

ベクトルポテンシャルによるプラズマ中の荷電粒子の挙動の理解

Understanding the behavior of charged particles in plasma by vector potential

*唐澤 信司¹*Shinji Karasawa¹

1. 宮城工業高等専門学校 名誉教授

1. Miyagi National College of Technology Professor emeritus

地磁気は荷電粒子の動きによっては発生します。最初に磁場を仮定して考えると、その磁力線に電子が取り付き、太陽風の陽子が地球に及ぼす影響は無視されます。しかし、実際には、陽子の挙動は電子の動きに影響を与えています。Aharonov-Bohm効果は、プラズマ中で荷電粒子の動きを最初に考慮しなければならないことを示唆しています。超伝導磁石では、電子は正イオン格子振動で覆われ、正電荷が電子と共に運動してベクトルポテンシャルを発生します。その結果、磁場が内部で相殺されますが、外部に現われます[1]。

静電ポテンシャル(V)は電荷(q)に場がエネルギー ($U=q \cdot V$) を与えるが、ベクトルポテンシャル(A)は電流(i)に場がエネルギー ($U = -i \cdot A$) を与えます。磁束密度(B)の周回積分がAになるので($B = \text{rot } A$)である。電磁誘導 $\partial B / \partial t = -\text{rot } E$ より、 $\partial A / \partial t = -E$ である。並列で高速で走る荷電粒子間では、極性が同じ粒子である場合、平行電流の作用で互いに引き合い、極性が異なる場合は反平行電流の作用で反発します。こうして太陽のプラズマでは、高速で運動する荷電粒子が組織的に動きます。なお、太陽の脱出速度は秒速617.5kであり、大部分の荷電粒子は重力によって戻されます。

地球には、外帯、スロット領域、及び内帯から成るヴァン・アレン帯があります。さらに、内帯と電離層の間には荷電粒子の存在しない領域があります。その構造は高速の荷電粒子の運動によって形成されます。

地球の重力は水素を保持できません。太陽の電磁波が昼間の半球の上空の窒素や酸素をイオン化して電離層を形成します。地球の夜側にはプラズマシートが磁氣的に形成されます。自由電子が多い電離層は、E関節の回転によって周回し、時計回転方向の電流となり、地球の地磁気を形成します。ところが、木星や土星は水素で覆われ、太陽風の水素イオンが侵入し、多くの正イオンを含む大気は回転アル方向に反時計回りに回転します。従って、木星と金星の地磁気の方向は、地球の地磁気とは反対です。

地球では、オーロラは地球の昼半球側で緯度が75度、夜側で65度前後の環状領域で発生します。昼半球側では太陽からのX線や紫外線によって生成される電子が多く、オーロラが発生する領域が高緯度側に移動し、オーロラ放射は弱いです。地磁気の磁力線が垂直に地面に入る領域は極軸から外れた環状の地域です。オーロラは常に揺れています。このような地磁気に寄与する電流は地球の内部における物質の移動で発生したものではなく、地球の内部で誘導される電子の電流であると考えられます。

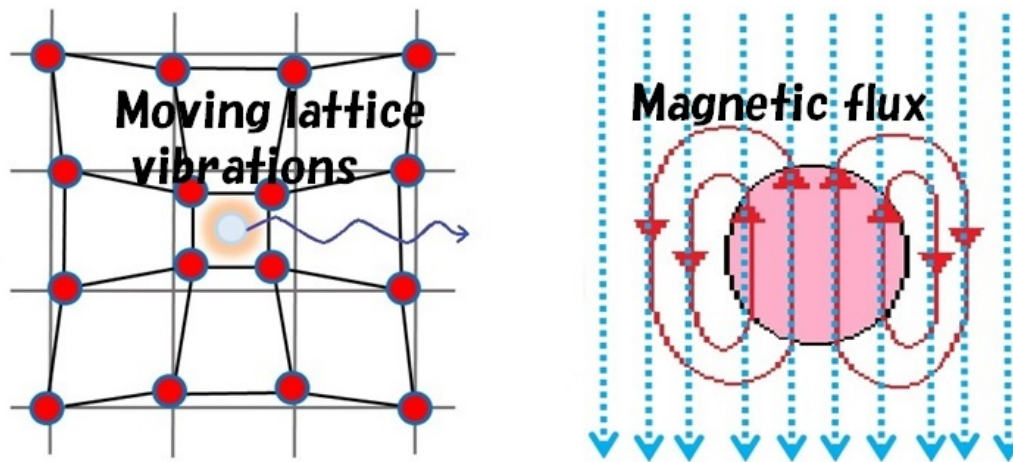
[1] 唐澤信司, “超伝導磁石のメカニズム”, 2021, 3/Feb,

<https://www.youtube.com/watch?v=6ZbXuhVvqig>

キーワード：ベクトルポテンシャル、アハラノフ＝ボーム効果、プラズマ、地磁気、ヴァン・アレン帯、オーロラ

Keywords: Vector potential, Aharonov-Bohm effect, Plasma, Geomagnetism, Van Allen radiation belt, Auroras

Mechanism of superconducting magnet



The principle of superconductivity has been elucidated by quantum mechanics, but the mechanism of superconducting magnets has not yet been elucidated. However, we are able to understand the mechanism by thinking about behaviors of charged particles involved.