

特集 「地球外物質の分析」

地球外物質のキュレーション体制の現状と今後

小島秀康¹、今栄直也¹

1. はじめに

隕石、宇宙塵を始め、近い将来持ち帰られるであろう小惑星や月の岩石を研究するうえで、キュレーション(curation)は基本となる部分である。しかし日本においてはまだその重要性が十分に理解されているとはいえない。ここではキュレーションの本来意味するところを述べ、地球外物質の世界と日本でのキュレーションの現状を紹介する。そして将来のサンプルリターンや高精度化する研究に対応したキュレーション体制について言及する。

2. キュレーションとは

キュレーション、あまり耳慣れない言葉であるが、その意味するところは自然物を研究する上で、基本となる重要な部分であると考えられる。だから、この言葉が定着すると同時に、その意味するところも十分理解されなければならない。キュレーションという言葉は、おそらく、博物学の最も基本となる言葉であろうからである。しかしながら、日本語にはキュレーションに相当する適当な言葉がない。それは博物館制度そのものが、西洋から移入されたものであり、また、公の機関である博物館がものを収集するということが欧米に比べてケタ違いに低く、従ってコレクションの量が少なく、キュレーションその物が体制として定着

しなかったのではないかと考えられる。特に地球外物質(ここでは隕石であるか)には、そのことが言える。また、日本にはプレカンブリアンの岩石(6億年より古い岩石)が分布しておらず、従って日本の地質学は顕生代である古生代以降を理解しようということがそのほとんどで、46億年前の太陽系、地球の始まりからスタートして現在までの長い時間の中で、地球の材料物質を示唆する、太陽系創成期の物質である隕石や、地球の構成要素である岩石を時間軸にそって系統的に収集して、地球という惑星が時間とともに変化、あるいは進化してきた姿を理解し、示そうということをつい最近までしてこなかったことが考えられる。

M. Zolensky博士(NASA JSCのIDPのキュレーター(curator))によると、キュレーターの語源は古代ローマに由来し、もともと、*a person appointed to manage the affairs of a young person*という意味であったらしい。キュレーションという言葉自体は英和大事典にも見あたらない。一方、たとえばNASAのホームページ[1]などで用いられているように、近年になってキュレーターの役割がより具体化されたのかもしれない。その大きな要因の一つに、南極隕石に代表される地球外物質を大量に入手したことによるのではないかと考えられる。

ではキュレーションとは何か、隕石を例に述べてみたい。隕石の収集、保管・管理、同定・分類、隕石情報の公開、隕石研究計画の受付、審査、研究のための隕石配分、すべてを含むものがキュレ

ーションである。キュレーターは、キュレーションの責任者である。また、隕石研究計画の適切な審査や、配分を行うため、世界の研究動向を常に把握している必要がある。日本においては研究のための審査と配分が博物館のタスクとして認められていないこともあり、本来の形としてのキュレーションが定着しているとは言えない。

3. 世界のキュレーション体制

3.1 博物館

世界の先進国といわれる国々の首都や大都市には国や財団が運営する大きな博物館がある。英国自然史博物館(ロンドン)[2]、オーストリア自然史博物館(ウィーン)、ベルリン自然史博物館(ベルリン)、スミソニアン博物館(ワシントンD.C.)[3, 4]、アメリカ自然史博物館(ニューヨーク)[5]などがその例である。これらの博物館にはそれぞれ隕石部門があり、1000個近く、あるいはそれを越す隕石を保有しており、これらのキュレーションが行なわれている[6]。現在知られている南極隕石を除く隕石は世界で3000個程度であるので、それぞれ大きな隕石コレクションを有しているといえる。同じ隕石を色々な博物館で保有している場合が多いが、それぞれ目玉となる希少な隕石や、その博物館にしかない隕石を有している[7]。それぞれの博物館では、採集、交換、購入により、常に保有する隕石の量を増やす努力が払われている。隕石部門にはそれぞれ専任のキュレーターがおり、そのもとに複数のスタッフがいる。キュレーターはそれぞれ隕石学会で名の知られた、隕石を熟知した研究者である。博物館が保有する隕石を研究したいときは、キュレーターに申し込めば、キュレーターが審査して、認められれば、目的に応じて研磨薄片の貸し出しや、隕石の配分を受けられる。研究のためにはいつも門戸が開かれている。隕石の

保管は専任スタッフだけが入れる部屋で行われているが、特別な空調等があるわけではない。隕石の一部はそれぞれの博物館が趣向を凝らして展示している。ただオーストリア自然史博物館は保有するすべての隕石を展示している。

3.2 NASA

NASAには地球外物質のキュレーションを行う部門がヒューストンにおかれている[1]。ここでは、アポロ計画で持ち帰られた月の石、南極でアメリカ隊によって採集された南極隕石、U2で採集された宇宙塵のキュレーションが行なわれている。スタッフは月の石、南極隕石、宇宙塵それぞれに一人ずつ合わせて3人のキュレーター、別に3人の研究者と10人の技術スタッフの16人の体制である。技術スタッフについてはすべてロッキード社の社員で、NASAに派遣されている。南極で採集された隕石は冷凍されたままNASAに持ち込まれここで解凍される。その後クリーンルーム内で初期処理が行われ、クリーンルーム内の窒素を封入したキャビネットに保管される。外見の記載はNASAの技術スタッフが担当し、隕石の分類と研磨薄片の記載はスミソニアン博物館のB. Mason博士が中心になって行っている。これらの結果は年2回発行のNews Letterで公表される。隕石研究者はこのNews Letterを基に研究計画を作成して、隕石キュレーターに申請する。申請があった研究計画は隕石の配分基準に従って審査される。審査はキュレーターと年2回開催されるMeteorite Working Group (MWG)とが行っている。キュレーターが審査する隕石にはそのための細かな基準が設けられており、その範囲の隕石であればキュレーターが判断して配分の可否を決める。それ以外の隕石の研究計画はMWGが審査を行う。配分のための試料作成は技術スタッフがクリーンルーム内で行う。ある一定期間研究計画のない隕石についてはNASAからス

ミソニアン博物館に隕石が移され保管される。スミソニアン博物館は博物館とは別の場所にNASAに準じた施設を造り、南極隕石だけをそこで保管している。

4. 日本におけるキュレーション体制

日本の博物館にはタスクとして隕石研究の審査、隕石配分がないため、現状では隕石のキュレーションを行っているのは国立極地研究所のみである。従ってここでは極地研究所の現状を述べる。最初に南極隕石コレクションの特徴に触れたい。一つには短時間に膨大な数の隕石がコレクションとなったことである。最初に大量の663個の隕石が発見されて持ち帰られてから5年後の1980年にはすでに5000個を越す隕石が日本のコレクションになった。しかしこの時点ではキュレーションの体制はなかった。ようやく翌年に隕石資料部門が発足したが、専任の研究者はわずかに一人であった。約9000個

の隕石を有する現在でも専任のスタッフは2人だけであり、体制作りが後手に回った感がある。世界の博物館の隕石コレクションは100年を越す時間をかけて集められたコレクションである。従って年間に処理を必要とする隕石の数はたかだか数十個程度である。これはキュレーターと複数のスタッフがいる博物館にすれば十分にこなせる量である。一方、米国では1978年以来数百を越す隕石が南極から持ち帰られているが、この時すでに月の隕石のキュレーションを行った実績があり、施設もあった。もう一つは極地研究所が保有する南極隕石は世界で一カ所にしかないコレクションである点である[8]。このことはコレクションとしての価値を更に高めている。

隕石の収集、保管・管理、同定・分類、隕石情報の公開、隕石研究計画の受付、審査、研究のための隕石配分、すべてを含むものがキュレーションであると述べたが、この順にしたがって紹介する。

隕石の収集：南極観測のプロジェクト研究のな

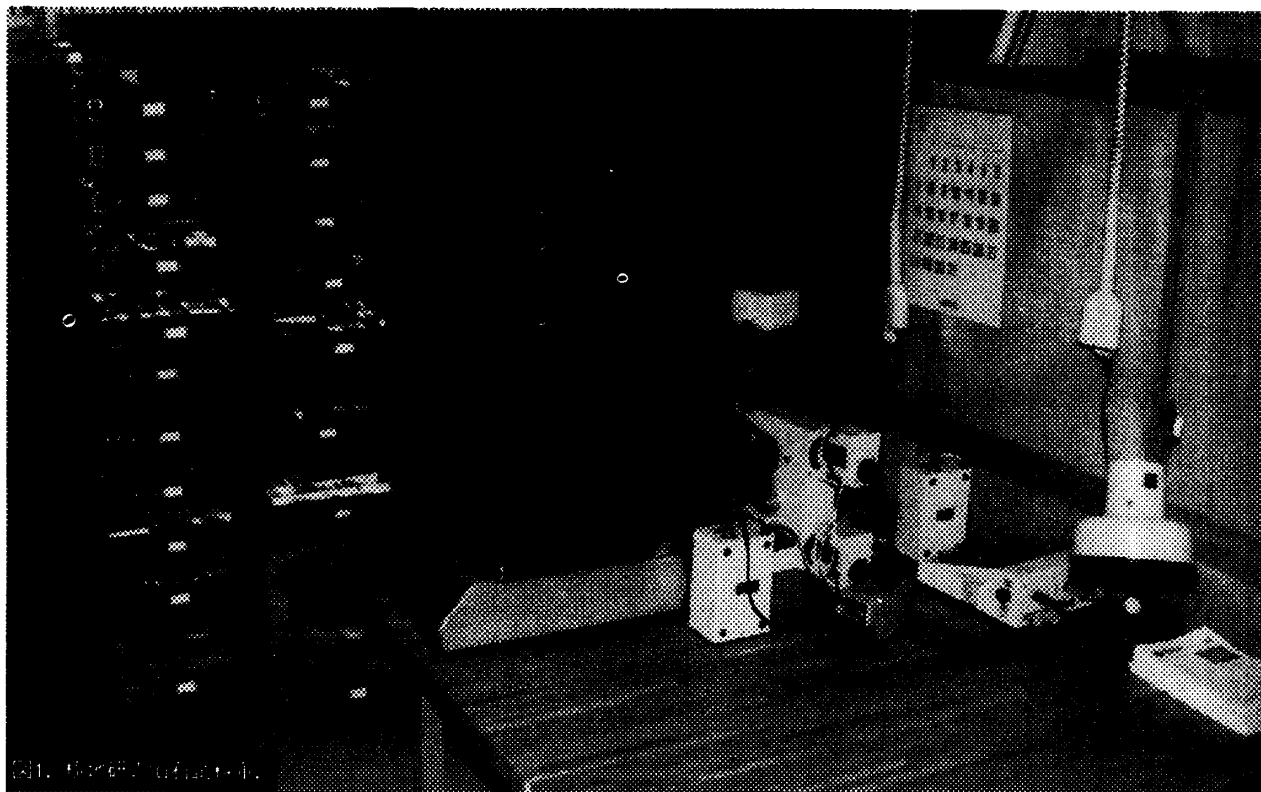


図1. 極地研究所の研究室。

かで、探査計画を立案して行っている。観測隊の規模の割には多種多様な観測計画があること、また現状では隕石探査は越冬しなければできないために、5年に一度できれば良いほうである。

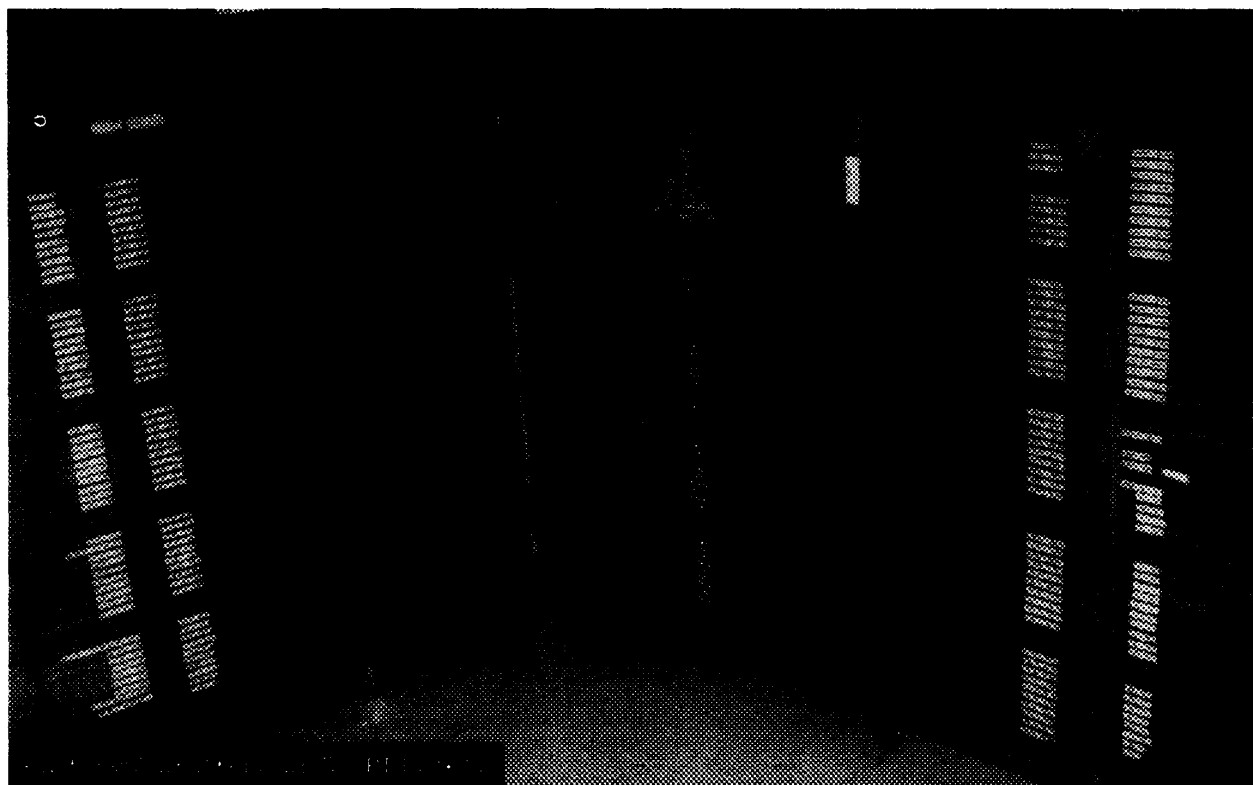
保管・管理：温度と湿度をコントロールした部屋で保存している(図1)。また、1個の隕石について最低1枚、基本的には2枚の研磨薄片(PTS)を作成し、PTSコレクションとしている(図2)。

同定・分類：外見の観察によって粗分類を行う。粗分類は、石質隕石、石鉄隕石、鉄隕石のいずれかで、石質隕石は、コンドライト隕石かエコンドライト隕石のどちらかになる。粗分類では、さらに、重量、形、色、溶融皮殻、割れ目の量、ペアリングの有無などについて記載する。ここでペアリングとは、他の隕石とパズルあわせのように組み合わせる場合のことを指す。その後、研磨薄片を作成して、顕微鏡観察による組織、鉱物記載、X線マイクロアナライザー(EPMA)による鉱物の組成分析のあと分類を行う。隕石の大部分を占めるコンドライト隕石の分類規準は伝統的な隕石の分類-

方法に従う[9]。現在隕石分類分科会が薄片記載と分類を担当している。

隕石情報の公開：Meteorites News、隕石カタログによって記載分類の結果を公表している。また、年一回の南極隕石シンポジウムの開催、そこで発表された論文を中心としたAntarctic Meteorite Researchの発行もこの一翼を担っている。

隕石研究計画の受付、審査：随時研究計画の受付が行なわれている[10, 11]。隕石研究計画の審査は2年前までは、年1ないし2回開催される南極隕石研究委員会が行っていた。この委員会は極地研究所長の諮問委員会で、主に所外の隕石、惑星科学の研究者で構成されている。しかし、現在はNASAと同様にキュレーターと南極隕石研究委員会による2段階の審査を行う体制をとっている。これは研究計画の受付から配分までをより短時間にスムーズに行おうとしたもので、基準を設けて、その基準以内の計画はキュレーターが審査を行い、その基準に当てはまらない計画は隕石研究委員会が審査を行うものである。その基準は主に隕石の種



類，大きさによっている。従って比較的大きな普通にある隕石であれば，キュレーターの判断になるので申請から短時間で配分が可能となる。

隕石配分：申請が受理された隕石研究計画については，貸し出す形で隕石の配分が行なわれている。PTSを使用する計画についてはPTSコレクションから貸し出している。貸し出し期間は基本的に1年を限度としているが，なかなか守られないのが現状である。また，隕石サンプルについては，その大きさ，形，隕石の中の位置等，申請と審査を基に処理を行い，配分される。

5. 将来のキュレーション体制

国内において現在そして将来を視野に入れた時にキュレーションを行わなければならない地球外物質は次の4種類である。非南極隕石，南極隕石，宇宙塵，そして直接持ち帰られる地球外物質である。ここではこれらの地球外物質のそれぞれ個々の将来のキュレーション体制について述べる。

5.1 南極隕石

南極隕石のキュレーション体制が立ち上げられていることは述べた。しかし，まだまだ不十分である。一つは研究組織。もう一つは施設である。まず組織であるが，現状は助教授，助手各1の隕石資料部門で行っている[12]。しかし，急激に増えた南極隕石のキュレーションを行い，研究成果を挙げるためには最低2講座から成るセンター化が必要と考えている。1講座は専任でキュレーションを行い，1講座は記載，分類に協力しながら，大型分析機器を有して共同研究を進める体制である。次に施設面である。隕石の保管はNASAと同様に窒素を封入したキャビネットで行う。また，保管庫，処理についてはクリーンルームで行う必要がある。現状でも採集から保管処理に至るまで，無機的な汚

染には注意が払われているが，有機的な汚染にたいしては対策がとられていない。昨年NASAによる火星生命の可能性の発表でも明らかのように，隕石中の低レベル有機物を研究するためには地球での有機物の汚染を最低限に押さえる必要があるからである。

5.2 非南極隕石

すでに述べたように，世界の主要な博物館はそれぞれ1000個を越える隕石コレクションを有している。一方，国内には大きな隕石コレクションはない。非南極隕石は砂漠で発見された隕石を除けば多くがここ数百年の間に落下した隕石である。南極隕石は数千年から100万年前に落下した隕石であり，明らかにそのフラクションは異なると考えられる。これらのことからすれば，国内に一カ所でも良いから，キュレーション体制が整った非南極隕石の大きなコレクションが必要であろう。研究用というだけでなく，教育のための展示を考へても充実しなければならないであろう。核となるコレクションがない現状からの出発は交換して隕石数を増やしてゆくという方法がとれないので難しいが，方法としては2つ考えられる。一つは一般市場に出回っている隕石を少しづつでも購入して増やしてゆくこと。もう一つは隕石が南極以外で集積していることが解りつつある砂漠での隕石探査を行って，増やしていくことである。いずれにせよ意志をもって一歩を記さなければ形が見えてこない。中核となる非南極隕石のコレクションを作ると同時に，世界の非南極隕石のデータベースを作成することが必要であろう。大英自然史博物館は隕石カタログを発行しているが，最新の情報を常に追加して，利用できるデータベースである。もちろん世界の主立った博物館をリンクしたものが理想であるが。そうすれば必要とする隕石がどこにあってどんな基礎データがある等の情報を即座

に入手できる。

5.3 宇宙塵

宇宙塵は隕石の一部のほか、星間塵、惑星間塵、彗星起源の固形物質等々、隕石とは違った起源のものを含むと考えられ、我々が手にすることができる貴重な宇宙物質には違いない。しかしその大きさが1mm以下で採集が難しかった。このこともあって、これまで国内に宇宙塵のコレクションはなかった。しかし39次南極地域観測隊では南極の氷床において宇宙塵の採集を計画しており、多くの宇宙塵が持ち帰られることが期待される。それに先立ち、37次南極地域観測隊により持ち帰られた、ドーム基地の造水槽の底に溜まった沈殿物のなかに相当量の宇宙塵が混在しているようであり、現在作業委員会によって確認作業(予備調査)が続けられている。いずれにしろここ数年内に宇宙塵の保有国となるのは間違いないと思われる。その前にキュレーションの体制を確立する必要がある。現在宇宙塵のキュレーションの体制が整っているのはNASAだけであるが、それに準じた体制を整えたい。ただNASAと異なるのはその絶対量が圧倒的に多くなることである。NASAの宇宙塵はU2によって成層圏から直接採集されたものであり、その数は限られる。しかし南極から持ち帰られる宇宙塵は10万個をはるかに越す量になるであろう。現在宇宙塵研究者グループでキュレーション、研究体制の検討が続けられている。これまでに確認されていることは、クリーンルームで保管と処理を行う。作業委員会が粗分類を行う。といった程度である。国内の宇宙塵研究者の層が薄いこと、宇宙塵の量が多いことを考えれば、当面は研究したい研究者が公平に研究サンプルを得られる体制ができればよいと考えている。それによって研究者層が厚くなるのが先決であろう。

そうして、数年のうちにはキュレーション体制

を整えていく必要がある。この時には隕石のキュレーション体制が整っているはずで、それに準じた体制をとればよいと考える。具体的には、専任のキュレーターを設けること、処理方法、配分方法を確立して、ガイドラインを設けること、を行う必要がある。設備、技術的には、専用のクリーンルームを設けて、宇宙塵の保管、処理を行うこと、微細なサンプルを扱う技術を確立することがあげられる。

5.4 直接持ち帰られる地球外物質

21世紀初頭にはMUSES-C計画による小惑星物質のサンプルリターンが計画されている[13]。これらのサンプルは形成した場所から直接採集すること、地球環境に触れる事無く持ち帰られる点で隕石や宇宙塵とは大きく異なる。キュレーションに関しては特に後者が大きなポイントになる。非南極隕石は落ちた時点で土壌や植生に触れる

南極隕石や南極で採集される宇宙塵であっても地球の大気下に長時間さらされる。この点サンプルリターンされるサンプルは密封された容器で地球環境にさらされることなく回収される。従って、MUSES-C計画書[13]に書かれているように、回収された後の処理、一次分析もこの環境下で行わなければならない。処理は真空の処理装置で行う。保存する試料については真空中で揮発物質がガス化しないように、極低温で行うのが理想であろう。また分析についても揮発物質から固体の分析までを同位体を含めて一連に分析できる体制を組み上げる必要がある。これがまさに惑星科学会の将来計画委員会がいう宇宙物質分析センターそのものであろう[14]。ここではロケットミッションによって持ち帰られるすべての試料のキュレーションを行うのが良いであろう。

6. おわりに

9000個近い南極隕石コレクションがあり、キュレーション体制が立ち上がっていること、非南極隕石のコレクションを持つ必要があること、近い将来宇宙塵、小惑星や月から直接サンプルリターンされる試料が地球外物質のコレクションに加わり、それぞれにキュレーション体制を整える必要があることを述べた。またそれぞれはサイズや量が異なり、採集時の環境が異なることから、キュレーションもそれぞれ異なる環境、方法で行わなければ成らないことも明らかになった。惑星科学会の将来計画委員会[14]はその報告書の中で、宇宙物質分析センターの必要性を強く訴えている。また、惑星科学研究のネットワーク化を提案している。南極隕石は極地研究所がキュレーションを行っており、南極で採集する宇宙塵についても極地研究所で行わざるを得ないだろう。ロケットミッションによりサンプルリターンされる小惑星や月の石は地球環境に触れない状態で処理、保管を行わなくてはならないので、試料が到着するまでには、これらだけのキュレーション体制を整えておく必要がある。また、即座に基本的なデータが得られる分析が行えなくてはならない。これはまさに将来計画委員会のいう宇宙物質センターそのものであろう。地球外物質を一カ所でキュレーションを行うかどうかについては、採集場所や採集方法など、それぞれの試料の性格の違いを考えれば、むしろ異なる機関でそれぞれの試料のキュレーションを行い、惑星科学研究で提案されているのと同様に、ネットワーク化を図るのが適当ではなかろうか。

謝辞

キュレーションの語源について有益なコメント

をいただきました土山 明博士(大阪大学), Michael Zolensky博士(NASA JSC)に感謝いたします。

参考文献

- [1] <http://www-curator.jsc.nasa.gov/curator/curator.htm>
- [2] <http://www.nhm.ac.uk/>
- [3] Boss A. P. 1997: Moon, Meteorites, and Solar System: Gallery exhibit at the National Museum of Natural History. *Meteoritics & Planet. Sci.* **32**, 742.
- [4] <http://www.mnh.si.edu/nmnhweb.html>
- [5] <http://www.amnh.org/>
- [6] Sears D. 1996: What price meteorite collections? *Meteoritics & Planet. Sci.* **31**, 695-696.
- [7] Graham A. L., Bevan A. W. R. and Hutchison R., 1985: *Catalogue of Meteorites*.
- [8] Yanai K. and Kojima H., 1995: *Catalog of the Antarctic Meteorites*.
- [9] Van Schmus W. R. and Wood J.A., 1967: A chemical-petrologic classification for the chondritic meteorites. *Geochim. Cosmochim. Acta* **31**, 747-765.
- [10] Kojima H. and Yanai K., 1996: *Meteorites News* Vol 6.
- [11] <http://geoipx.nipr.ac.jp/~kojima/index.html>
- [12] 今栄直也, 1996: 極地研究所. 遊星人 **5**, 70-74.
- [13] 宇宙科学研究所(編), 1996: MUSEC-C 計画概要.
- [14] 山本 哲生ほか(編), 1996: 日本惑星科学会 将来問題専門委員会報告書.