

太陽の年齢は23歳

The Sun is as Young as 23 Years Old

日江井 榮二郎

HIEI Eijiro

Abstract: The earth has existed since its birth of 4.6 billion years ago and a lot of animals and plants of various kinds have appeared there. If the earth would be seen from outside of the earth, from the moon for example, it may be seen as a shining bright beautiful planet. Such a wonderful scene greatly owes to the benefits from the sun. A new solar physics, which has developed combining the observations from the ground-based telescopes and the instruments equipped on scientific satellites, shows that the sun is surprisingly active like a youth. The sun has rotated around the center of our Galaxy 23 times since its birth. Therefore the age of the sun is 23.

序

宇宙という壮大な舞台では、様々なドラマが演じられている。星が誕生し、成長しながら星の中では錬金術士さながら、様々な元素が創りだされ、期を迎える折には、自分自身のガスを宇宙空間に放出する。これらのガスは、銀河系の中を巡りながら、‘類は友をよび、友は類をよぶ’ たとえのように、万有引力が働いて再び集まりだし、次第に大きくなり、次の世代の星として生まれる。鴨長明が方丈記の冒頭に「行く河の流れはたえずして しかももとの水にあらず よどみに浮かぶうたかたは かつ消えかつむすびて ひさしくとどまりたるためしなし」と書いているが、まさに宇宙の舞台で演じられているドラマを暗示しているような気がする。私たちは永らく宇宙の舞台を眺める観客であると考えてきたが、実は私たちがこの舞台で演じられているドラマから生まれた子であり、宇宙と共に生き続けて来たことが分かってきた。

宇宙は137億年前に誕生したと考えられている。天文学は、広大な宇宙を眺め、遠いとおい天体を探し求め、宇宙誕生直後の宇宙の姿をしらべている。一方最先端の物理学は、昨年のノーベル物理学賞で3人の日本人が受賞されたように、微小な素粒子の振る舞いを究めているが、これは、宇宙誕生の謎を解明する道に通ずる研究でもある。超巨大な研究と、超微小な研究とがまさに手を取り合おうとしている。研究が奥深くなると、思わぬ領域との学問

が融合してくるのである。

太陽の誕生

夜空に見られる天の川が、私たちの銀河系である。この銀河系は真ん中が膨らんだ扁平な円盤状の形をしていて、中心部分には、ブラックホールが在り、半径が約5万光年という大きさであると考えられている。約2000億個の恒星や、星間雲が銀河系中心の周りを毎秒220kmという速さで回っている。太陽は銀河系の中心から3万光年離れた位置に在り、太陽系の惑星などの天体と共に、46億年前に誕生したと考えられている。太陽が生まれるより前の世代の星が様々な元素を星の中で創り、己の死により、星のガスを銀河系に放出する。これらのガスが星間雲として銀河系に漂い、次世代の星を生み出すのである。星間雲は、何らかのきっかけでふたたび集まりだし、ガスの塊が大きくなると引力がますます強くなり、より多くのガスを集めるようになる。

多量のガスを集めて太陽のような大きな塊となると、質量が大きいため、惑星などをひきつける引力が強く、太陽系のすべての天体の運行を支配するようになる。また、惑星だけではなく、自分自身のガスも自己重力で中心に強く引きつけるので、中心部は押しつけられ、それを支えるために圧力が高くなる。その結果、中心部の温度は1600万度、密度は鉄よりも20倍も高く、1立方センチメートルあたりに156グラムという、高温・高圧になる。このような状態では、水素原子は陽子と電子にわかれ、高速で動き回って激しく衝突し合い、その結果4個の陽子が融合して1個のヘリウムとなる核融合の反応が起こるようになる。この際ニュートリノがつくられ、地球に向かって放出されたニュートリノが岐阜県神岡に在るカムイオカンデでも観測されている。

太陽の中心部では、毎秒6億7千万トンの水素が燃え、その燃えがらとして、6億6千500万トンのヘリウムが創られる。ここで失われた500万トンの質量に相当する莫大なエネルギー（ 3.85×10^{26} 乗ワット）が発生し、太陽を永い年月にわたって輝かせている。中心部に核融合反応が起こったときが、星の誕生である。太陽はいわば、宇宙空間に浮かぶ核融合反応炉ともみることが出来る。この核融合反応炉は、大変たくみに出来ている。太陽はほとんど水素で構成されているので、核融合反応の燃料である水素を豊富に持っている。そして、中心部の核融合反応炉の温度が冷えないように、中心部を取り囲む厚いガスの層が毛布のような保温の役目をしている。更に、もし核融合反応が暴発して高温になると、太陽全体が膨張し、その結果エネルギーを消耗し、核反応がにぶくなる。その逆に、中心部が冷えすぎると、全体が収縮し、収縮するときの重力エネルギーにより、再び温度を高くする。つまり、自動制御の作用が働いているのである。もしも太陽質量の十分の一よりも少ない量のガスが集まったなら、そのガス塊の中心部では温度や密度が小さすぎるので核融合反応は起こらず、恒星として輝くことはできなかったと考えられている。

太陽は誕生以来、現在まで銀河系中心の周りを、ほぼ23回巡っている。我々の年齢は、地球という宇宙船に乗って太陽の周りを巡る回数で数えているが、同様の考えで、太陽の年齢を数えると、太陽は23歳になる。事実、太陽は活発に活動をしている青年の星である。私たちは、現在23歳の輝かしい太陽の下で生涯を送ることができるのは、まさに恩寵によるのであろう。

青年太陽の活動

太陽は、長い間、母なる存在として崇められてきた。冬の縁側での日向ぼっこをしているときなどは、なにごとにも代えがたいぬくもりを感じる。しかし、科学衛星が地球大気圏外に飛び出して、太陽を観測しだすと、そこには今まで知られていなかった躍動する太陽の姿が現われてきた。太陽は、休みなく、その表面上で様々な活発な現象が起こっていることが分かったのである。

太陽表面に現れる黒点は、中国では漢時代から記録に遺されているが、望遠鏡で黒点を観測したのは、1611年からである。Galileo Galilei (イタリア)、Johannes Fabaricius (ドイツ)、Christoph Scheiner (ドイツ)、Thomas Harriot (イギリス)らが観測したと記録にある。日本では、国友藤兵衛(1778~1840)が自作の望遠鏡で黒点を観測し、1835年から1年間の黒点のスケッチを遺している。

太陽面に出現する黒点の総数を時間に対してプロットすると、太陽黒点数は周期的に変動し、その周期は9~14年の幅があるが平均は11年の周期性を示す。黒点数の多い時期を太陽活動極大期、少ない時期を極小期と呼んでいて、2008~09年は極小期に当たる。極大期には、太陽全体が活発となり、太陽が放射する輻射量が増え、コロナや彩層で、爆発現象(フレア)が活発に起こる。フレアが起こると、地球ではオーロラが発生し、また電波障害が起こる。時には人工衛星の機能に障害を与えることもある。

太陽本体からは惑星間空間に向かって毎秒数100kmの高速で粒子が流出し、彗星の尾をなびかせてもいるし、地球にも押し寄せてきている。これを太陽風と呼んでいる。太陽風はコロナ中の磁場も持ちだし、磁気雲のようになって、地球環境を取り囲む。太陽活動が盛んなときには、強い磁気雲が、活動が弱いときには、弱い磁気雲が地球を取り囲む。

地球には宇宙からエネルギーの高い放射線が入射し、地球大気中の原子核と衝突する。しばしば地球大気中の窒素と衝突して放射性同位体炭素14をつくる。二酸化炭素は、炭素原子1個と酸素原子2個から成るが、この炭素は、普通の炭素の質量数が12であったり、放射性同位体炭素14であったりする。これらは、化学的な作用には違いがないので、樹木は光合成の際にそれらを差別なく取り込み年輪内に遺す。したがって、年輪中の炭素を調べると、年どしにより放射性同位体の炭素14の量が異なることが分かった。黒点数が異常に少なかった1650年から50年間には、放射性同位体の炭素14の量が多かった。この時期には、宇宙線の入射量が多かったと推論され、それは、地球を取り囲む磁気雲が弱かったのだと考えられ

た。磁気雲が弱いと多くの宇宙線が地球に達することが出来るが、磁気雲が強いと、宇宙線の通過を阻害して、わずかの宇宙線しか地球に達しないからである。

樹木は古い歴史を持つ。その年輪中に遺されている放射性同位体の炭素¹⁴Cを調べることにより、過去7000年わたる太陽の活動の様子が分かってきた。それによると、太陽の異常な不活発現象は、1650年から50年間、黒点がほとんど出現しない時期があった。この時期には世界的に寒冷であり、農作物が不作であったと報告されている。このような、太陽活動の異常な不活発は、11世紀中期（Oort 極小期）、14世紀前半（Wolf 極小期）、15世紀（Spörer 極小期）、17世紀後半（Maunder 極小期）が知られているが、過去にも数百年に一度という割合で起きている。似たような過程で生成されるベリリウム¹⁰Beの放射性同位体は半減期が151万年と長いので、より長期の太陽活動を調べるのに使われる。グリーンランドや南極に積層された氷柱内の放射性同位体ベリリウム¹⁰Beの過去8000年にわたる測定でも、黒点活動が長期的には変動を示している。このような太陽活動の異常な不活発現象を起こすメカニズムは残念ながら現在のところ未解決あり、予測ができていない。

ダイナミックな現象として、フレアと呼ばれる爆発現象がある。コロナ中の一部が、突発的に輝きだす。フレアが起これば、全世界の人類が使用しているエネルギーの1年間分に相当するエネルギーを放出したり、ときには、1万年間に消費する膨大なエネルギー量（10の32乗エルグ）を放出することもある。フレアが起こればそれに伴って、強烈なX線や紫外線が放出され、地球の電離層を乱し、電波の通信障害を起こす（デリンジャー現象）。それだけではなく、フレア時に放出された強い磁気雲は2～3日後に地球に到達して、地球磁場を揺るがせ、地磁気嵐を起こす。1989年に非常に強いフレアが起これば、ケベックでは9時間も停電が起これた。日本は地球の磁極から離れていて、地球磁場の変動の影響が少ないので、フレアにより停電が起これたという記録はない。さらに有人宇宙船での船外活動では、フレアからの強い放射線は危険である。将来宇宙活動を行うに当たり、フレアの予報が大切であり、地上の天気予報をまねて、「宇宙天気予報」という名で現在世界的に研究がすすめられている。

太陽が月に隠される皆既日食は、紀元前の古より世界の様々な場所にその記録が残されているほど、人々の気持ちに畏怖と感動とを与える不思議な現象である。太陽が月に隠されるにしたがって、あたりが薄暗くなり、物の陰影がぼんやりする異様な光景になる。鳥がねぐらに帰り、気温が下がり、肌寒くもなる。月により隠された太陽が鋭い三日月型になって、まさに最後の明るさが かきけされ、暗闇に突き落とされそうになる瞬間に、私はMozartのオペラ「ドン・ジョヴァンニ」の最終章を思い出す。ドン・ジョヴァンニが神の冷たい手に引っ張られて地獄に墮ちるときの、あの叫び声である。その瞬間、天空を見上げると、そこには生き生きと輝く神々しいコロナの姿が現れる。このときは、自然界に大きく包まれ、宇宙と己との一体感が感じられ、ひとりでの涙があふれでそうになる。一緒に観測をしていた学生達は、自然界にはこのように壮大で荘厳な美しさがあるのかと感動した学生や、自然界にくらべて人間の小ささを知り、謙虚な気持ちになると同時に、百数十億年の悠久な時の流れと、広大な空

間を考えることのできる人類の偉大さとを実感した学生や、ぜひ美しい地球を護らなければならないという気持ちを起こす学生らがいた。

2009年7月22日には、中国の重慶—上海—種子島・トカラ列島—硫黄島を通る今世紀最大の日食が起こる。その皆既継続時間が6分半である。その次に日本では、2035年9月2日には、能登半島から、富山、新潟、群馬、栃木、茨城などの諸地域を通る皆既日食がある。多くの人びとが、宇宙との一体感を体験して欲しいと願っている。

23歳の青年である太陽は、エントロピーの低い質のよい輻射エネルギーを地球に送ってくれている。いわば地球はいつも太陽から元気をもらっている。太陽が放出するエネルギーのうち、地上に達するのは僅かその一部分であるが（1年間に10の24乗ジュール）、それでも、これは現在人類が消費している量の1万倍に相当する。地球に到達する輻射エネルギー（太陽定数）は、1平方メートル当たり1.37キロワットであるが、地上には地球大気の吸収などによりその半分の1平方メートル当たり700ワットのエネルギーが到達している。太陽光の活用をぜひ考えねばならない時に来ている。

太陽に託する思い

太陽は誕生以来現在まで46億年を経ているが、黒点を科学的に観測し始めてから400年間である。これは、太陽の生涯のうちで僅か1千万分の1の時間で、100歳の人生にたとえれば、ほぼ5分間に相当する。太陽黒点の周期性や太陽活動については未解決な問題が多く残されている。太陽は人類だけではなく地上のあらゆる動・植物の生存を左右するので、太陽活動の本質を理解するためには、黒点数の観測などのデータを子々孫々の人々に対して残すことが必要である。

人類は、農業をはじめだした一万年より以前は、食料を狩猟採取によってまかなっていた。現在私どもは、エネルギーに関しては地球が永年にわたり蓄積してきた石油・天然ガス・石炭などを採取し多量に消費している。私たちは現在、いまだに核融合によるエネルギーの利用ができていない。それは磁場とプラズマとの性質を人類は充分理解していないからである。太陽は宇宙に於けるプラズマの壮大な実験場であり、太陽の研究は恒星や銀河の活動現象を理解する基礎となっているだけではなく、プラズマの研究にも役立ち、二十世紀後半に唱えられた「太陽を地上に」というスローガンの実現への道でもある。

今、太陽は23歳、この若々しい太陽のもとに生を享けているという恩寵を感じ、若い太陽のエネルギーを心身に受けて、世界中の人々が、心安らかに、健やかに、日々を送ることを念ずる。

References

- 1) 『日本の天文学の百年』、2008、恒星社厚生閣
- 2) 『シリーズ現代の天文学』、2007～、日本評論社

- 3) 『星はなぜ輝くのか』、尾崎洋二、2002、朝日選書
- 4) 『天文学の20世紀』、1999、朝日新聞社
- 5) 『宇宙がわかるデータブック』、1991、日本放送出版協会
- 6) 『太陽』、日江井榮二郎監修、1984、教育社
- 7) *The Sun*, M.Stix, Springer-Verlag, 1991
- 8) Hinode 衛星特集 ; *Publications of the Astronomical Society of Japan*, Vol.60, 2008
- 9) Youkoh 衛星特集 ; *Publications of the Astronomical Society of Japan* (ISSN 0004-6264), vol. 44, 1992