

宇宙のエネルギーの源である二酸化炭素をださない核融合エネルギーを地上で実現することは、少し前までは夢の研究でしたが、研究はどんどん進み、夢ではなく今や現実の目標としてとらえることができるころまできました。今日は核融合研究の最前線をできるだけわかりやすく話させていただきます。

## 太陽や星のエネルギー源は核融合反応

宇宙の九九％はプラズマからできており、空に輝く太陽や星のエネルギー源はすべて核融合反応によっています。宇宙が誕生してから百三十七億年がたちました。最初にビッグバンが起こり、その直後から核融合反応が始まり、太陽が誕生したのは今から約四十六億年前です。

太陽の重さは地球の三十三・三万倍で、中心では水素の核融合反応が起こっています。表面の温度は約五千度、中心温度は約一千五百万度です。

ところで、太陽の中心から熱が表面まで伝わるのにどれくらいかかるか、考えたことがありますか。なんと、五十万年もかかるのです。そして、太陽表面から地上へ届くのに約八分かかります。したがって、今ここへ届いている太陽の光は、五十万年プラス八分前に核融合反応でできた光なのです。この核融合反応で、じつにたくさんのニュートリノが発生します。今、皆さんの身体を太陽から飛んできたニュートリノが一秒間に一平方センチメートルあたり六百六十億個も突き抜けていますが、信じられますか。

地球が誕生して四十六億年たちました。最初は地上に生物はいませんでした。今から二十億年ほど前に地磁気が誕生し、太陽からの各種の宇宙線が地上に届かなくなり、生物が海から陸に上がることができるようになりました。その結果、私たち人類が誕生することになったのです。オーロラも地磁気ができたことにより、発生するようになりました。

ちなみに、地磁気は、地球内部のマントルコアのダイナモ効果で発生しますが、このことは私たちの研究分野にも密接にかかわっており、これについては柳さんが触れられる予定です。

## 地球文明を持続させるための鍵はエネルギー

地球文明が誕生して四千年ほどたちましたが、近代技術が発達するようになったのは、産業革命が始まった百五十年ほど前からです。その後、各種のエネルギーを大量に消費するようになり、それにともなつて地球温暖化現象が大きな問題として顕在化してきました。こうしたなか、地上にミニ太陽をつくらうという核融合研究が五十年前に開始されました。

ここでエネルギーについて考えてみます。生活の豊かさはエネルギーの消費量と関連しています。豊かな生活を送るためにはエネルギーをたくさん消費する必要があります。しかし、化石燃料を消費し続けるのであれば、それがあとどれくらいもつかを真剣に考える必要があります。石油はあと約四十年、石炭は約二百年、天然ガスは約六十年、ウランも約六十年です。資源は有効に使わなければなりません。地上で核融合を実現する、つまり、ミニ太陽をつくる研究には、日本だけでなく世界の環境を含めたエネルギー問題の解決という目標が根底にあります。化石燃料はいずれ枯渇します。また、地球の温暖化を防止するためには化石燃料の使用制限による二酸化

**プラズマ** 高温の電離気体のこと。プラズマ中では物質を構成する原子核と電子とがばらばらになって飛び交っている。おおむね数千～1万度になるとどんな物質もプラズマ状態となる。プラズマの身近な例は、稲妻、炎などであるが、宇宙では恒星をはじめ、ほとんどがプラズマ状態である。

**核融合** 小さな原子核どうしが一つになって（融合して）大きな原子核にかわる現象のこと。たとえば、水素原子核どうしが融合してヘリウム原子核となる。そのときに大きなエネルギーが発生する。現在の原子力発電所では、逆に大きな原子核が小さな原子核に分離する核分裂反応を利用しており、核融合とは異なる。

炭素発生の抑制が不可欠です。安全かつ恒久的な新しいエネルギー源を開発することができれば素晴らしいことです。

日本は海に囲まれていますから、基幹エネルギー源としての核融合エネルギー炉は日本の社会に定着すると考えています。なぜなら、核融合エネルギー炉は、海洋に豊富に存在する重水素を燃料資源にすることができ、反応によって発生するのは水素とヘリウムだけです。地球の温暖化を引き起こしません。低コストで水素ガスを生産できることから、水素エネルギーシステムの構築に貢献します。日本中の車が水素で動くようになれば二酸化炭素は排出されません。これは研究者の夢ではなく人類社会の夢です。これにより、地球環境の保全と世界平和へ貢献することが出来ます。

### 核融合反応とは

さて、宇宙の核融合反応は太陽で起こっている反応に代表されます。太陽では、ppチェインにより、四個の水素がヘリウムになるときに大量のエネルギーが放出されます(図1)。実際に、太陽ニュートリノが大量に発生します。ニュートリノについては興味深い研究が進んでおり、これについては東大宇宙線研究所の鈴木洋一郎先生が詳しく触れられることになっています。太陽の核融合反応はそのままでは地上で使うことはできません。反応が起こりにくいからです。地上で起こすためには、海洋から重水素をとりだし、それを高いエネルギーに加速して三重水素(トリチウム)に衝突させます。それによって、ヘリウムと中性子が生成すると同時に膨大なエ

ネルギーが放出されます。発生した中性子は核融合エネルギー炉の周辺に設置したリチウムに吸収させます。すると、そこでも核融合反応が起こって三重水素とヘリウムが生成します。この三重水素は、次の核融合反応の燃料として使うことができます。

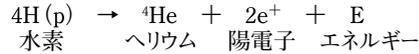
このような核融合エネルギーを実現するためには、三つの大きな条件を満たさなければなりません。第一は、重水素と三重水素を一億度に加熱することです。第二は、一立方センチメートルあたり百兆個の密度にすること、第三は、一億度以上のプラズマを一秒間以上閉じ込めることです。水素原子は一億度に加熱するとプラズマになります。プラズマは圧力をもつことから磁場で押さえつけなければなりません。そのためには磁場に対する圧力比(ベータ値)5%の達成が条件となり、磁場の力でプラズマを閉じ込める研究が必要となります。

### 核融合エネルギー炉による発電の仕組み

核融合エネルギー炉による発電の仕組みを図2にま

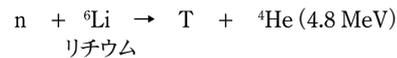
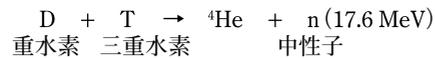
#### 宇宙の核融合反応

ppチェイン



この反応過程で太陽ニュートリノが発生

#### 地上の核融合反応



#### 地上のミニ太陽



核融合エネルギー実現への3つの条件

温度：1億度

密度：100兆個/cm<sup>3</sup>

閉じ込め時間：1秒

磁場に対する圧力比(ベータ値)：5%

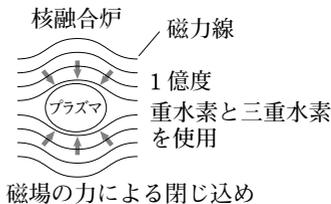


図1 核融合反応