

エウロパに海はあるか？-磁場観測による判定法-

Magnetic Field of Europa: A probe for Detecting an Underground Ocean

西願寺 善彦 [1], 倉本 圭 [1], 山本 哲生 [2]

Yoshihiko Saiganji [1], Kiyoshi Kuramoto [2], Tetsuo Yamamoto [3]

[1] 北大・理・地球惑星, [2] 名大理・地球惑星

[1] Earth and Planetary Sci., Hokkaido Univ., [2] Earth and Planetary Sci., Hokkaido Univ., [3] Earth and Planetary Sci., Nagoya Univ

表面地形の観測から、エウロパが地下に液体の水の海を持つ可能性が指摘されているが、まだ確証は得られていない。われわれは磁場観測から海の有無に強い制約を課す。エウロパは傾いた木星磁場内を公転するために内部に磁気双極子モーメントを誘起する。この磁気双極子モーメントがつくる双極子磁場（以後誘導磁場と呼ぶ）の強度と向きを、海の深さの関数として計算した。その結果、1) 海水と氷の電気伝導度が大きく異なるために誘導磁場の強度は海の有無で大きく異なる、2) 海が少しでもあれば、誘導磁場の向きは木星磁気圏磁場の時間変動成分の向きとほぼ反平行になる、という制約が得られた。

木星探査機ガリレオの撮像画像から推定される地殻変動の根拠を主な根拠に、エウロパは地下に液体の水の海を持つ可能性が指摘されている。だが現時点では、海の存在は確証されていない。本研究ではエウロパの磁場を観測することによって海の有無の問題に強い制約を課することができるということを明らかにした。液体の水は生命の誕生に必要な不可欠であるが、現在までのところ地球外でその存在は確認されていない。エウロパに海があるかどうかを確認することは固体天体の内部構造進化のみならず、地球外生命の探査という観点からも非常に重要である。

エウロパには以下のメカニズムで磁場が誘起される。木星の磁気双極子モーメントは木星の自転軸に対して約10度傾いている。そのためエウロパが感じる外部磁場は木星の自転角速度からエウロパの公転角速度を差し引いた相対角速度で周期的に変化する。このためエウロパには内部の電気伝導度に応じた渦電流が流れ、周期的に振動する磁場が生じる。以後この磁場を誘導磁場と呼ぶ。

誘導磁場の強度と位相はエウロパ内部の電気伝導度に強く依存する。エウロパ内部は、木星探査機ガリレオによる重力場の観測から、主にH₂Oからなるクラスト、シリケートマントル、金属コアの三層に分かれていると考えられている[Anderson et al., 1998]。H₂O氷、金属核の電気伝導度はそれぞれHobbs [1974]、Keller et al., [1966]の値を用いた。海水の電気伝導度は、以下の仮定1) エウロパ内部のClとSiの個数比はC1コンドライト中のそれと等しい、2) エウロパに含まれるClは全てNaClとしてクラストにとりこまれている、3) NaClは273Kにおける溶解度を上限に、海水に溶けられるだけ溶けている、の基に計算した。その結果、海水の電気伝導度は氷のそれより7桁から8桁も大きくなることがわかった。シリケートマントルの電気伝導度は温度、組成、酸素フガシティーによって大きく変わるので、パラメータとした。

磁場の強度は観測点までの距離の3乗に比例して減衰する。そのため誘導磁場の強度を評価するには各層の空間分布をも知る必要がある。そこでコア、マントル半径を見積もるにあたって、まず以下の仮定をおいた。1) エウロパのコアとマントルを足した部分は、コンドライト隕石を構成する主要元素であるSi, Mg, Fe, S, Oだけからなる。2) Si, Mg, Fe, Sの個数比はC1コンドライト中のそれと等しい。3) Sは全てFeSとしてコアにとりこまれている。4) オリビンとパイロキシンの分配係数は等しい。そして不定性の大きい酸化還元度をパラメータとし、最も還元的な場合(Feは全てFe-FeS合金としてのみ存在する)から最も酸化的な場合(FeはFeSもしくはFe₃O₄としてのみ存在する)まで変化させた。そ

の結果コア半径はエウロパ半径の約6割以下，マントル半径はエウロパ半径の約9割という結果を得た．

以上のモデルに基づいて、エウロパ表面における誘導磁場の強度と方向を海の深さの関数として計算した．その結果、海が数km以上の深さを持つと、海が無い場合に比べて誘導磁場強度が非常に大きくなることがわかった．またその場合、誘導磁場は外部磁場の変動成分とほぼ180度をなすこともわかった．この結果は、磁気双極子モーメントの強度と方向の観測が、エウロパの海の有無を区別するための非常に有力な制約条件となることを示している．

もしエウロパ電離層の電気伝導度が大きければ、電離層を流れる渦電流によって誘起される磁場が外部磁場の変化を打ち消してしまう．そのため磁場観測からエウロパの内部構造に関する情報を得ることができない．この電離層による磁気遮蔽の効果を見積もるため、Ip [1996]の提案する電離層モデルに基づいて電離層の電気伝導度を求めた．その結果、電気伝導度は小さく、磁気遮蔽に対する効果は無視できる程度であることがわかった．

Kivelson et al. [1997]は観測された磁場から外部磁場を差し引くことによってエウロパ近傍の擾乱磁場を抽出した．この磁場と本論文で計算した誘導磁場を比較した．そして140\$¥,\$km以上の深い海がある場合、両者の強度，方向はともによく一致することを見いだした．この結果はエウロパ内部に深い海が存在することを強く示唆している．