

# 一家に1枚 太陽

## 用語集

### 太陽の一生

#### 恒星

恒星とは、内部の核融合反応により自らエネルギーを放出する天体のことである。太陽は恒星の一つであり、太陽系の惑星を除けば、夜空に見えるほとんどの星は恒星である。恒星は宇宙に存在する密度の濃いガスが自らの重力で収縮することで誕生する。生まれたばかりの原始星は徐々に収縮することで少しずつ重力エネルギーを解放して光る。やがて、中心部の温度が1000万度を超えると水素の核融合が始まる。星の一生の大部分を占めるこの段階を主系列星と呼ぶ。

#### 赤色巨星

中心部の水素を使い果たした主系列星は急激に膨張して、表面温度が下がるため色が赤くなる。この段階を赤色巨星と呼ぶ。膨張するのは、中心部に核融合の結果できたヘリウムの中心核ができ、その外側で水素の核融合が始まるためである。太陽は今から約60億年後に赤色巨星になると考えられている。その時、半径は今の200倍程度となり、ちょうど今の地球軌道あたりまで膨らむことになる。

#### 白色矮星

太陽を含め質量が太陽の3倍程度以下の星は、赤色巨星となった後、外層部が宇宙空間に流れでて、後に白色矮星が残る。白色矮星の直径は地球と同程度だが、質量は太陽と同じか数分の1程度ある、非常に高密度の星である。通常の星は自分自身の重力で縮もうとするのをガスの圧力で支えているが、白色矮星はその強力な重力を電子の縮退圧という量子力学的な効果で支えている。白色矮星にはエネルギー源がないため徐々に冷えてゆき、最後は電磁波をほとんど出さない黒色矮星となる。

#### 銀河系

銀河とは星の集まりであり、銀河系とは人類の住む太陽系がある銀河のことを指す。銀河系は宇宙に存在する数多くの銀河のうちの一つである。地球から見た銀河の中心部分が天の川である。

### 太陽の構造

#### 核融合反応

軽い原子核同士が融合して一つの重い原子核になることを核融合と呼ぶ。この時、最終的にできる原子核の質量が、融合する前の原子核の質量の合計より小さくなり、小さくなった分の質量に相当するエネルギーが解放される。太陽のような恒星の中では、主に水素原子核(陽子)4つからヘリウム原子核( $\alpha$ 粒子)ができる核融合反応が起きている。

#### 中心核

太陽の中心部にある半径約10万km(太陽半径の0.2倍)の領域。温度は約1500万度で、太陽のエネルギー源である核融合反応はここで起きている。

#### 放射層

中心核の外側、太陽半径の0.2倍から0.7倍までの層。放射層では中心核で生じたエネルギーが放射(電磁波)によって外側に運ばれる。恒星の内部は電磁波にとっては不透明であるため電磁波はまっすぐ進むことができず、吸収と放射を繰り返しながらあちこちに飛び回っているが、全体を平均すると内側から外側へエネルギーが運ばれている。

#### 対流層

太陽半径の0.7倍から表面までの層。対流層では温められたガスが上昇し、表面で冷えたガスが下降する熱対流によってエネルギーが外側へ運ばれる。対流には様々なスケールがあり、表面近くでは大きさ1000km程度の対流構造が粒状斑として、3万km程度の対流構造が超粒状斑として見られる。対流によるガスの運動は、太陽の回転とともに、黒点の源である太陽の磁場の生成(ダイナモ機構)に重要な役割を果たしている。

#### 光球

可視光で見た太陽の表面に相当する、厚さ数百kmの薄い層。黒点、高い空間分解の観測では対流運動による粒状斑、明るく輝く白斑などの構造が見られる。温度は約5800度で、黒点部分は約4000度とやや低い。

#### 彩層

光球の上にある厚さ数千km、温度が数千〜数万度の大気の層。皆既日食の際に太陽表面のすぐ近くでピンク色に見られることから彩層(chromosphere)と名付けられた。ピンク色に見えるのは、水素原子のスペクトル線であるH $\alpha$ 線(波長656nm\*の赤色の光)が原因である。彩層はジェット状のプラズマ上昇流であるスピキュールや衝撃波などが行き交う、非常に活発な領域であることが分かっている。

#### コロナ

太陽の外側に広がる、温度が100万度から数千万度にもなる高温の大気。古代から皆既日食の際に観測されていたが、近年では宇宙空間からX線や極端紫外線でも観測されている。コロナは太陽以外の様々な星にもあることがX線観測から分かっているが、数千度の星の表面の外側になぜ100万度以上の高温コロナがあるのかは、天文学の重要な未解決問題の一つである。

#### 太陽風

コロナから宇宙空間へ流れ出る超音速のプラズマの流れ。速度が毎秒約800kmの高速太陽風と、毎秒約400kmの低速太陽風がある。特に高速太陽風は、磁力線が宇宙空間に向かって開いていて、X線や極端紫外線で暗く見える「コロナホール」から出ている。太陽風のプラズマが満たす範囲を太陽圏(heliosphere)と呼ぶ。太陽風はやがて星間物質とぶつかって太陽圏の終端である衝撃波を形成する。

### 太陽黒点

#### 黒点

可視光で太陽表面を観測した時に黒いしみのように見える部分のこと。温度が約4000度と周囲の光球(約5800度)より低いために暗く見える。黒点には約2000〜3000ガウスの強力な磁場があり、磁場の影響で太陽表面の対流運動が抑えられ、太陽内部からのエネルギーの輸送が小さくなるために温度が下がる。黒点を作る磁場は太陽内部のダイナモ機構で作られ表面に浮上してくるが、その詳細は分かっていることがない。また黒点の数は約11年の周期で増減することが知られている。高解像度の観測で見ると、磁場が強い中心部の暗部と、その周辺で筋模様かほぼ同心円状に広がる半暗部があることが分かる。太陽面上で黒点のある領域を活動領域とも呼ぶ。

#### 表面磁場

太陽の表面にはいたるところに磁場が存在している。なかでも特に磁場が集中している領域が黒点(活動領域)であり、黒点中の磁場強度は2000〜3000ガウスである。黒点から離れた静穏領域にも磁場は存在している。静穏領域の磁場は強さ1500ガウス程度の小さな磁束管(磁力線の束)に集中していることが高空間分解能の観測から分かるが、空間的に平均すれば静穏領域の磁場は10ガウス程度である。

#### ダイナモ機構

太陽内部のプラズマの流れにより磁場を増幅させるメカニズム。黒点を作る磁場は、主に対流層と放射層の境目付近で差動回転(場所により回転角速度が異なる)により引き伸ばされて作られると考えられているが、なぜ黒点が11年周期で増減するのか、黒点以外の微細な磁場の起源はどこにあるのかなど、まだ基本的な点で分かっていることがないことが多い。

### 太陽フレア

#### フレア

太陽フレアは、X線、紫外線、可視光、電波など多波長で急激な増光が起きる現象である。物理的には、黒点の上空のコロナにたまっている磁場のエネルギーが突発的に解放される現象である。最大級のフレアでは $10^{25}$ ジュールものエネルギーが数十分から数時間程度で解放される。これは太陽系内では最大の爆発現象である。フレアはしばしばプロミネンス(フィラメント)噴出やコロナ質量放出などのプラズマの噴出現象を伴う。

## コロナ質量放出

### プロミネンス・フィラメント

プロミネンスとは、温度が数千度から数万度のプラズマが磁場に支えられて高温コロナ中に雲のように浮かんでいる現象である。日本語では紅炎と呼ぶ。彩層プラズマとおなじようにH $\alpha$ 線で見えるため、皆既日食の際に太陽の縁から燃え上がる炎のように見えるためこのように名付けられた。プロミネンスが太陽面上にある時にH $\alpha$ 線で見ると、下から来る光を吸収して黒い筋模様のように見えるため、ダークフィラメント、もしくは略してフィラメントと呼ばれる。プロミネンスとフィラメントの違いは、太陽の縁で明るく見えるか、太陽面上で暗く見えるかという見え方の違いで、物理的な実体は同じものである。プロミネンス・フィラメントは黒点周辺の活動領域にも、黒点から離れた静穏領域にも存在し、どちらもときどき突然不安定になって宇宙空間に噴出することがある。これをプロミネンス（フィラメント）噴出と呼ぶ。

### コロナ質量放出

フレアやプロミネンス噴出に伴って、プラズマの塊が太陽の引力を脱して宇宙空間に飛び出す現象をコロナ質量放出と呼ぶ。コロナ質量放出が地球の方へ飛んできて地球の磁気圏と衝突すると、オーロラや磁気嵐を引き起こす。フレア、プロミネンス噴出、コロナ質量放出はかつて別々の現象のように議論されていたが、現在では、太陽の磁場が不安定化して磁気エネルギーが解放され、プラズマの噴出と加熱を引き起こす一連の物理過程の、異なる側面を見ていると理解されている。

## いろいろな波長で見た太陽

### ひのと

「ひのと（ASTRO-A）」は東京大学宇宙航空研究所（後の宇宙科学研究所）による日本で最初の太陽観測衛星である。太陽フレアのX線、ガンマ線の観測を目的として1981年2月21日に打ち上げられ、世界初のフレアの硬X線撮像の実現や、フレアに伴う数千度の超高温成分の発見など、多くの先駆的成果をあげた。

### ようこう

「ようこう（SOLAR-A）」は太陽フレアやコロナの活動現象を探ることを目的として、1991年8月30日に打ち上げられた「ひのと」に続く日本の太陽観測衛星である。軟X線望遠鏡、硬X線望遠鏡、ブラッグ分光器、広帯域スペクトル計の4つの観測装置を搭載し、2001年12月まで10年以上にわたって観測を続け、太陽コロナがさまざまな時間スケールでダイナミックに構造を変えていることを明らかにした。特にフレアなどの爆発現象で、「磁気リコネクション」と呼ばれる磁力線がつながり変わることによって磁気エネルギーが解放される物理過程が起きていることを確立するなど、太陽物理だけでなく高エネルギー天体物理一般に大きな影響を与える成果を出した。

### ひので

「ひので（SOLAR-B）」はフレアのような爆発現象に加え、定常存在するコロナの加熱メカニズムを明らかにすることを目的に開発された、「ようこう」に続く日本の太陽観測衛星である。人工衛星から可視光で太陽を観測することで高精度の磁場観測を行う可視光・磁場望遠鏡、分光観測でコロナの速度やプラズマの温度、密度を測定できる極端紫外線撮像分光装置、太陽全面の軟X線像を高空間分解能で取得できるX線望遠鏡の3つの観測装置を搭載し、2006年9月22日に打ち上げられた。磁力線が波打つ波動現象であるアルヴェーン波、微細な乱流磁場、彩層中のジェット現象の発見など、目覚ましい成果をあげつつある。

### プラズマ

原子が電離して原子核と電子に分かれた状態を指す。固体、液体、気体に加えて、物質の第4番目の状態とも言われる。プラズマの粒子は電磁場を通して複雑な相互作用をするため、その振る舞いは通常のガスとは大きく異なる。太陽の内部や大気はプラズマの状態にある。

### 光と電磁波

電磁波とは、電場と磁場の変動が空間を伝わっていく現象である。人間の目に見える光（可視光線）は電磁波の一種で、波長が400nmから700nm\*程度のもを指す。電磁波はその波長によって様々な名前と呼ばれており、波長の長い方から電波、赤外線、可視光線、紫外線、X線、ガンマ線である。

### 分光・スペクトル

電磁波を波長ごとに分けることを分光と呼ぶ。プリズムを通った光が波長ごとに違う方向に屈折して虹色に分かれて見えるのが分光の例である。分光した電磁波の波長ごとの強度分布をスペクトルと呼ぶ。

### 輝線、吸収線、連続光

原子（分子、イオンでも同じ）の内部にある電子は特定の離散的なエネルギーしかとることができない。このため、ある原子は特定の波長の光だけを吸収したり放出したりする。また、分光スペクトルを見ると、ある特定の波長だけが光っていたり、逆に吸収によって暗くなっていたりする。前者を輝線、後者を吸収線と呼び、両者を合わせてスペクトル線と呼ぶこともある。太陽の可視光スペクトルを見ると多くの吸収線が見られるが、これらは発見者の名前をとってフラウンフォーファー線と呼ばれる。分光観測によりスペクトル線を調べることで、プラズマの速度、温度、密度、組成など様々な情報を得ることができる。彩層から出る代表的なスペクトル線で太陽観測によく用いられるものには、水素のH $\alpha$ 線やカルシウムのH線、K線などがある。スペクトル線に対し、ある波長範囲で連続的な強度分布をもっている電磁波を連続光と呼ぶ。

### H $\alpha$ 線

水素原子のスペクトル線の一つ。波長は656.3nm\*で、量子数2と量子数3の電子のエネルギー準位間の遷移に相当する。日食の時に見える彩層やプロミネンスが赤っぽく見えるのはH $\alpha$ 線のためであり、太陽彩層の観測にしばしば用いられる。

## 宇宙天気

### 磁気嵐

地球規模で地磁気が大きく変動する現象を指す。コロナ質量放出に伴う磁気プラズマが地球の磁気圏に衝突した際に、太陽風中の磁場が南向きだと太陽風のエネルギーが地球磁気圏に効率的に輸送され、磁気圏が大きく乱れることで磁気嵐が起きる。磁気嵐が起きると、オーロラの発生、電離圏が乱れることによる衛星通信やGPSなどの測地衛星への影響、地上の送電線や発電所に大電流が流れることによる障害など、様々な影響がある。

### 宇宙天気

太陽活動は、磁気嵐以外にも、太陽フレアに伴う高エネルギー粒子による人工衛星の障害や宇宙飛行士の被ばくなど、地球周辺の宇宙環境と人類の活動に様々な影響を及ぼす。主に太陽活動に起因する、宇宙環境の様々な変動を宇宙天気と呼び、その理解と予測が大きな課題となっている。

\*1nm=10 $\text{\AA}$

## 太陽の諸物理量

地球からの距離	149,597,870km
半径	6.960x10 <sup>8</sup> m
質量	1.9884x10 <sup>30</sup> kg
平均密度	1.41x10 <sup>3</sup> kg・m <sup>-3</sup>
表面重力	2.74x10 <sup>2</sup> m・s <sup>-2</sup>
脱出速度	617.5 km・s <sup>-1</sup>
スペクトル型	G2V
有効温度	5777K
総放射量	3.84x10 <sup>26</sup> W
太陽定数	1.37kW/m <sup>2</sup> (1.96cal/cm <sup>2</sup> )
赤道自転周期	27日6時間36分
赤道傾斜角	7.25度

## 2012年5月21日の金環日食

### 日食の安全な見方

太陽の光はひじょうに強く、日食の観察には危険が伴います。太陽をじかに見つめてしまったり、誤った方法で観察を行うことはたいへん危険で、日食網膜症と呼ばれる目の障害につながります。以下のURLを参考にしてください。

<http://solar2012.jp/>

[http://solar2012.jp/hazard/safety\\_for\\_school\\_201202.pdf](http://solar2012.jp/hazard/safety_for_school_201202.pdf)

[http://solar2012.jp/m\\_212.pdf](http://solar2012.jp/m_212.pdf)