{37} \text{kg}$ の質量かあるいは太陽の 6 百万倍の質量を擁している。

重力収縮が進む間に、巨大分子雲は小さい塊に分かれ、それぞれが、重力ポテンシャル・エネルギーによる収縮熱を放出する。これは、その塊が原始星に変化するように、つまり球状に回転する熱いガスで増大する温度と圧力を生起する。

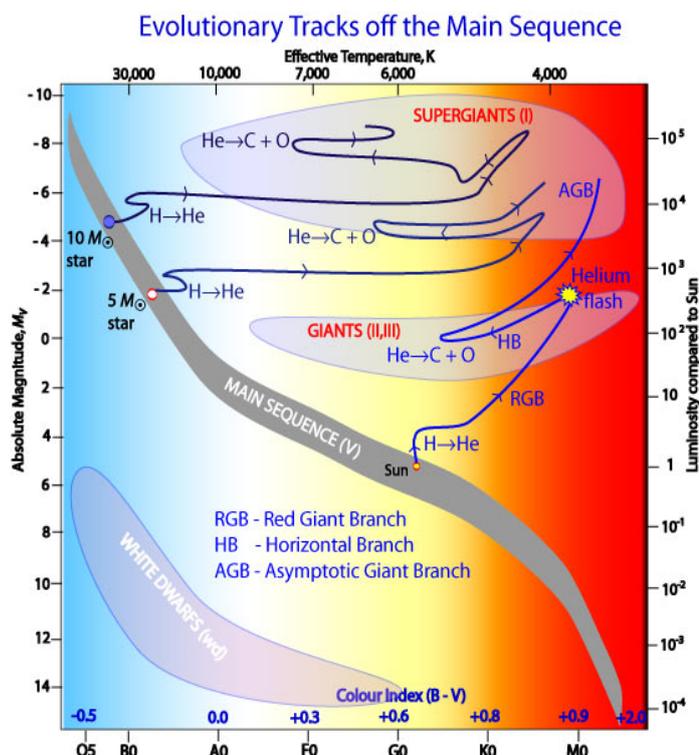
恒星進化における次の段階は、育ちゆく原始星の質量による。原始星は、褐色矮星と準惑星天体に類別される。褐色矮星は、核融合に十分な温度に達しない質量 $1.6 \times 10^{29} \text{kg}$ ($0.8M_{\odot}$: M は太陽質量) であり、水素の核融合ができない原始星なのである。褐色惑星は 2.5×10^{28} の質量か、 0.125 の重水素融合の太陽質量を持つ。



死

我々の太陽のような代表的な恒星の死は、星の P P 連鎖工程が止まり、水素コアが尽きたときに起きる。コアが冷え始めると、コアは炭素になるヘリウム融合を開始する。そして恒星は膨れて赤色巨星になる。この時点で直径が 1.3 から 1.7AU となる (1AU=約 1.5 億 km)。

赤色巨星の状態は赤色超巨星まで 1 億年続く。この 1 万年の狭間で、恒星はおよそ 2AU に拡がり、その質量のかなりの部分を太陽風にて失い、ネブラ（塵と分子雲）に包まれた炭素コア（白色矮星）を残す。CNO サイクルでエネルギーを生産できる重い恒星では、水素とヘリウムを核



燃焼し尽くした後も、核融合は継続可能なのである。コアは、炭素から酸素へ、ネオンへ、シリコンへ、硫黄へそして鉄へ変遷する。その高密度なコアは、強大な重力圧を生み出し、重力崩壊を起こしてから超新星爆発していく。恒星の質量に応じて、中性子星かブラックホールかのいずれかに行きつく。後者はさらに質量が必要となる。このプロセスは後章でさらに詳しく述べられる。

AGB星

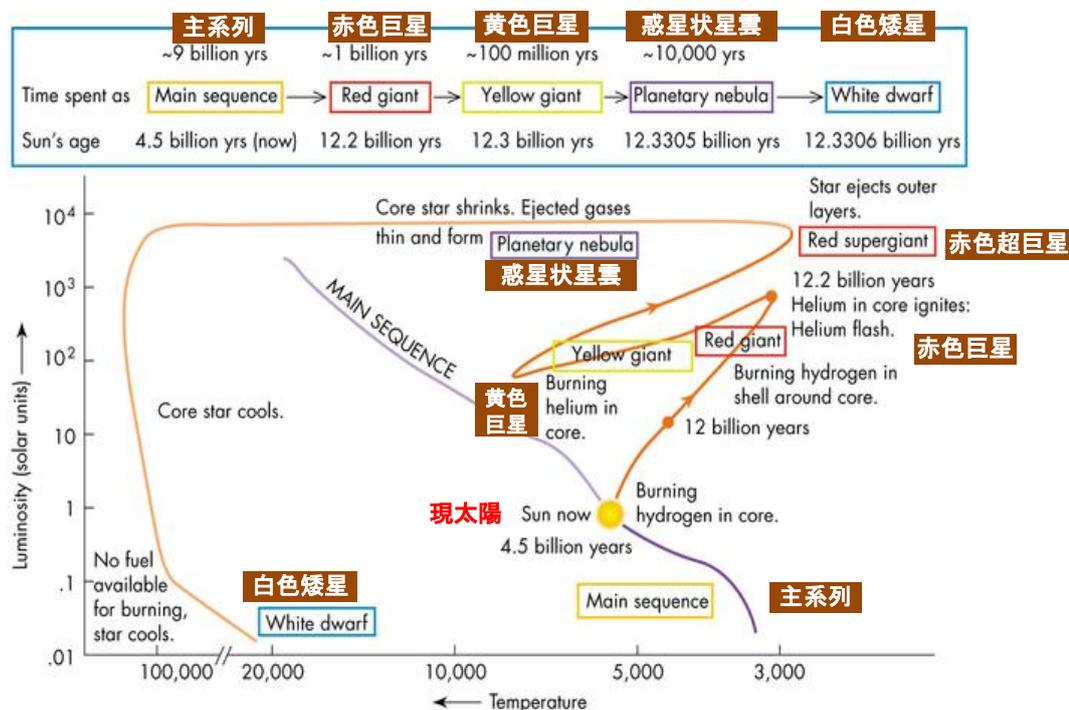
[漸近巨星分枝; Asymptotic Giant Branch]

一般的に言えば、太陽質量の10倍から0.6倍の星は、結果的にAGB（漸近巨星分枝）星として終わる。これらの星は赤色巨星のように見え、内部は炭素と酸素のコアから成る。コアの周りではヘリウム殻（炭素を作る融合変移しているヘリウム燃焼という。）、それから水素殻（ヘリウムを作る融合変移している水素燃焼という。）、そして最後は巨大な星圏の外被となる。この外被は、ゆるい質量の外房を有して、秒速10 kmで星から拡散していく。この過程で星は、太陽風が外房を広げるのでたくさんの質量を失う。大量の物質は宇宙に散らばり、星の質量を減らす。



太陽のライフサイクル < <https://www.cpp.edu/~pbsiegel/phy303/ch13.html> >

期間	~90 億年	~10 億年	~1 億年	~1 万年	~10 万年
太陽級恒星	主系列	赤色巨星	黄色巨星	惑星状星雲	白色矮星



エピローグ

宇宙の解明は、18世紀の産業革命に引きずられるように起こった。その牽引となったのは、理論物理学の爆発的発展であったといえる。でなければ、行ったこともない遙かな星々の中身まで分析され得るはずがない。具体的には、量子力学と一般相対論に代表される。特殊相対論の光速度を超えて飛行できるものはない、というこの宇宙の限界を考える機会も私たちは与えられた。技術工学が産業革命以来、果てを知らないほど発達してきたことを肌で知っているのに、限界があるなんて不思議でもある。この広い宇宙にも、果てがあるのだろうか。これからの探求で解るかもしれない。

すべての恒星は、太陽みたいなものであることが判った。しかも、その膨大な放射エネルギーは核融合反応によるものである。原子力発電を忌み嫌う人々にこそ、その恩恵を再考して欲しいと思うのは私だけではないだろう。この温暖な地球環境は、奇しくも、太陽の核エネルギーによりもたらされている。ただ、地球自体が生命維持装置というべき大気と地磁気に包まれていることを再認識すべきと思う。日本人最初の宇宙飛行士である毛利衛氏が言っていた。

宇宙ステーションに滞在中、毛利氏は眠るとき、瞑目すると眼がしらにかすかな閃光を何度も見たという。それが宇宙線によるものであることが分かったのである。地上でそれが無いのは、ビニール・ハウスみたいな薄い大気に守られているからである。

地球創成の源をたどれば、まさに太陽の核エネルギー放射により出来たのだ。あらゆる生命の進化もそうである。しかし、現在ですら、危険な原発でなく安全でクリーンな太陽光発電などに電力は頼るべきと言い張る人々もいる。知恵がついた人類だけ、そのお世話になってきたことを身勝手に棚上げしている。

スーパーマンは他の恒星系のクリプトン惑星からやってきた。このフィクションの背景を考え、反対も考えれば、私たちは、いずれ他の穏やかな地球的惑星を探して移住することになる。少なくとも太陽系惑星にはないから、近隣の恒星系を探し回るはず。

映画スターウォーズのようなドラマは、本気で考えるべきときが21世紀ではないだろうか。そのためにも、専門家にまかせるだけでなく、私たちもこの広い宇宙を知るべきと思う。

別当 勉

<betobetoven@mail2.accsnet.ne.jp>

<参考図書等>

No.	題名	著者	発行元
1	宇宙を測る	キティ・ファーガソン	講談社 ブルーバックス
2	測り方の科学史 I「地球から宇宙へ」	西條 敏美	恒星社厚生閣
3	宇宙と星	畑中 武夫	岩波新書
4	星空の神々	長島 晶裕／ORG	新紀元社
5	天文年鑑 2016年版	誠文堂新光社	誠文堂新光社

<放送コンテンツ>

101	宇宙とその進化第5回 「主系列星から赤色巨星までの進化」	放送大学専門科目 2016.10.29	放送大学
102	宇宙とその進化第6回 「赤色巨星以降の進化」	放送大学専門科目 2016.11.05	放送大学
103	サイエンスゼロ「プロキシマb」	NHKE テレ 2016.9.25	NHK

<インターネット・サイト>

201	https://www.cpp.edu/~pbsiegel/phy303/ch13.html Chapter 13: Stellar Evolution, Main Sequence [星の進化、主系列]		
-----	--	--	--