

2019 年度 第 6 回講演会 記録

日 時	2019 年 6 月 22 日 (土) 13:00~16:00		
会 場	此花会館 梅香殿		
講 師	京都大学名誉教授 黒河 宏企先生 (認定NPO法人花山星空ネットワーク 顧問)		
演 題	太陽の恵みと怖さ		
備 考	参加者数 181 名 (会員 179 名、聴講 2 名)	記録	飯田正恒

はじめに

【田中 克 先生】

黒河先生は太陽物理学の中心とした天文学の研究者、教育者として、また京都大学附属花山天文台（京都市山科区）および岐阜県・飛騨天文台長を歴任されています。私が京都大学時代、神戸女学院大学山本義和先生の紹介で黒河先生のお嬢さんに研究室の事務を一手に引き受けていただいていたという繋がりがありません。

森里海とのつながりでは、いのちの循環の大元は太陽のエネルギーによる光合成であり、本日はその根源のお話をさせていただきます。今年度のテーマは「確かな未来の原点を探る」としました。太陽はまさに原点そのものですが、これまでこの分野のお話を聞く機会がありませんでしたので、本日ご講演をお聞きするのを非常に楽しみにしています。黒河先生のお話に啓発されて、花山天文台や飛騨天文台を訪れる観察会が実現するのではないかと期待しております。

【黒河 宏企 先生】

今日は「太陽の恵みと怖さ」というテーマで お話します。

京都大学は附属天文台を 2 か所（京都市の花山天文台、岐阜県に飛騨天文台）に持っています。花山天文台は創立 90 周年、飛騨天文台は 50 周年を迎えました。

天文学は非常に幅広い分野ですが、太陽の研究は宇宙研究の基礎であり、地球環境に大きな影響を及ぼすことから、その研究を始めたのですが、あまりにも面白いのですっかり太陽にはまってしまいました。太陽はその表面の様子が

刻々と変わっていくのを観察できる、宇宙広しといえど唯一の天体であり、面白いわけです。

太陽研究は理論の追求と、実際に観測をする 2 つの方法がありますが、私は観測を中心にした研究をしています。太陽は星のひとつですが、ガスの動きまで見えるので銀河系に無数にある星に何が起きているかを知る指標になる星で、宇宙研究の基礎になっています。地球は太陽の恵みを受け、命を繋いでいるのですが、これから宇宙時代になると太陽が怖い存在になるということもお話しします。

私は 13 年前に退職し、現在は NPO 法人花山星空ネットワークで市民や子供たちに天体観測教室などでその楽しさや面白さを伝える活動をしています。本物の自然、満天の星空を子供たちに見せ、宇宙や自然への畏敬の念を持たせたい、そのような思いから「NPO 法人花山星空ネットワーク」を立ち上げました。花山天文台では年に 6 回天体観望会を開いて、太陽、月、土星、木星、星雲などを見てもらっています。また、北アルプスのきれいな自然の中にある飛騨天文台に子ども達や市民の皆さんを案内して、満天の星空と天の川、黄道光などを観察してもらおうツアーも行っています。内容は HP でご確認ください。前置きが長くなりました。本題に入ります。

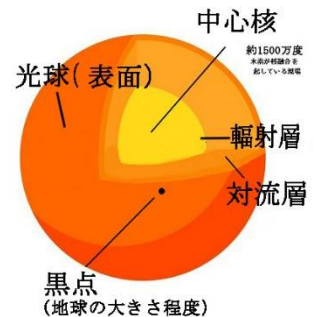


太陽の恵みと怖さ 講演要旨

I. 太陽の一生

1. 太陽の構造

- 1) 成分：水素約 92%、ヘリウム約 8%のガスでできた球。
- 2) 中心核：水素が核融合している現場。1500 万度。4 個の水素の原子核どうしがくっついてヘリウムの原子核に変わるとき、膨大なエネルギーを生み出す。
- 3) 輻射層：巾 40 万 km でガスがほとんど動かない。
- 4) 対流層：太陽中心部にできたエネルギーを対流によって表面部分に運ぶ。
- 5) 光球：肉眼で太陽の表面に見えるところ。温度約 6 千度。
- 6) 黒点：温度約 4 千度の表面の黒い斑点。



2. 太陽のめぐみ

太陽の力は冬至になると弱まり、夏至のとき最も強くなる。このような現象を古代の人々は重要視、太陽の恵みを身体で感じ、畏敬の念を抱いた。ギリシア神話によると、古代ギリシア人は、太陽は天空を翔けるヘリオス神の4頭立て馬車であると信じていた。古代マヤでは、神へいけにえなどの供物を運ぶチャクモールのもつ皿の上に勇士の心臓が置かれ、太陽への捧げ物にされたという。日本では天岩戸に隠れた天照大神に神話が伝わる。

植物などの光合成生物は光エネルギーを使って水と空気中の二酸化炭素から炭水化物をつくり、太陽の恩恵を受ける代表的な生物である。では太陽から地球に降り注ぐエネルギーはいかほどか。太陽定数で表すと 1.37 kW/m^2 となり、計算上では地球全体（太陽に向いた面積）に降り注ぐ太陽エネルギーの約1時間分で全世界の年間エネルギー消費が賄えるという。

また、太陽光発電システムとその実用例を紹介された。今後の課題は太陽光発電での電力をためる電池の価格低下が必要とのこと。

3. 太陽の寿命

太陽の寿命は永遠ではなく限りがある。太陽は4個の水素をヘリウムに変えているので、水素がなくなれば寿命が尽きる。太陽中心核の水素の量は太陽観測でわかっており、 $1.5 \times 10^{32} \text{ g}$ 。ここから計算すると寿命はあと約50億年とのこと。その計算根拠をレジュメに記載している。

4. 太陽の最後の姿

太陽の寿命は100億年程度だと言われている。現在、太陽は約50億歳であるので、あと50億年くらい経過すると中心核の水素燃料が枯渇して収縮するが、その結果内部の圧力と温度が上がりヘリウムが燃え出して、その激しい燃焼の結果逆に大きく膨張して、赤色巨星なり、今の太陽より輝きを増し、強烈な光の放射が地球にも破壊的な影響を及ぼすという。

太陽の最後はどのようなになるか。水素が燃えて出来たヘリウム中心核が燃え出すと星は膨らんで赤色巨星となるが、ヘリウムが燃えた後には炭素と酸素が生成される。太陽や太陽質量の8倍以下の質量を持った中小質量星では、これらの中心核に出来た炭素・酸素は燃えず、エネルギー源が無くなるので、その後は次第に冷えて中心部分は収縮して冷たい白色矮星となり、赤色巨星の外層部分はそ

のまま膨張を続けて惑星状星雲となる。これが我々の太陽の最後の姿である。

一方太陽の質量より 8 倍以上重い大質量星では、中心の炭素や酸素が燃えて次々と重い元素が形成されて更に燃え、鉄まで生成された段階で超新星爆発と呼ばれる大爆発を起こして、宇宙空間に星の外層が吹き飛ばされ、中心部分には中性子星やブラックホールが形成される。また、この時の爆発で鉄より重い元素が生成されるので、我々の体にある色々な元素や太陽系の元素は超新星爆発の結果出来て宇宙空間にばらまかれてできた第 2 世代のガスや星であるということが出来る。

(休 憩)

II. 現在の太陽の素顔

宇宙で、地球からその姿がよくわかるのは太陽のみ。その素顔はどうなっているか。

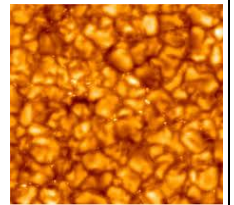
1. 太陽表面

① 光球

表層部分にあり、不透明なガスによって形成される薄い層である。地球からみる太陽光は、光球から発せられている。厚さは 300~500km、温度は 4,500~6,000K と深度によって変化する。

② 粒状斑

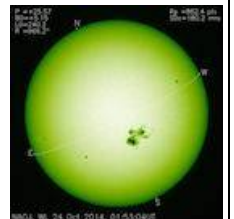
中心核で核融合してできたエネルギーは最初内部では輻射によって（輻射層）、次にその外側では対流によって（対流層）表面に運ばれるが、その対流の一番外側の部分が表面に顔を出して見えているのが粒状斑である。明るい部分は上昇している部分、暗い部分は下降している部分である。



粒状斑

③ 黒点

黒点は磁石であり、磁場を形成し、磁力線がN極-S極を繋いでいる。対流層の下部で作られた磁力線の束は対流層で強められながら磁束管として浮き上がって、太陽表面を突き抜けて宇宙空間に抜け出て行くが、この磁束管の太陽表面（光球）での切り口が黒点である。磁束管の中では内部からの対流運動が押さえられるので、黒点の温度は周囲の光球より低くなり、そのために黒く見える。



黒点

（レジュメの内部の対流層から磁場が浮上してきている図を参照）



2. 彩層と紅炎

① 彩層

光球から約 6000 km の高さに広がる大気層で温度は数千度~1 万度。皆既日食観測で赤色の鮮やかな層として発見されたので、彩層と呼ばれている。現在では通常の観測でも水素の $H\alpha$ 線のみを通す特殊なフィルターを使えば見ることができ、よく見ると針状に噴き出ているジェット集合であることがわかる。ひので衛星の動画で見ると太陽表面からこのジェットがダイナミックに噴き出ている様子がわかる。



彩層

② 紅炎(右図)

太陽表面のガスが高く持ち上げられてアーチを作るように見える現象。プロミネンスともいう。



紅炎

3. コロナ

月が太陽を完全に隠すと、通常では見えないコロナといわれる淡く非常にきれいな大気が広がっているのが見える。普段見えないのは明るさが太陽本体（光球）の明るさの 1/100 万

コロナ

しかないで、地上の青空よりも暗いからである。皆既日食で太陽本体が隠されて初めて見えてくるものである。光球の温度 6 千度に対し、コロナの温度は 150 万度の高温である。このように再び温度が上昇するのはなぜか？これは現在でも謎で、天体物理学の重要課題となっている。仮説として 2 つある。

- ① 磁気波動加熱説（電子レンジ説）：磁力線を伝わる波のエネルギーがコロナで解放される。
- ② マイクロフレア・ナノフレア加熱説（超小型爆発説）

Ⅲ. 太陽活動の変動

太陽の黒点が経時的に増減する。それに伴い地球磁気圏や電離層の活動が激しくなったり、静かになったりする。

黒点の周期は 11 年であることがわかっており、現在は黒点の少ない時期にあたっている。太陽黒点の 11 年周期と太陽磁場の 22 年周期の詳細は、レジュメに記載。

Ⅳ. 太陽面爆発の脅威

太陽は地球に恵みをもたらす一方、脅威にもなる。

- ① 太陽は、太陽黒点数の変動周期およそ 11 年ごとに、活動が活発な極大期とそうでない極小期とを繰り返す。極大期には、太陽面爆発により、人工衛星搭載の電子機器などに被害をもたらすような強い太陽フレアが発生することがある。強い磁場、高密度のプラズマ（記録者注）を伴った太陽風が磁気圏に衝突すると、強い電気エネルギーが磁気圏内に生成される。

これが原因でオーロラが現れたり、通信障害や地上の電力施設などにも被害をもたらす。

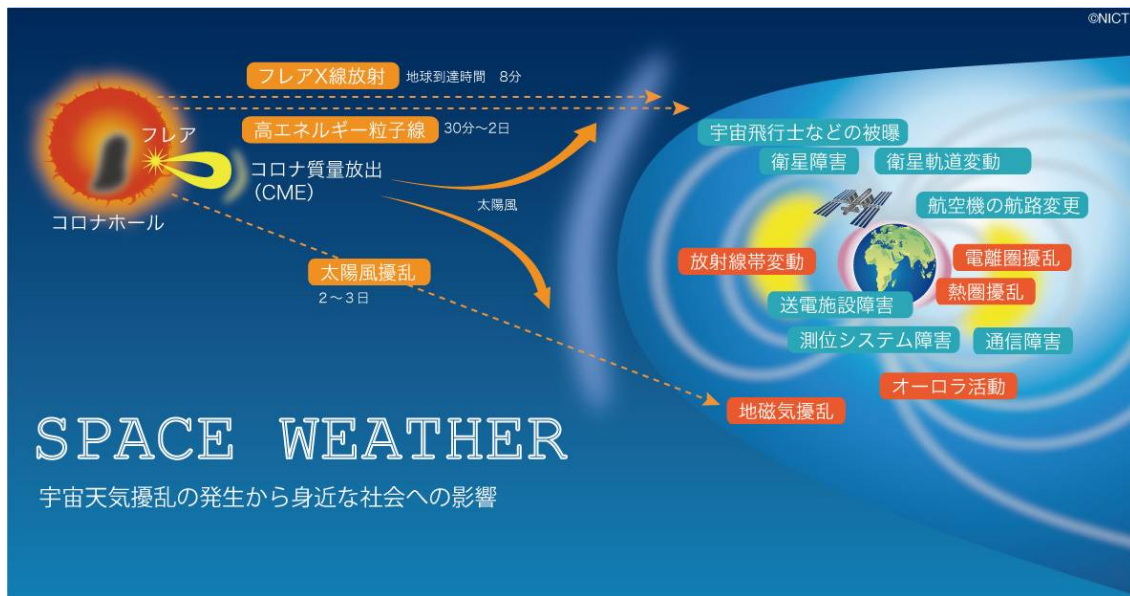
宇宙飛行士が太陽放射線を被ばくすると大変なことになるので宇宙船の安全なところへ避難が必要。

大規模な太陽フレアによって様々な影響をもたらされるこの現象を「地球嵐」という。

太陽表面爆発（太陽フレア）を起こす源は何か、どのような黒点が大フレアを起こすのか、その答えは「**捻れた磁場を持った大黒点が急速に発達すると強い大フレアが発生する**」。

- ② 地球も北極を S 極、南極を N 極とする大きな磁気圏を持っているが、この磁気圏は太陽から吹き出しているプラズマの風（太陽風）によって吹き流されて彗星の尾のように太陽と反対側に伸びた形をしている。強い太陽風が地球に吹き込んでくると太陽風の磁場と地球の磁場との間でリコネクションと呼ばれる磁場のつなぎ替えが起こって、その時に加速される荷電粒子の流れでオーロラが発生したり電離層や磁気圏が乱される。特に大規模な太陽フレアが発生すると、まず高速の放射線によって国際宇宙ステーションで活動する宇宙飛行士が被爆する可能性があり、次に強大なプラズマの塊が地球にやってきて強い地磁気嵐が発生すると、高緯度の都市に大停電を引き起こしたりすることもあるので、強い太陽フレアの発生を予報する「宇宙天気予報研究」が重要となって来ている。これらの研究は京都大学や名古屋大学などの大学で行われていると共に、最近では国立研究開発法人情報通信研究機構（NICT）が宇宙天気予報センターを設けて、「宇宙天気予報」を業務として行っている。

ご清聴ありがとうございました。



宇宙天気擾乱の発生と社会への影響の概念図 宇宙天気予報センターHPから転載

【Q&A】

Q1：金環日食と皆既日食の違いを教えてください。

A1：太陽と月は地球から見てほぼ同じくらいの大きさに見えますが、太陽の周りを回る地球の軌道と地球の周りを回る月の軌道はともに楕円形ですので、観測時期により見え方に大小が出てきます。

月が地球から遠くなるときに太陽と月が重なると、月が小さく見えるので太陽を全部隠し切れず、光球の輪郭が残りリング状に見えるので、金環日食となります。逆に、月が地球に近い時に太陽と月がピッタリ重なると月が大きく太陽を完全に隠すので皆既日食になります。昼間でも夕方のように暗くなり、コロナがよく見えます。

Q2：以前に見た皆既日食のとき、観測場所周囲の景色がセピア色に見えたがなぜでしょうか。

A2：太陽からの光が周囲の木々の葉っぱなどの隙間から漏れ出て地上に三日月形の木漏れびが映るのが、おっしゃるような色彩に感じられたのではないのでしょうか。

Q3：太陽風が発生したとき衝撃波が起こると思うのですが、その影響はどのようなものなのでしょうか。

A3：強い太陽フレアに伴って高速のプラズマの雲が発生しますがその前面に衝撃波ができます。この衝撃波が地球磁気圏にぶつくと強い磁気嵐が起こります。その結果人工衛星との通信ができなくなるとかTVの受信ができなくなるとかの障害が過去にも発生したことがあります。

【田中克先生コメント】

この講座のカリキュラムを、私自身の限られた視野から、森、里、海に直接関連した演目を選ぶことが多いのですが、本日はそれらの存在を確かなものにして大元の太陽について多くのことを教えていただきました。黒点は最先端の宇宙科学の研究テーマですが、一方芸術作品を見ているような感覚に陥りました。

黒河先生の研究領域は基礎科学そのものですが、これを突き詰めていくと必ず現実の応用的な問題につながって行きます。京都大学をご退職後は、NPO法人花山星空ネットワークを立ち上げ、市民や子供たちを対象にした天体観測教室を精力的に開催されているのは、その具体的な現れだと思います。

ノーベル賞を受賞された湯川秀樹博士は基礎物理学の大切さを説かれた方ですが、黒河先生も太陽について基礎的な研究を続ける一方、子どもたちが理屈抜きにその大事さを感じる活動をされているお話をお聞きし、改めて基礎科学と私たちの現実の暮らしや文化などとの係わりを、太陽を通じて勉強させていただきました。本日は大変興味深いお話を聞かせていただきましたので、今度は花山天文台や飛騨天文台を訪ね実物をぜひ見たいと思いました。ありがとうございました。

【記録者の感想】

地球で生を営むものにとって太陽はいのちの源であり、受ける恩恵は計り知れないほどのものがあるにも関わらず、日々陽が昇り沈むのは当たり前のこととして、太陽にほとんど無関心に近い状態で過ごしてきたことを反省した講演会でした。太陽の構造、地球の寿命、太陽嵐、宇宙天気予報のことなど、多くの興味深い事象を教えていただき、これを機会に太陽についての関心を高め、書物をとおしての知識だけに終わらず、自宅でもできる観察をしてみる（スペクトル、黄道を調べる、日時計を作ってみる）など、実感をともなった理解を深めていきたいと思ったことでした。

地球の温暖化は太陽の動きと関係あるのかどうか、太陽は身近な星ですがまだわかっていないことも多くあるといわれます。今後の研究の行方にも大きな関心を持ちたいと思います。よいお話をお聞きかせいただき、ありがとうございました。

以上