

磁力線追跡機能を組み込んだ地球ダイナモシミュレーション

Geodynamo simulation with embedded visualization of magnetic field lines

神戸大学 陰山 聡

地球磁場には二つの謎がある。一つは、その形状がなぜ双極子磁場なのか(つまりコンパスはなぜ北を指すのか)ということ、そしてもう一つは、その南北の磁極が時折逆転する(つまり地磁気が逆転する)のはなぜか、ということである。地磁気は地球内部の外核中にある液体鉄による発電(地球ダイナモ)機構により作られていることがわかってる。地球ダイナモの理解には大規模な磁気流体力学(MHD)シミュレーション研究が不可欠である。

我々は最近、スーパーコンピュータを駆使して、世界最高解像度となる地球ダイナモシミュレーションを行い、高速回転(自転)かつ低粘性率という条件の下での新しい地球ダイナモ領域を見いだした(Kageyama et al., 2008, Nature; Miyagoshi et al., 2010, Nature)。その流れ構造はシート状の対流領域の周囲を帯状の流れ取り囲むという興味深い構造を持っている。この流れが地球の双極子磁場とその逆転を生み出す鍵になっている可能性がある。

地球ダイナモの解明のためには、磁力線描像に基づいた磁場増幅機構解明のための新しい解析手法を開発が不可欠であると我々は考えた。地球磁場の源である地球外核の磁気レイノルズ数が十分に高いので、磁力線の動きや変形には物理的に重要な意味があり、磁力線は流れ場にほぼ凍り付いて動くこととみなすことができる。そこで、流れ場に凍り付いた磁力線を追跡し、その磁力線が変形される過程を3次的に可視化する新しい可視化手法を開発することで、地球ダイナモ機構の解明に挑戦しようというのがこの研究の目的である。そのために本研究では最先端のバーチャルリアリティ技術を駆使した3次的な解析手法を開発した。その結果、複雑な流れ場によって変形・増幅される磁力線をあたかも目の前に実在するかのように錯覚するほど現実感のある仮想現実可視化手法を開発することに成功した。

具体的な方法は以下のようなものである。ハードウェアとしてはCAVE型と呼ばれる大規模なバーチャルリアリティ装置を用いる。体験者がCAVEの部屋の中に立つと目の前に地球ダイナモシミュレーションの計算領域である地球外核が浮かんでいる。地球外核の中まで歩いて入っていき、そこで手を動かすと、(仮想)磁力線が目の前の空間に描かれる。これは一種の「3次元お絵かき」のような直感的に分かりやすい作業である。これが流れ場に凍り付いた磁力線の初期条件となる。「お絵かき」が終わると、この磁力線は(スーパーコンピュータで計算された)流れ場によって流され、変形される。目の前を磁力線が(あたかも生き物のように)引き延ばされ、曲げられるようすを3次的に観察することで、磁場増幅の物理機構が直感的にわかるようになった。