

成長する島、消える島 ~プラズマ中の「島」の振る舞い~

成嶋吉朗

1. はじめに

読者の皆さんは、「島」と聞いて何を想像しますか。椰子の木が生えた南国の島ですか。宮城県松島の美しい光景ですか。それとも大陸から遠く隔てた場所にある無人島でしょうか。世の中いろいろな島がありますが、今回はNIFSニュース・研究最前線ということですので、核融合に関係のある「島」のお話をいたします。

2. プラズマの中に島がある!?

実は、プラズマの中にも「島」が存在するのです。といっても、本物の島ではなく、「島のように見える構造」があるのです。LHDプラズマは、超伝導コイルに電流を流して作られた磁力線のカゴを用いてプラズマを閉じ込めています。プラズマを効率よく閉じ込めるためには、その構造はちょうど長ネギの断面のような、入れ子状のきれいな磁気面形状であることが良いとされています(図1a)。ところが、超伝導コイルにごくわずかなズレがあったり、LHDのそばに磁気を帯びた機器などがあつたりして意に反した磁場が存在すると、きれいな磁場構造が乱されて、別の磁気面構造が現れます(図1b)。この構造、よく見るとちょうど実際の島の等高線のように見えませんか。このことから、この構造は磁気島(じきじま:英語ではmagnetic island)と呼ばれています。

さて、この磁気島が現れると、プラズマにはどのようなことが起こるのでしょうか。そのひとつは、「プラズマの性能が悪くなる」ということです。磁気島が現れると、磁力線のカゴの中に閉じ込められるプラズマの量が減ってしまうためです(この原因については後ほどお話しします)。また、ヘリカルとは異なる閉じ込め方式のトカマクプラズマでは、磁場配位を破壊する原因になることもあります。ですので、一般的にはこの磁気島を抑制、

もしくは除去する必要があります。そのために、磁気島が研究されているのです。

3. 実験で観測される磁気島

それでは、この磁気島は、いったい実験ではどのように観測されるのでしょうか。磁気島が無いときのLHDプラズマの温度分布は図2aのような、きれいな山の形をしています。一方、わざと磁気島を大きくしてみたときの温度分布が図2bです。山の中腹に平らな部分が見えますね。ここに、磁気島があるのです。この二つの図を重ねてみると・・・、磁気島のある部分から内側、つまり大半径の3mから4.3mまでの領域で、温度が下がっているように見えませんか。他の条件が同じだと仮定した場合、この、温度の下がった分だけ、プラズマの量が少ないといえるのです。つまり、磁気島が存在することで「プラズマの性能が悪くなる」のです。LHDでは、このような磁気島が存在しても、プラズマが崩壊することはないので、磁気島の様子を詳しく調べることができます。

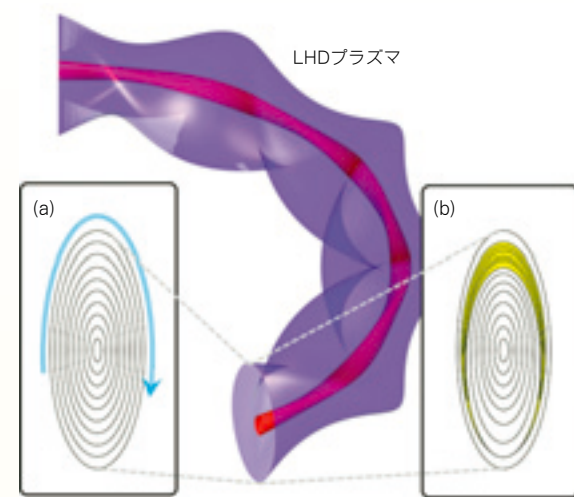


図1 ねじれた形状のLHDプラズマとその断面図。(a)きれいに閉じた磁気面 (b)磁気島構造を有した磁気面 黄色の色付けで示した部分が磁気島構造です。

4. 最近分かってきた磁気島の正体

LHDの実験では、10年ほど前から磁気島の不思議な振る舞いが観測されてきました。それは、外部から何の制御もしていないのに、磁気島がひとりりで大きくなったり消えたりする現象です。ここ数年の間に、その詳細が分かって来ました。プラズマの β 値(ベータ値:プラズマの圧力を磁場の圧力で割った値。 β 値が高いほど弱い磁場で高いプラズマ圧力を閉じ込めることを意味するので、高い β 値を達成・維持することは効率よいプラズマの閉じ込めにつながります。)が低いときは磁気島が成長し、逆に高いときは磁気島が突然消失してしまうのです。(実は、先ほどご覧いただいたプラズマ温度の図(図2)は、それぞれ磁気島が成長した時と消失した時の図だったのでした。)実験中にこの現象に出くわすと、まるで、プラズマ自身が自分で磁気島を消しているようにみえます。この特性は核融合炉の実現という観点から、とてもよい性質と言えます。なぜならば、効率よいプラズマ、 β 値が高いプラズマの生成が求められていて、その時に磁気島が消えてくれるのですから。

さて、「磁気島が勝手に消えるので一件落着」というわけにはいきません。磁気島が消える条件を確実に明確にする必要があります。なぜならば想定外の条件で磁気島が突然現れてしまうと、プラズマの状態を制御できなくなってしまいますから!そのような背景のもと、さらに研究がすすめられた結果、ある現象が磁気島の振る舞いに大き

く関わっていることがわかってきたのです。その現象とは、プラズマの「回転」でした。

図1の矢印の方向に、等高線に沿うようにプラズマが回転すると、磁気島が消えてしまうのです。その逆に、プラズマの回転速度が下がると、それまで消えていた磁気島が再登場してしまうのです。当初、プラズマの回転と磁気島の消失は、「卵が先か、鶏が先か、」の問題のように思われていたのですが、注意深く実験をして慎重にデータを解析した結果、プラズマの回転が先で磁気島の変化が後、ということが明らかになりました。LHD以外のヘリカル型の実験装置においても似たような現象が観測されており、今後の研究の進展が期待されます。

5. おわりに

普段は耳にすることのない、「磁気島」という言葉を覚えていただければ幸いです。磁気島の実験のためにわざと生成された磁気島は、時にまるで生き物のような振る舞いを見せ、私たちを驚かせたり興奮させたりします。私の名前が「島ヲ成ス」ことを表していることにさえ、何かの縁を感じずにはられません。

(高密度プラズマ物理研究系 助教)

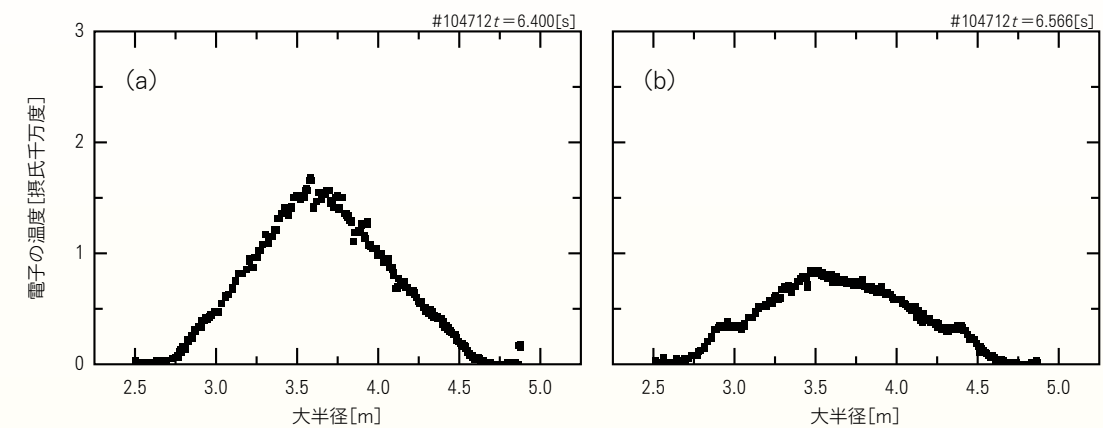


図2 電子温度分布(a)磁気島がない場合 電子温度は勾配を持っています。(b)磁気島がある場合 大半径3mと4.3m付近に平らな部分が見えます。