

氏 名 西岡文維

学位（専攻分野） 博士（理学）

学位記番号 総研大甲第 1151 号

学位授与の日付 平成 20 年 3 月 19 日

学位授与の要件 複合科学研究科 極域科学専攻  
学位規則第 6 条第 1 項該当

学位論文題目 Rock magnetic study of basalt at Lonar impact crater in  
India:Effect of stress waves on rock magnetic properties

論文審査委員 主 査 准教授 船木 實  
准教授 野木 義史  
助教 山口 亮  
名誉教授 庄野 安彦(東北大学)  
教授 石川 尚人(京都大学)

## 論文内容の要旨

Magnetic data provide valuable information on size and morphology of buried impact craters. An understanding of how stress waves change magnetic properties of rock is critical for correct interpretation of magnetic data. Although previous studies demonstrated effects of strong shock on magnetic properties of rocks beneath impact craters, effects of relatively weak shock for those of rocks in crater wall have been poorly studied. In this context, we investigated shock effects on magnetic properties through studies of experimentally impacted basaltic andesite, and basalt from natural impact crater (Lunar crater).

An initial peak pressure of 5 GPa was generated in a block of basaltic andesite containing Ti-rich titanomagnetite with the impact of a cylindrical projectile. Effects of decaying stress waves on magnetic properties were subsequently quantified. Natural remanent magnetization (NRM) was partially but significantly demagnetized at peak pressures higher than 1 GPa. Highcoercivity part of NRM, even higher than 80 mT, was partially demagnetized. At higher pressure (3-5 GPa), low-field magnetic susceptibility was significantly reduced and coercivity was increased, probably due to increased internal stress. Different patterns of change in AMS were observed at different distance from the impacted surface. In high-pressure range (>3 GPa), the anisotropy degree was increased, the minimum susceptibility was oriented toward the shock direction, and the average susceptibility was decreased. This feature is consistent with the result of a previous shock experiment. The initial orientations of AMS were however significantly changed at around 0.4-3 GPa; The maximum susceptibility was induced parallel to the shock direction, and superposed on the initial AMS. This kind of changes in the AMS parameters has been never reported.

Basalt samples were collected from flows in the crater wall, ejecta clasts, and flow outside the rim of Lunar crater. Irreversible thermomagnetic curves and the maximum Curie temperature of  $500-560\pm C$  indicated presence of Ti-poor titanomagnetite and its oxidized phase as the main magnetic minerals in Lunar basalts. The result of AMS measurement of both inside and outside samples showed relatively weak anisotropy degree ( $P < 1.03$ ), which is similar to that of basalt from outside the crater rim. The samples from the crater wall showed predominantly oblate shape of AMS ellipsoid, with tightly clustered vertical distribution of the minimum principal axes. Substantial, but not strict, parallelism between the maximum principal axes and the radial direction from the crater center was observed only for the samples from the lower part of the crater wall. This fact and the result of the shock experiment indicates that radially expanding stress waves reoriented the initial AMS. Stepwise thermal demagnetization of NRM and anhysteretic remanent magnetization (ARM) demonstrated that the main NRM carriers of Lunar basalts are titanomagnetite and titanomaghemite. The primary NRM component was demagnetized above  $200\pm C$ , indicating that the post-impact temperature did not exceed the value. The site-mean and overall-mean directions were determined for both the high and low coercivity components isolated by stepwise alternating field demagnetization. The intensities of the primary NRM component were generally decreased toward the lower altitude, and positively correlated with the intensity of ARM after AFD with a peak field of 15 mT. This fact indicates that the NRM intensity is not simply a function of distance from the crater center as previously argued. Meanwhile, the site-mean directions of the low-coercivity NRM component were more tightly

clustered before tilt correction, and the in-situ overall mean direction was not distinguishable with the present field direction. The ejecta samples also showed two NRM components, whose remagnetization circles intersected at an orientation close to the present earth field. These results suggest that the dominant fraction of the low-coercivity NRM component for the basalt flows in the crater wall and ejecta clasts were not shock remanent magnetization as previously suggested, but were viscous remanent magnetization acquired since the formation of the crater.

## 論文の審査結果の要旨

本論文は英文で書かれ、総数 64 ページで、インドのデカン高原に形成されたローナー隕石クレーター周辺の岩石を岩石磁気学的に研究し、巨大衝撃で岩石の磁氣的性質がどのように変化するかを調べたものである。また、野外で観察された磁氣的変化が衝撃実験で再現可能なことを示し、研究結果の正当性についても論じている。論文は 5 章からなり、研究の動機、従来の研究、試料採集、実験結果、それに考察と結論が理路整然と記載されている。本研究で得られた結果は、隕石磁気研究、月や火星の磁気異常の理解、それに南極氷床下に推定されている隕石クレーターの解明に寄与するものと期待される。

研究対象としたローナー隕石クレーターは 5 万年前に形成された、地球で最も若いクレーターの一つである。しかも、岩石磁気学的に長期にわたり安定した磁気を持つことが可能な、玄武岩に形成されたクレーターである。それゆえ得られる衝撃磁気の結果は、最も信頼できるもので、ローナークレーターを衝撃磁気の研究対象とした意義は大きい。

西岡さんは 3 度ローナークレーターを訪問し、クレーター内部と外部の広範囲にわたって試料採集を行っている。その試料の基礎的な磁気物性を測定し、クレーター内壁の上部と下部、及びクレーターの外側の試料で、どのように磁氣的性質が異なるかの比較検討を行った。その結果、もっとも顕著な違いとして、クレーター内壁下部を構成する岩石の帯磁率最大軸がクレーターの中心を指すことを見出した。この現象は内壁上部の岩石ではわずかに見られるが、クレーターの外では全く見られない。このことから帯磁率異方性は衝撃によって形成されたもので、異方性の方向から衝撃波の伝播方向が決定されるという、岩石磁気学の新しい知見を得た。また自然残留磁気については、自然残留磁気の安定成分の方向が内壁上部と下部で多少異なることを示し、この違いは岩石が形成した 6500 万年前後の地磁気変動で説明できることを指摘した。自然残留磁気の二次磁化成分は現在の地磁気方向を指し、その強度はクレーター内壁上部より下部が大きく、帯磁率強度も同様の傾向を示すことを明らかにした。また、地層の傾動補正により二次磁化成分の方向がばらつくことから、二次磁化は粘性残留磁化である可能性を明らかにした。この結果は、今までローナークレーターで報告されている「衝撃により二次磁化を獲得した」とする説を否定するものであるが、衝撃波の伝播と地層の変形を時系列的に考えた場合、本考察が二次磁化の獲得を矛盾無く説明できるものである。

衝撃実験では直径 1 cm のアルミニウムのプロジェクタイトルを 5 GPa で玄武岩のターゲットに衝突させた。その結果、衝撃直下では自然残留磁気強度と帯磁率が大きく減衰し、今まで行われてきた衝撃実験の結果と一致した。しかし衝撃面より深度 2 cm から 12 cm (1 ~ 3 GPa) では、両パラメーターの大きさはほとんど変化しなかったが、帯磁率最大軸のみが衝撃と並行になった。すなわちローナークレーターで観察された帯磁率異方性の結果と一致した。このことからクレーター内壁下部の岩石は 1 ~ 3 GPa の衝撃を受けたことを明らかにした。

本研究によりローナークレーターの岩石の磁氣的性質が明らかになった他、帯磁率を測定することにより、鉱物学的には同定できない 3 GPa 以下の衝撃と衝撃波の伝播方向を推定することが可能となった。この一連の研究は大きな衝撃を受けた岩石の磁気学的研究に大いなる貢献が期待され、審査員 5 名の総意として本論文が博士論文に適切と判断した。

論文発表を 13 時 ~ 13 時 45 分まで行い、その後 14 時 15 分まで質疑応答を行った。論文発表は簡潔丁寧に行われ、質疑についても適切に返答した。研究手法や博士論文作成の完成度から見ても、西岡さんは研究者として自律できる能力を十分に持っていると考えられる。本研究は平成 19 年度地球電磁気・惑星圏学会の最優秀学生発表賞(オーロラ賞)を受賞しており、研究内容は外部研究者からも高く評価されている。

西岡さんが主著者の英文論文は既に2編出版されている。博士論文の一部は米国地球物理連合、南極隕石シンポジウム、国際隕石学会で英語での口頭発表もされており、研究者として英語力は十分と考えられる。また国内では地球科学連合大会や地球電磁気・惑星圏学会等で発表しており、研究者としての論文発表能力も十分と考えられる。以上の観点から審査員5名は西岡さんが本試験に合格と結論した。