



Na-metasomatism, dark inclusions, and phyllosilicates in C03 chondrites : Evidence for aqueous alteration and thermal metamorphism on the C0 parent body

伊東, 大輔

(Degree)

博士 (理学)

(Date of Degree)

2002-03-31

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

甲2567

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D1002567>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



【267】

氏名・(本籍) 伊東 大輔 (兵庫県)

博士の専攻分野の名称 博士 (理学)

学位記番号 博い第184号

学位授与の要件 学位規則第4条第1項該当

学位授与の日付 平成14年3月31日

【学位論文題目】

Na metasomatism, dark inclusions and phyllosilicates in CO₃ chondrites: Evidence for aqueous alteration and thermal metamorphism on the CO parent body

(CO₃炭素質コンドライトのNaによる交代変成, 暗色包有物, 層状ケイ酸塩: CO母天体の水質変成および熱変成の証拠)

審査委員

主査 教授 留岡 和重

教授 中川 義次

教授 佐藤 博明

(氏名: 伊東大輔 NO. 1)

CO₃炭素質コンドライト隕石は、我々が手にすることができる最も原始的な物質だと考えられており、初期太陽系の様子を知るうえで最も重要な試料である。今回、我々が光学顕微鏡および走査型電子顕微鏡で詳細な観察を行った結果、CO₃隕石に二次的に生成したと思われる変成組織・変成鉱物が多く見つけられた。このような変成組織・変成鉱物の研究を行うことにより、原始太陽系星雲あるいは隕石母天体の環境および進化の解明に重要な示唆が得られると期待される。

第1章では、序論として、これまでのコンドライト隕石の二次的な変成についての解釈と本研究の目的を説明している。タイプ3コンドライトは水質変成や熱変成の影響が最も小さい隕石と考えられてきたが、最近では二次的な変成組織・変成鉱物が見つけられている。それらの変成作用は星雲で、あるいは母天体での二つの可能性が議論されている。様々な熱変成度のCO₃隕石、ALHA77307(熱変成度3.0)、Kainsaz(3.1)、Ornans(3.3)、Lance(3.4)、Warrenton(3.6)の岩石学的観察の結果、Naによる交代変成組織、暗色包有物(DI)、層状ケイ酸塩が見つけられた。特に、DIがCO₃隕石にも多く含まれていることを初めて発見した。これらがどこで変成されたのか(星雲で、あるいは母天体で)、もしCO₃隕石のこれらの組織が母天体での二次的な変成作用でできたのであれば、その変成作用と母天体での熱変成作用の関係について知るために、それぞれの組織の観察および分析を行った。

第2章は、観察した隕石試料、観察方法および分析方法について述べている。

第3章は、CAIのNaによる交代変成組織の研究の背景、岩石学的特徴の記載と、それらの成因についての考察からなる。CAIは難揮発性元素からなる鉱物の集合体で、高温の太陽系星雲ガスの初期凝縮物と考えられている。しかし、CAIには比較的揮発性の高いNaに富む鉱物ネフェリンを含むものがあることが知られている。これまで、ネフェリンの形成は低温になった太陽系星雲の中で、ガスとの反応で起きたというのが定説であった。本研究では3.0から3.6の幅広い熱変成度の隕石でCAIの変成の程度を調べることで、隕石母岩が受けた熱変成とCAIの変成の相関について明らかにしようと試みた。CO₃隕石のCAIは大きさ50~600μmで、主にメリライト、スピネルのコア、ディオプサイドのリムからなる。ALHA77307のCAIはネフェリンを全く含んでいない。KainsazのCAIではメリライトはわずかにネフェリンに変成されている。OrnansとLanceのCAIではメリライトは変成を受け、より多くのネフェリンを含んでいる。Warrentonではメリライトは全てネフェリンに変成されており、最も変成が進んでいる。これらの観察から、CAIのネフェリンは主にメリライトを交代変成してできていることがわかった。CAIに含まれるネフェリンの量は、ALHA77307<Kainsaz<Ornans<Lance<Warrentonの関係があることがわかった。これは熱変成度の増加の順と一致している。これはCAIの変成度とCO₃隕石の熱変成度に相関があること、すなわち、CAIは独立に星雲の中で変成を受け

(氏名: 伊東大輔 NO. 2)

たのではなく、隕石母天体中で変成を受けた可能性が高いことを強く示唆している。

第4章は、暗色包有物(DI)の研究の背景、岩石学的特徴の記載と、それらの成因についての考察からなる。DIはCV₃隕石に多く含まれており、最近の研究では隕石母天体上で水質変成作用を受けた後、熱による脱水作用を受けてできたものと考えられている。CO₃隕石のDIで同じ様な成因が言えるのか、また、DIの形成と母岩の熱変成作用との関係を解明しようとした。CO₃隕石のDIは主に大きさ50~200μmで、細粒のFeに富むカンラン石微粒子からなる。DIにはカンラン石微粒子が卵状に集まった組織(セクション)がみられる。セクションの中のカンラン石微粒子はすべて結晶学的方位が一致している。このようなセクションはCV₃隕石のDIに見られるコンドリユールの仮像の組織と類似している。また、いくつかのDIにはカンラン石からなる脈状組織がみられた。脈状組織の存在はDIの形成に流体が関与したことを強く示唆している。これらのことは、CO₃隕石のDIも、CV₃隕石のDIと同じように、コンドリユールを含むコンドライトが隕石母天体上で水質変成作用を受け、さらに熱による脱水作用を受けてきたことを示唆している。いずれの隕石においてもDIは明らかに母岩に比べ激しい変成作用を受けており、DIの変成の程度と母岩の熱変成の程度には相関がない。おそらく、DIの形成は母岩の熱変成以前に起こったと考えられる。

第5章は、ALHA77307にみられる層状ケイ酸塩を含むコンドリユールおよびクラスト(岩片)の研究の背景、岩石学的特徴の記載と、それらの成因についての考察からなる。CO₃隕石のDIの研究は、CO₃隕石の母天体で水質変成が起きた可能性を示唆している。これらの変成プロセスがDI以外の他の隕石構成物にどのような影響をもたらしているのかについては強い関心もたれている。ALHA77307はCO₃隕石に分類されている一方で、層状珪酸塩の存在が知られている。その層状珪酸塩がどのようにして形成されているのかは、CO₃隕石の水質変成について重要な示唆を与えるとされる。ALHA77307のコンドリユールを観察した結果、44%のコンドリユールに層状ケイ酸塩が含まれていた。層状ケイ酸塩は組成からサポナイトと考えられる。層状ケイ酸塩はコンドリユールのメソスタシス、金属粒子、Fe硫化物を交代変成してできている。また、エンスタタイト斑晶が層状ケイ酸塩に交代されているものもある。また、層状ケイ酸塩を含むクラスト(大きさ80~700μm)がALHA77307に多く発見された。クラストには数個のコンドリユールが含まれる。それらは部分的に層状ケイ酸塩に交代されている。層状ケイ酸塩を含むコンドリユールやクラストにはマグネタイトまたはFe水酸化物の脈状組織が見られる。層状ケイ酸塩の産状、脈状組織の存在から、ALHA77307の層状ケイ酸塩は母天体上で流体の水が関与してできた可能性が高い。また、層状ケイ酸塩を含んだクラストの存在は、母天体上で水質変成作用が起こった後、角礫岩化作用があったことを示している。それぞれのコンドリユールおよびクラスト間で水質変成の程度が異なることは、隕石母天体上で水が不均質に存在していたことを示唆している。

氏名	伊 東 大 輔		
論文 題目	Na metasomatism, dark inclusions and phyllosilicates in CO3 chondrites: Evidence for aqueous alteration and thermal metamorphism on the CO parent body (CO3 炭素質コンドライトの Na による交代変成, 暗色包有物, 層状ケイ酸塩: CO 母天体の水質変成および熱変成の証拠)		
審査委員	区 分	職 名	氏 名
	主 査	教授	留 岡 和 重
	副 査	教授	中 川 義 次
	副 査	教授	佐 藤 博 明
	副 査		
			印
			印
要 旨			
<p>炭素質コンドライト隕石は、我々が手にすることができる最も始原的な物質だと考えられており、初期太陽系の物質進化過程を知るうえで最も重要な試料である。このような隕石も、星雲から母天体に集積した後、水・熱・衝撃などによる様々な二次的物質変化（変成作用）を受けていることが、近年の研究によって次第に明らかになりつつある。本研究は、炭素質コンドライトの中でも天体内での変成作用の影響が最も少ないとされる CO3 タイプ隕石を、分析電子顕微鏡を用いて調べ、その起源、進化プロセスを解明しようとするものである。</p> <p>第1章では、これまでのコンドライト隕石の変成作用の研究の歴史的背景と本研究の目的を述べている。隕石の変成作用が起った場所は、原始星雲か、あるいは隕石母天体かについて長い間論争が行われ、多くの研究が行われてきた。しかし、CO3 隕石の変成に関する情報は未だ非常に少ない。本研究では、主に走査型電子顕微鏡と電子線マイクロプローブアナライザーを用いて、5つのCO3隕石中の特に白色包有物(CAI)、暗色包有物(DI)および層状ケイ酸塩について観察・分析を行った。これらの物質を調べることによって、CO3隕石が、どこで(星雲か、母天体か)どのように変成されたのか、その変成作用と母天体における熱変成作用の関係はどうか、を明らかにすることが目的である。</p> <p>第2章は、観察した隕石試料、観察・分析方法に関する記述である。</p> <p>第3章は、CAIのNaによる交代変成組織の研究結果とその成因に関する考察である。CAIは難揮発性元素からなる鉱物の集合体で、高温の太陽系星雲ガスからの初期凝縮物と考えられている。しかし、CO3隕石のほとんどのCAIの中から、揮発性が高く、通常CAIには希なNaに富むネフェリンが見つかった。ネフェリンは主にメリライトを交代変成してできており、CAI中のネフェリンの量は隕石によって異なっている。多くのCAIを測定した結果、ネフェリンの量は、熱変成度の大きな隕石ほど多くなることがわかった。これはCAIの変成度とCO3隕石母岩の熱変成度に相関があることを意味している。すなわち、CAIは独立に星雲の中で変成を受けたのではなく、星雲から隕石母天体に集積した後、母天体中で熱変成作用の過程で形成されたことを強く示唆している。</p> <p>第4章は、暗色包有物(DI)の研究結果とその成因の考察からなる。DIはCV3隕石に多く含まれており、CV隕石母天体の集積時の情報を内包するユニークな物質として、近年注目を浴びている。しかしながら、CO3隕石からは全く報告例がなかった。本研究では、4つのCO3隕石から合計101個のDIを発見した。DIの組織は、CV3隕石のDIに見られるコンドリユールの仮像と類似している。また、いくつかのDIにカンラン石からなる脈状組織が見られたことは、DIの形成に水が関与したことを示唆している。このような結果は、CO3隕石のDIも、CV3隕石のDIと同じように、コンドライトが隕石母天体内で水質変成作用を受け、その後、熱による脱水作用を受けてきたことを示唆している。いずれのCO3隕石においても、DIは隕石母岩には見られない強い水質変成作用を受けている。これは、DIの変成は母岩の熱変成作用と直接関係はなく、母岩に最終的に取り込まれる以前に起こったことを意味している。</p>			

(氏名: 伊東大輔 NO. 3)

第6章では総括として、それぞれの変成組織の観察結果から、CO3炭素質コンドライトが母天体上で受けた変成過程について論じている。これまでCO3隕石は激しい水質変成や熱変成を受けていないと考えられてきたが、DIと層状ケイ酸塩を含むコンドリユールの研究により、CO3隕石にも水質変成を激しく受けた組織が多く存在することが示された。それらは母天体上で熱変成以前に起こった水質変成作用で形成されたことがわかった。CO隕石母天体では水が不均質に存在しており、母天体が熱源を得て加熱されると、水の存在するところでは激しい水質変成が起きたと想像される。そして水が枯渇すると、さらなる加熱により、これらの地域は脱水されたであろう。角礫岩化作用もまたCO隕石母天体では活発であり、それにより、DIや層状ケイ酸塩を含んだクラストが水質変成の影響の小さい地域に取り込まれた。それゆえ、CO隕石母天体は水質変成、角礫岩化作用および熱による加熱が活発に起きていた不均質な天体であったと推測される。

氏名 | 伊 東 大 輔

第5章は、ALHA77307に発見された層状ケイ酸塩の研究結果とその成因についての考察からなる。上記のDIの研究は、CO母天体で水質変成作用が起きたことを強く示唆している。そうであれば、当然、その変成作用が他の隕石構成物に影響を与えているかどうか強い関心もたれる。ALHA77307のコンドリュールの44%に、含水鉱物である層状ケイ酸塩（サボナイト）が含まれていることがわかった。また、層状ケイ酸塩を含むクラスト（岩片）も多く発見された。層状ケイ酸塩の組織・産状、脈状組織の存在から、ALH77307の層状ケイ酸塩は母天体内での水質変成作用によってできたと思われる。また、層状ケイ酸塩を含んだクラストの存在は、母天体内で水質変成作用が起こった後、角礫岩化作用があったことを示している。それぞれのコンドリュールおよびクラスト間で水質変成の程度（層状ケイ酸塩の生成量）が大きく異なっていることから、隕石母天体内で水は不均質に分布していたことが推定される。

第6章では、研究の総括として、CO3隕石が母天体内で受けた変成過程について論じている。これまで、CO3隕石は、天体中での水質変成、熱変成、角れき岩化（岩石の破壊と再集積）などの諸作用をほとんど受けていないと考えられてきた。しかし、今回の研究は、CO3隕石はいずれの変成作用も受けていることを明らかにした。特にDIは強い水質変成作用を受けたと思われる。これらの変成作用は、いずれも母天体の熱変成作用と同時か、あるいはそれ以前に起こったことは明らかである。以上のことから、CO母天体とは、これまで考えられてきたように、集積後ほとんど物理的変化のない静的な天体ではなく、じつは、その中に水も熱源も含み、水質変成、熱変成、角れき岩化作用が活発に起こった天体だったことが推定される。おそらく、水（あるいは氷）と熱源は母天体中で不均質に分布し、水質変成と熱変成は局所的に起こったと思われる。これらのことは、微惑星は初期に水を多量に含んでおり、その後の成長・進化にともなって水は枯渇し、次第に熱変成が進行して行った、というモデルがCO母天体にも適用できることを意味している。

以上のように、本研究は、CO3隕石の広範かつ詳細な研究にもとづいて、その形成過程に関する従来の定説とは異なる新たなモデルを提出するものである。とくに、CO3隕石において初めて暗色包有物（DI）が多数存在することを発見し、さらにその研究によって、CO母天体の物質進化に関する新しい解釈を導き出したことは、特筆すべき重要な成果である。

よって、学位申請者の伊東大輔は、博士（理学）の学位を得る資格があると認める。