

Noble gas studies in meteorites: Constraints on the origin of trapped noble gases in primitive CR chondrites and past solar wind fluxes on solar-gas-rich meteorite parent bodies

著者	Obase Tomoya
number	88
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	理博第3278号
URL	http://hdl.handle.net/10097/00128531

論 文 内 容 要 旨

(NO. 1)

氏 名	小長谷 智哉	提出年	令和 元年
学位論文の 題 目	Noble gas studies in meteorites: Constraints on the origin of trapped noble gases in primitive CR chondrites and past solar wind fluxes on solar-gas-rich meteorite parent bodies. (始原的 CR コンドライトに含まれる捕獲成分希ガスの起源への制約、及び太陽風希ガスに富む隕石の母天体位置における過去の太陽風フラックス)		

論 文 要 旨

Noble gases are very rare in meteorites because they are the most volatile elements, they behave as the most incompatible elements, and they hardly take part in any chemical interactions. Because of the scarcity in meteorites, noble gases have been used as one of the most sensitive tracers in cosmochemistry. In general, noble gases in meteorites occur as a mixture of discrete “components”, where a component is defined by having a certain isotopic and elemental composition. Primordial noble gas components that had been originally trapped in meteoritic materials serve as tracers for the accreted materials and the post accretionary processes in the parent body. Solar wind noble gases that had been implanted onto the surface materials of the parent bodies serve as a tracer for the solar activity. In this study, I determined the inventories of primordial noble gas components in primitive CR chondrites and experimentally examined their resistance to aqueous alteration in chapter 2. In chapter 3, I estimated solar wind fluxes in the past that are recorded in solar-gas-rich meteorites using a newly developed estimation model.

In chapter 2, concentrations and isotopic ratios of all the noble gases (He, Ne, Ar, Kr, and Xe) in the primitive Renazzo-type (CR) chondrites Elephant Moraine (EET) 92048, Miller Range (MIL) 090657, Northwest Africa (NWA) 801, and hydrothermally treated MIL 090657 were measured by stepwise heating methods and total melting methods. On the basis of a petrographic classification scheme, the CR chondrites are classified as petrological type-2.7 for EET 92048, type-2.8 for MIL 090657, and type-2.8 for NWA 801, indicating minimal aqueous alteration. NWA 801 contains abundant solar noble gases while EET 92048 and MIL 090657 are solar-gas-free. Major primordial noble gas components in the solar-gas-free EET 92048 and MIL 090657 are Q, HL, Ar-rich, and the water-susceptible He and Ne component. The last one was lost during an aqueous alteration experiment. In terms of the Q-like isotopic compositions and low release temperatures (400°C – 600°C), the water-susceptible He and Ne component is similar to that observed in a refractory amorphous interplanetary dust particle (IDP) that may be of cometary origin. I argue that similar

materials that host Q-like gases accreted on both the CR chondrite parent body and comets, and CR chondrites may have formed at a greater heliocentric distance. Cosmic-ray exposure ages for the solar-gas-free EET 92048 and MIL 090657 are estimated to be 6.5 ± 0.4 Ma and 6.8 ± 0.4 Ma, respectively, consistent with most CR chondrites that cluster around $\sim 5 - 7$ Ma.

The theoretical solar wind evolution models and the observations of young stars resembling our Sun suggest much larger solar wind flux in the past, while the abundance of implanted solar wind noble gases in lunar regolith implies that the mean average solar wind flux in the past up to ~ 4 Ga has been similar to the present-day flux. In chapter 3, solar wind fluxes in the past are estimated using solar and cosmogenic noble gas compositions in seven solar-gas-rich meteorites based on a newly developed estimation model. Any hint for the higher solar wind flux in the past is not found. I argue that the theoretical models overestimate the past solar wind flux in our solar system. Assuming present-day solar wind flux at the time of solar wind irradiation for the solar-gas-rich meteorites, the past heliocentric distances of the meteorite parent bodies were estimated. Except for the Rumuruti chondrite Mount Prestrud (PRE) 95410, the distances are almost consistent with the present-day distributions for the analogous asteroids and the predicted formation locations, suggesting that the heliocentric distances of the parent bodies of the most solar-gas-rich meteorites have never changed largely after their formation. The estimated short heliocentric distance for PRE 95410 is consistent with the previous study, suggesting inward migration from the asteroid belt regions where the parent body formed. Alternatively, the solar wind flux at the time of solar wind irradiation for PRE 95410 was a few to several times higher than the present-day flux.

論 文 目 次

1. General introduction	7
1.1 Meteorite classification.....	7
1.2 Asteroidal processing of chondrites.....	8
1.3 Noble gases in meteorites	8
1.4 Primordial noble gases.....	9
1.4.1 Q component.....	9
1.4.2 Noble gases in presolar grains	10
1.5 Noble gases in acid-soluble phases.....	10
1.6 Subsolar component.....	11
1.7 Cosmogenic noble gases.....	12
Figures	13
References	14
2. Trapped noble gases in primitive CR chondrites MIL 090657, EET 92048 and NWA 801	16
2.1 Introduction	16
2.2 Experimental procedure.....	17

2.2.1 Sample descriptions	17
2.2.2 Sample preparation	18
2.2.3 Scanning electron microscope analysis	19
2.2.4 Electron probe microanalyzer analysis	19
2.2.5 Hydrothermal alteration experiment	19
2.2.6 Synchrotron radiation X-ray diffraction analysis.....	20
2.2.7 Micro X-ray computed tomography	20
2.2.8 Noble gas analysis	20
2.3 Results	21
2.3.1 Petrology and Mineralogy of EET 92048, MIL 090657 and NWA 801	21
2.3.2 μ XCT slice image	25
2.3.3 Noble gases.....	25
2.4 Discussion.....	34
2.4.1 Primordial noble gases in primitive CR chondrites	34
2.4.2 Cosmic-ray exposure ages	39
2.4.3 Post accretion processes on CR chondrite parent body	40
2.5 Summary.....	41
Figures	42
Tables.....	65
References	79
3. Past solar wind fluxes on solar-gas-rich meteorite parent bodies	86
3.1 Introduction	86
3.2 Estimation models	87
3.2.1 Correlation of solar and cosmogenic noble gases in solar-gas-rich meteorites	88
3.2.2 Calculation of past solar wind flux on meteorite parent body	89
3.2.3 Calculation of past heliocentric distance of meteorite parent body	90
3.3 Results and discussion	91
3.3.1 Solar wind flux in the past	92
3.3.2 Timing of solar wind irradiation	93
3.3.3 Heliocentric distance of meteorite parent body	94
3.4 Summary.....	95
Figures	97
Tables.....	100
References	102
Acknowledgement.....	106

別 紙

論文審査の結果の要旨

本博士論文は、隕石の希ガス同位体組成に基づき、始原的隕石に含まれる捕獲成分希ガスの起源の制約と太陽風フラックスの経時変化を明らかにすることを目的としている。

第一章では、炭素質隕石の一つである CR コンドライトの鉱物化学的分析に基づき、水質変成度の評価を行った。同隕石試料の希ガス同位体比分析を行い、水質変成度の低い試料には、Ar-rich ガスという捕獲成分希ガスが含まれることを発見した。このことは、氷が集積する低温領域においても Ar-rich ガスが存在することを意味し、太陽系内における Ar-rich ガス普遍性を示唆する。Ar-rich ガスの起源を理解するうえでの重要な知見である。更に、CR コンドライトの水質変成実験を行い、弱い水質変成で失われる希ガス成分 (Q-like Ne) を発見した。同じ同位体組成を持つ希ガス成分は彗星塵試料にもみられることから、共通の物質が CR コンドライトと彗星に取り込まれたといえる。従来から指摘されている CR コンドライトと彗星との起源の共通性を強固なものにする結果といえる。

第二章では、隕石の太陽風希ガスデータから太陽風フラックスを算出するモデルを改良し、先行研究で得られている太陽風希ガスを含む隕石のデータ（一つは著者の学士研究のデータ）から、様々な公転軌道半径における太陽風フラックスを求めた。これを探査機 Genesis によって得られた 1 天文単位における太陽風フラックスと比較した。その結果、数十億年前から現在まで、太陽風フラックスに大きな変化がないことが示された。このことは、数十億年前の太陽風フラックスが現在と比べて 50 倍程度であったという恒星観測とモデル計算の結果と異なるものであり、太陽の進化モデルに再考を促す重要な知見である。

先行研究では、1 天文単位における太陽風フラックスを月試料から求めている。しかし、著者は、月試料が地球磁場による影響と隕石衝突加熱による脱ガスの可能性という問題を内包している点を指摘したうえで、探査機 Genesis のデータを採用した。本研究の新規性の一つと言える。

本論文の一部は、中村智樹、長尾敬介、Choi Jisu、Baek Jong Min の各氏との共同研究であるが、著者が主体となって、実験、結果の分析、考察を進めたものであり、自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。従って、本論文は、博士（理学）の学位論文として合格と認める。