



# プラズマの集団運動

中部大学学長 石原 修

私が太陽のエネルギーに興味を持ち、物理の勉強を始めた1970年代は、プラズマという言葉は、一般には知られている言葉ではありませんでした。1974年米国のカンザスシティにいたとき、ダウンタウンのバス停の前にプラズマセンターがあり、びっくりしたものです。それは血液献血センターとのことでした。アメリカのラングミュアが1929年の論文で電離気体のことをプラズマと呼んでいます。放電管の中で気体が電離した状態になると、負の電気を帯びた電子と正の電気を帯びたイオンが自由に動き回ることから、血液(血漿の中に赤血球と白血球がある)を連想して名づけたと思われます。

電離というのは、漢字が表しているように原子核の周りから電子が離れることです。太陽の周りを惑星が動き回っていても、太陽から離れることがないように、原子の中の電子は原子核の周りから離れない状態になっています。つまり電子は自由に回っているものの、結局原子核の周りからは出られない束縛状態にあるわけです。惑星は太陽と重力で結びついています、電子は原子核と電気力で結びついているため、電気エネルギーを加えることで、電子を原子核の束縛から解放することができます。水素を電離すると、原子核と一つの電子に分かれます。一般に水素(Hydrogen)といわれるものは、自然界に99.985%は水素Hとして存在し、0.015%は重水素D(Deuterium)として存在します。重水素Dは水素の同位体と呼ばれています。原子番号1の水素Hの原子核には一つの陽子しかありません。重水素Dの原子核の中には陽子と中性子が一つずつはいつています。中性子は電荷を持たずに電氣的に中性な粒子です。

私自身、核融合の基礎として、いかにプラズマの温度を上げていくかというテーマに取り組みました。ラングミュアが名付けたプラズマという言葉が30年以上経て、核融合研究に関連して脚光を浴びていました。プラズマは正負の電荷を帯びた粒子の集合体で、全体として電氣的に中性です。プラズマ中に集団運動を引き起こし、波を立てて、その波のエネルギーをプラズマ粒子に移していこうとしたのです。核融合というのは原子核と原子核をぶつけて、合体させて融合させることです。核融合を起こすには温度を上げればよいということになります。数億度まで上げる必要があります。このプラズマの温度を上げる研究は現在も続いています、私自身の研究は、プラズマの温度をいかに上昇させるかということから、次第にプラズマの集団運動そのものに興味が移っていきましたが、ここではもう少し核融合の話が続けていきましょう。

重水素の原子核同士を衝突させると、核融合を起こして、一つの重水素原子核の中に、さらにもう一つの中性子が入り込み、三重水素T(Tritium)といわれるものとなり、そのとき莫大なエネルギー( $\Delta E$ )が放出されます。このエネルギーをエネルギー源として使おうというのです。太陽や恒星の中では核融合が起こってエネルギーを出し続けています。水素同士が核融合

---

反応を起こして原子番号2のヘリウムとなり、次に水素とヘリウムが核融合反応を起こすと、原子番号3のリチウムとなり、さらに原子番号4のベリリウムと原子番号5のホウ素、というように元素が生成されており、原子番号26の鉄まで核融合反応により生成されます。

自然界には原子番号92のウランU(Uranium)までしか存在しません。自然界にはU238(陽子92,中性子146)が99.3%、U235(陽子92,中性子143)が0.7%存在しています。ウランのように重い原子核は分裂してより軽い原子核となります。たとえばU235に中性子が当たるとU236になり、それが核分裂して原子番号56のバリウムと原子番号36のクリプトンになり、エネルギーが放出されます。しかし、核分裂も原子番号26の鉄まで分裂するとそれ以上は進行しません。鉄より重い元素は恒星の中で核融合により生成されることはないので、星が核融合反応の暴走により大爆発する超新星爆発に伴ってできるものと、これまで考えられてきました。

2016年7月、新しい元素が発見されたニュースが新聞をにぎわせました。原子番号30の亜鉛Zn70のイオンを、原子番号83のビスマスBi209イオンにぶつけて、融合させて原子番号113の元素Nh278(ニホニウムと命名されました)を作り出したというのです。しかし作られたニホニウムは安定に存在することなく、1分もしないうちに、アルファ崩壊と呼ばれる過程を伴って核分裂し、より軽い元素に変化していくのです。現在では人工的に、原子番号118の元素まで作られたことが確認されています。

2017年10月3日、二つのブラックホールが合体した際に出た重力波を検出した3人の物理学者に今年のノーベル物理学賞が与えられました。続いて10月16日、一斉に世界の代表的な学術誌に中性子星合体による重力波と、それに伴う放射線を帯びた金属性の破片の放出が観測されたことが報告されました。これまで鉄より重い金やプラチナのような元素は、超新星爆発で生まれると考えられてきたのが、中性子星の合体で生まれる可能性が出てきたのです。ブラックホール合体による重力波検出に成功した国際研究チームLIGO(ライゴ)は、日米欧など1000人以上の研究者が参加しており、また中性子星合体からの重力波検出と重金属放出を突き止めたのは、約3500人の研究者が関わっています。

近代科学の発展には、コペルニクス(1473-1543)・ガリレオ(1564-1642)・ニュートン(1642-1727)・マクスウェル(1831-1879)・アインシュタイン(1879-1955)といった天才が寄与してきましたが、現代科学の発展は多くの研究者の協力体制によって、新たな発見が成し遂げられていくように思えます。またそうした流れは人間の営みとして好ましいように思えます。

愛知電機技報の巻頭言を書くに当たり、プラズマの集団運動の興味深い点を書こうとして、筆を執り始めたときに、中性子星衝突のニュースが飛び込んできました。中性子星衝突観測の成功は、多くの人の共同作業、相互作用を通しての結果であると思います。一方、プラズマの興味深いところは正負の荷電粒子の集団の中での相互作用であり、相互作用を通して低周波、高周波の波動現象が起こり、そこに核融合のみならず、様々な産業応用が関わってくるところです。集団の中にかんして相互作用を引き起こし、大きな力としていくか、それは社会の中でも適用できる原理だと感じています。

---