

追悼 武田弘 先生

三河内 岳¹, 留岡 和重², 中村 智樹³, 山口 亮⁴, 佐伯 和人⁵,
山本 彩⁶, 荒井 朋子⁷, 大竹 真紀子⁸, 長岡 央⁵

(要旨) 2023年9月11日、武田 弘先生(東京大学名誉教授)が89歳の誕生日前日にお亡くなりになられました。武田先生は、分化隕石や月試料の鉱物学的手法による研究などで国際的に高い評価を受けただけでなく、本学会においても発足時に副会長を務められるなど、学界の発展にも多大な貢献をされました。今から50年以上も前に「固体惑星の物質進化」と言う新しい研究分野を国内で切り拓かれた、先生の歩んできた道を簡単に紹介した後に、かつての武田研の学生や、定年後に巡り合った共同研究者の方々などに先生との思い出などを綴っていただきました。

1. はじめに(三河内 岳)

武田 弘先生の訃報に接したのは、2023年9月13日のことでした。前日の9月12日が先生の誕生日だったので(偶然にも9月12日は日本では「宇宙の日」)、先生へのお祝いを考えながら、ご家族に近況を伺わねばと思っていた矢先のこと、9月11日に亡くなられたと伺い、しばし茫然自失となりました。武田研での同級生だった荒井朋子さん・山本彩さんと、前年に米寿のお祝いをした時から数えて364日、あと1日で89歳になられると言う日でした。

私が先生に初めてお会いしたのは、学部2年時のことで、理学部地学科に進学先が希望通りに決まって、専門科目(確か「鉱物学概論」)の講義を受けた駒場キャンパスの教室でした。どことなく、私の祖父に似ている顔つきで、喋り方も普通に標準語を話され



ているものの、失礼ながら、なんとなく馴染みのある言葉の雰囲気を感じました。その後、先生の研究に強い魅力を感じて、卒論の指導教官になっていただいたのですが、私と先生は岡山市出身で同郷だったことが分かり、そのことをお話しすると、イタリア語訛りの英語を自称される先生にはご不満だったようで、少し怪訝な顔をされたのを思い出します。それにしても、先生の下で研究生活を始めたことで今の自分があり、本当に感謝に堪えません。駒場で受けた当時の講義は、後継となるものを現在は私が担当し

1. 東京大学総合研究博物館
2. 神戸大学
3. 東北大学大学院理学研究科
4. 国立極地研究所
5. 立命館大学宇宙地球探査研究センター(ESEC)
6. (一財)リモート・センシング技術センター
7. 千葉工業大学惑星探査研究センター(PERC)
8. 会津大学コンピュータ理工学部
mikouchi@um.u-tokyo.ac.jp

ており、学生からの同様の逆経験はほとんど無いものの(教える内容が、結晶学の基礎で、惑星に関することはあまり無いためだと信じていますが…)、後進を育てることを意識せねばと感じています。

武田先生は日本惑星科学会では、発足時に副会長を務められました。学会では、特に物質科学的な研究を惑星探査の意義を含めて牽引され、他の惑星科学分野との融合・橋渡しにご尽力されました。そのおかげで、今の私たち、そして惑星科学があるのだと思います。本稿は、武田先生の下で学んだ者、共に一緒に研究を進めた者などの中で、特にその位置が近かったと私が勝手ながら考える人たちに先生の思い出を綴ってもらったものです。このような企画は「遊星人」では初めてとのことで、広く武田先生の学問内外の姿を会員の皆さんに知ってもらいたく、また、これを機に一層の惑星物質科学の進展を願うものです。月並みですが、まずは、武田先生の略歴を辿りながら、先生の研究成果を簡単に紹介させていただき、その後、皆さんの思い出の文章へと繋がせていただきます。

2. 武田先生の経歴と業績(三河内 岳)

<略歴>

- 1934年 岡山県生まれ
- 1957年 岡山大学理学部化学科 卒業
- 1962年 東京大学大学院数物系研究科鉱物学専門課程 博士課程 修了(理学博士)
- 同年 東京大学理学部 助手
- 同年 ジョンズ・ホプキンス大学化学部結晶学教室 研究員(1965年まで)
- 1965年 米国地質調査所 客員研究員(同年まで)
- 1970年 東京大学理学部 講師
- 同年 米国科学アカデミー 主任研究員(NASA 有人宇宙飛行センター)(1972年まで)
- 1974年 東京大学理学部 助教授
- 1980年 国際隕石学会フェロー
- 1984年 東京大学理学部 教授
- 1988年 Meteoritics副編集長(1992年まで)
- 1991年 国際鉱物学連合 宇宙鉱物学ワーキンググループ 委員長(1995年まで)
- 1992年 日本惑星科学会 副会長(1996年まで)

- 1995年 東京大学 名誉教授
- 同年 日本産新種のCaホウ酸塩に「武田石(Takedaite)」と献名
- 1996年 NASAパブリックサービスメダル
- 1999年 琉球大学理学部 教授(2000年まで)
- 2001年 Meteoritics and Planetary Science 名誉編集委員
- 同年 小惑星(4965)に“Takeda”と命名
- 2002年 千葉工業大学附属総合研究所 教授(2006年まで)
- 同年 日本鉱物学会 創立50周年記念特別賞
- 2005年 日本ソムリエ協会 名誉ソムリエ
- 同年 日本鉱物科学会 名誉会員
- 2009年 日本鉱物科学会 第26回渡邊萬次郎賞
- 2010年 国際隕石学会 レオナルドメダル
- 2017年 日本地球惑星科学連合 フェロー

武田先生の学問上の貢献は、鉱物学と結晶学をベースとした固体地球惑星物質科学の創設と発展に尽力されたことです。それらの貢献で、国際的にも非常に高い評価を受けました(主な受賞歴は略歴参照)。具体的には、輝石微細組織の詳細な観察や分析から、分化した隕石や月の石の形成と冷却過程を明らかにしたことで、先生の研究により、太陽系の始原的物質が部分溶融と分化を繰り返しながら、原始惑星や月のような小天体を経て高度に分化した地球のような天体に至ることが明らかになって来ました。

略歴の通り、武田先生は東京大学で博士号を取得後、1962～1965年に最初の渡米研究をされています。ジョンズ・ホプキンス大およびUSGSにおいて、雲母や輝石などの鉱物結晶学に関する広範な研究に着手されました。まだ、この時は惑星との接点は何もありませんでした。ただし、時代はアポロ計画がまさに進行中で、USGSに滞在し、月の石の研究準備が進んでいる現場に触れられたことが武田先生のその後の研究の軌跡に大きな影響を与えることとなります。その後、1970～1972年にNASA有人宇宙飛行センター(現ジョンソン宇宙センター)で月試料や隕石の研究を本格的に開始されました。先生のNASAでの同僚らとは、弟子の私たちにも共同研究として繋がりが生まれ、その関係は孫弟子まで脈々と引き

継がれています。

NASAからの帰国後、先生は「固体惑星物質の進化」という概念を持って、さらに研究を進めていくこととなりますが、ちょうどそのころは、日本の観測隊により南極から多数の南極隕石が発見され始めた時期に当たり、これらの南極隕石をめぐる研究組織・キュレーションの確立にも尽力されました。

武田先生の数多い研究成果の中で、特に重要なもののひとつが、HED(ホルダイト・ユークライト・ダイオジェナイト)隕石の研究です。先生は、小惑星ベスタを念頭に置かれ、原始惑星が分化を経て層状の地殻構造を持つことを、これらの隕石を詳細に鉱物分析することで実証したのです。また、現在よく使われるHED隕石の用語を提唱したのも先生でした。その他にも多くの分化隕石を研究されましたが、ユレイライトと呼ばれる、分化隕石ながら、様々な始原的な特徴を併せ持つ隕石グループには、特に大きな興味を持って研究に当たられました。ユレイライトの形成メカニズムとしては、部分熔融後の残渣と言うのが一般的なコンセンサスですが、カウンターパートとなる玄武岩質の部分熔融液が爆発的天体破壊で失われたと言うのが先生のアイデアでした。

武田先生の貢献は固体惑星物質の分析だけにとどまりません。隕石研究を推進しただけでなく、当時の宇宙開発事業団(NASDA)と幅広く協力し、日本の将来の月探査の方向性を導くのにも貢献されました。やがて、それは、宇宙航空研究開発機構(JAXA)の月探査計画「セレーネ(かぐや)」で結実することになります。ちょうど、かぐや探査の頃には、アフリカや中東の砂漠で多くの月隕石が発見されていましたが、先生は、その中から月の裏側から飛来した隕石を特定されました。これらの隕石の鉱物学的・岩石学的研究と、かぐやの月裏側のデータをもとに、月地殻の形成に関する新しいモデルも提唱されています。

学術的貢献に加え、武田先生の国内外の学術団体での活躍も特筆すべきかと思えます。詳細は略歴をご覧ください。ただ、海外での活躍は、後のページに続く、多くの方々が綴られているように「国際的」と言う言葉そのまま、日本の固体惑星物質科学の強さを国際舞台でアピールし続けられました。そして、その姿は、月惑星



図1: 2017年JPGUフェロー授与式での武田先生と共同研究者・弟子・孫弟子ら。

科学会議(LPSC)、国際隕石学会年会、国立極地研究所での南極隕石シンポジウムなどで、先生に同行して、発表の経験を積み、キャリアアップを目指す教え子たちに強いインスピレーションを与えるものでした。

このような武田先生の研究とその精神は、鉱物学と結晶学の基礎研究が惑星科学と隕石学にどのように貢献しているかに基づいており、それらは、『惑星の物質科学』(東京大学出版会、1982年)、『固体惑星物質科学の基礎技術と応用』(サイエンスハウス、1994年)、『固体惑星物質進化』(現代図書、2009年)など、いくつかの著書となって示されています。

最後に、武田先生の科学以外の貢献として忘れてはならないのはワインへの造詣です。先生は、1985年にフランス・ボルドーであった国際隕石学会の年会でワインと深く触れ合い、それをきっかけに土壌の性質とワインの品質との関係を追及し始めたとかつて語ってくれました。ワインについては、後の多くの人の文章に登場するのでそちらを参照してもらえればと思います。ただ、2005年に日本ソムリエ協会より「名誉ソムリエ」の称号を授与されたことは略歴にも出ていますが、書き忘れるわけにはいきません。今ごろは、ワイングラスを傾けながら太陽系での惑星物質進化について想いを巡らせていることでしょう。謹んで先生のご冥福をお祈りいたします。

本稿は、昔の記憶を辿りながら記述した部分もありますが、すでに先生と初めてお会いしてから30年以上の年月が経っています。そのため、内容に齟齬があるかもしれませんが、その点は武田先生の膨大な業績が故と言うことで、ご勘弁いただければと思います。また、できるだけ多くの関係者の皆さんに執

筆をお願いしたいところでしたが、紙面の関係で限られた人数になってしまった点もご容赦願います。本稿の執筆を提案いただいた三浦均さんに深く感謝いたします。

3. 武田弘先生を偲んで(留岡 和重)

武田先生と初めてお会いしたのは1970年代初め、私が東京大学理学部鉱物学教室の学部学生だった時です。ここでは心に浮かぶ先生との思い出を振り返ります。

この教室は戦前から鉱物のX線結晶構造解析の強い伝統があり、1970年代も教室構成員の大部分はその研究を行っていました。私は先生とは異なる指導教官の下で特異な構造を持つ硫化物の解析を行い、1980年に博士課程を修了しました。しかし当時、国内の研究機関への就職は難しく、どうしようか悩んでいたところ、武田先生から「アリゾナ州立大学の教授が高分解能電子顕微鏡を用いて始原的な炭素質コンドライトの研究をやるポストクを探しており、適任者の推薦を頼まれています、行く気はありませんか」と声を掛けられました。そのとき私は、電子顕微鏡も隕石も全く馴染みが無かったので即答することができず、しばらく考える時間をいただいて、結局「推薦をお願いします」と返事をしました。そして1980年夏から7年余りの間、アリゾナで研究生活を送りました。これが、私が隕石学の道に足を踏み入れた経緯であり、先生と私の間に深い絆ができたきっかけです。今考えると、若かったからできた私の人生最大のチャレンジでしたが、この選択をして本当に良かったと思っています。

武田先生は大学院生の頃から硫化物、雲母、輝石の結晶構造解析を行っておられましたが、1970年代にはその他に月岩石や分化した隕石の研究を始めておられました。これは当時の教室では異例の新たな研究でした。実は1970年代は、1969年にアポロ11号ミッションによる月岩石の回収、南極における日本観測隊による最初の隕石発見という惑星物質科学史上画期的な出来事があった直後であり、世界中で地球外物質研究の気運が急速に高まりつつあった時期でした。

先生は、その頃既に宇宙物理学者らによって提唱

されていた「太陽系形成初期に、原始太陽系星雲から生成した塵が集まって次第に塊となり、大きな天体へと成長して行った」という理論的なモデルを物質科学的に検証し、惑星物質の進化プロセスを実証的に明らかにしようという強い思いを持っておられました。これは上記したように、先生の研究人生初期に鉱物結晶を極微小なレベルで解析した経験に端を発しているのだと思います。私は先生のこのような考え方に強く共鳴し、これまで主に炭素質コンドライトおよび惑星間塵の中に物質進化の痕跡を追い求めてきました。先生はそれを常に暖かく見守り、応援してくださいました。

先生は年齢や地位による敷居を感じさせないお人柄で、学生達にはいつも気軽に接してくださいました。若い時にジョンズホプキンス大学、アメリカ地質調査所、NASAジョンソン宇宙センターなどアメリカの名だたる研究機関で働いた経験がおり、東京大学で教官になられた後も、海外への学会出席やその他の長期・短期の出張に頻繁に出かけておられました。そのため、学生達は先生と雑談するだけで海外の研究の状況を知り、最前線の雰囲気を感じ取ることができました。

実際、先生は海外では特に生き生きとしておられました。私がアリゾナに渡って3週間後に出席したサンディエゴで開催された隕石学会は、私にとって初めての海外の学会であり、そこで目にした先生の姿は強く印象に残っています。先生には様々な国の多くの友人や知人がおり、会うと嬉しそうに再会を喜び、情熱的に滔々と話をしておられました。研究者は積極的に海外の研究者と交流し、議論し、互いを高め合うものだというのを、身をもって教えていただきました。このときの経験は、その後の私のアメリカ生活、そして研究人生に大きな力となりました。

先生は、宇宙・惑星科学において物質科学が重要な役割を果たすという強い信念を持っておられました。日本惑星科学会発足時(1992年)には、準備段階から多大な尽力を惜しまず初代副会長として勤しまれたのは、その思いがあったからでしょう。最近行われた探査機「はやぶさ2」による小惑星サンプルリターン探査で回収された試料の研究でも、先生の薫陶を受けた多くの研究者、そして孫世代に当たる若手研究者達が活躍し、素晴らしい成果を上げました。こ

れからも、宇宙の様々な天体への同様な探査は行われて行くことと思います。先生が植えられた惑星物質科学の芽は、今後も永続的に成長し増え続け、宇宙惑星科学の発展に貢献して行くことでしょう。先生、長い間、本当にありがとうございました。

4. 武田先生との思い出(中村 智樹)

記憶があまり定かではありませんが、図2の写真は1989年の1月で、東大鉱物学教室の新年会の集合写真だと思います。写真中央左に、当時おそらく55歳の武田先生が写っておられます。その頃の先生は多忙を極められ、精力的に研究を進めつつ、海外にも積極的に渡航され、文字通り世界をまたにかけける国際的な惑星科学者でした。先生は当時学部4年生であった私(写真中央でしゃがんでいる学生)にも、たまたに廊下ですれ違う際に軽く声をかけてくださったことを覚えています。武田先生は進化した小惑星をご専門にされ、始原的な隕石を研究していた私は先生から直接ご指導をいただいた機会は少なかったのですが、いくつか強く記憶に残っていることがあります。当時先生は、ある種の分化した小惑星は、始原的な小惑星が大規模な衝突を受け、衝撃により溶融した成分が分離することで形成されたという学説を提唱されていました。始原隕石を研究していた私は、先生から衝撃を受けた隕石内部の元素の挙動について質問を受け、自分の分析結果を説明しました。その際に先生は、隕石を分析する際は分析値ばかりに気を取られずに、背後に潜むもっと大きなプロセスを常に考えること、つまり「木を見て森を見ず」ではいけない、ということを繰り返しおっしゃられていました。

私が博士課程の学生だった頃、ヒューストンのNASA/JSCで開催されていた月惑科学会議に先生も私も参加していて、学会後ホテルの一室で数時間にわたり上述の学説について深く議論したことがありました。当時私は希ガス同位体の研究を始めており、この観点で先生の学説について検証すべきことなどを話し合いました。この貴重な機会を得ることで、私は先生の太陽系形成に関する考え方の深い部分に接することができました。時を経て、東大をご退官後、先生は所属を移して研究を継続され、はやぶ



図2: 1989年頃の東大鉱物学教室メンバー。

さ初号機のサンプルの私の解析結果についても、私の解釈を尊重しつつご自身の解釈を伝えてくださり、大変感銘をうけたことを覚えています。ありがとうございました。先生のご冥福を心よりお祈りします。

5. 固体惑星物質科学と武田先生(山口 亮)

私は1989年に大阪市立大学(現大阪公立大学)から東京大学大学院に進学し、武田研究室に配属されました。それから、博士課程卒業まで5年間指導いただきました。大学院進学の間切掛は、武田先生の執筆された「惑星の物質科学」(東京大学出版会)を読んだことでした。この本はかなり難解でしたが、当時の活発な惑星物質科学研究の状況を感じ取ることができました。

私が大学院で研究を始めた当時は、南極隕石の研究が盛んに行われている時期でした。武田先生は、アポロで回収された月試料について長年研究を重ねられており、それらの研究と南極隕石を組み合わせることで隕石の母天体形成モデルを築いておられました。特に重要な業績としては、隕石の熱履歴を読みとり、原始惑星ベスタの層状構造モデルや Planetesimal-scale-collision(微惑星破壊)モデルを提案したことが挙げられます。これらの研究は現在に至るまで大きな影響を与えました。

当時の武田先生は、出勤後すぐに研究室を出られ、本郷周辺のいくつかの喫茶店で仕事をされていたことが多かったように思います。先生は数軒の喫

茶店を順に訪れることが多く、実際にどこで仕事をされているのかは研究室の事務の方しか知りませんでした。私は何度か、その喫茶店で研究指導を受けた経験があります。驚いたことに、話している最中、先生はしばしばとうとうと眠りに落ちることがありましたが、これは話を聞いていないわけではなく、ゼミの席でも突然目を開けて鋭い質問をすることがあり、その鋭敏さを感じたことを覚えています。

武田先生は東大の定年後も研究への情熱が衰えることはなかったようです。私が博士研究員としてハワイ大学に滞在していた時に、一度先生が訪れたことがあります。セミナーをされ、質疑応答ではかなり鋭いやり取りをされていました。また、私が当時執筆していた論文で意見がまとまらず、ハワイ大学のスーパーバイザーからは「結論を両論併記するのも良いのではないか」というアドバイスを受けたことがありました。その後、武田先生はユークライトにおける短寿命放射性核種²⁶Alの痕跡を初めて発見するというNyquist博士との共同研究を行われ、さらに月の裏側が起源である月隕石から地殻の形成史に関する新しい仮説を提唱されました。後者の仮説は、月探査データの解釈にも大きな影響を与えました。

武田先生はワインの愛好家としても知られています。松江で開催された国際隕石学会(2008年)のバンケットでは、著名なソムリエを紹介していただき、ワイン選びに大変お世話になりました。大学院時代には、研究室の仲間たちと共に武田先生のご自宅で新年会に招待されたことがあり、そこでは奥様が手作りの美味しい料理を振る舞ってくださり、さらにそれぞれの料理に合うワインが出されました。つまり、料理の数だけワインが用意されました。その結果、かなりの量を飲んでしまい、かなり酔っ払ったことを覚えています。研究室のパーティーなどでワインを楽しむ機会も多く、ワインについて感想を述べるのが好きでした。ただ「美味しい」と答えるのではなく、より複雑な表現で味を説明する必要がありました。このような繊細な感覚は、固体惑星物質の研究にも必要な要素だと思われます。武田先生の多面的な興味と洞察は、科学的な業績だけでなく、日常生活においても顕著であったことがうかがえます。

武田先生は、昨年大阪公立大学で開催された鉱物科学会年会の数日前に亡くなられました。そこ



図3: ニューヨークでの国際隕石学会年会(2010年)にて、右から、武田先生、Delaney博士、筆者、Nyquist博士。Delaney博士とNyquist博士は、武田先生と長い間共同研究をされ、多くの重要な論文を執筆された。

で、偶然にも私は原始惑星の形成過程についてのレビューを行いました。武田先生から受け継いだバトンを引き継いでさらに深く研究できたことは感慨深く感じております。今後もこういった研究を引き継ぎ深めていくことが我々の使命です。ご冥福をお祈り申し上げます。

6. 「武田先生の思い出」(佐伯 和人)

私は1995年に武田弘先生より博士(理学)をいただきました。先生はその年に定年退官されたので、武田先生から直接博士号をいただいた最後の学生です。武田先生との出会いはそれから遡ること7年前、東京大学の学部2年生の時でした。東京大学には進学振り分けという制度があり、2年生の時に3年生以降の専門を選ぶ仕組みなのですが、私は子どもの頃にバイオニアやボイジャーの太陽系探査の成果にワクワクしていたので、大学入学当初は天文学を専攻しようと漠然と考えていました。しかし、大学に入ってみると天文学はあまりに狭き門、また、やっていることが太陽系探査のイメージとなにやら違うぞ?ということで決めあぐねっていたところ、武田先生の「惑星固体物質科学」の講義に出会いました。講義そのものは大変難解でしたが、日本が当時世界最大の隕石コレクションを保有しており、隕石を研究することで太陽系や惑星の進化の謎が解き明かされるらしきこ

とがわかりました。「岩石を研究することで太陽系探査ができるのか」と目から鱗が落ちた心境で、当時の地学科地質鉱物学教室に進学することを決意しました。その後、武田先生の研究室を希望して配属が決まり、博士3年生までの6年間、直接指導を仰ぐことになったのです。

武田先生からは本当に多くのことを教えていただきました。他の弟子達も語るでしょうが、先生の有名な言葉に「日本語で論文を書いても寝言と同じ」というものがあります。英語論文で国際的に発表しなければ意味がないということですが、アポロ計画のころから欧米の研究者と熾烈な競争を繰り広げ、隕石研究で確固とした国際的な信用を勝ち得た武田先生らしいお言葉です。

武田研の学生は、毎年ヒューストン(米国)で開催される、月惑星科学会議(LPSC)に投稿しなければいけないという雰囲気があり、当時の締め切りは現在の締め切りの1月10日頃より少し早かったように思いますが、武田研の学生は年末年始と投稿原稿をまとめるためにドタバタとしていました。現在は要旨のみの参加は推奨されていないので、時代という側面もありますが、多くの研究室は「出すレベルの研究ができれば出そう」という雰囲気なのに対して、「出すレベルの研究ができて当然だ」というプレッシャーの元、様々な学会に送り出していただきました。

武田先生からお叱りを受けることは少なかったですが、一度、普段穏やかな先生からすると厳しく注意されたことがありました。それは、国際学会誌に投稿中の先生の原稿のコピーをいただいて読んでいた際、うっかりと電子顕微鏡室に置き忘れて退出してしまったことです。「こういうことでアイデアが盗まれることがあるのだ」とおっしゃられました。また、投稿論文に査読者からの厳しい査読意見が返ってきたときには、査読意見の何倍もの分量の反対意見を書いて、徹底的に査読者と戦う意志を示されていました。私が学生のころには、既に、隕石の研究分野において、欧米の研究者と日本の研究者はお互いに査読しあう対等な関係となっていました。それは、武田先生やその世代の研究者の戦いの成果なのだと思います。「はやぶさ」、「かぐや」、「はやぶさ2」と日本の月惑星探査が短期間のうちに成果をあげることができたのも、技術力はもちろんとして、月科学や隕石研究



図4: 白金鉱山坑道に入る準備を整えた武田 弘先生。



図5: スティルウォーター鉱山入口にて。カメラ片手の旅行姿が懐かしい。左より、山口 亮氏、著者、武田 弘先生。

で欧米の研究者と対等に査読しあえる環境ができていたことも、大きな支えになっていたのではないのでしょうか。

ちょっと珍しいヘルメット姿の武田先生の写真を紹介しようと思います。米国モンタナ州のスティルウォーターというところにある白金・パラジウム鉱山の坑道に入ろうとしているところの写真です(図4)。この鉱山はマグマ分化の過程が地層に保存されている岩体としても有名で、月の下部地殻の岩石であ

るかも知れないノーライトという岩石を研究用に採取するために、武田先生、1年先輩の山口 亮氏、私の三人で、1993年コロラド州VAILで開催された国際隕石学会で渡米した機会に訪問しました(図5)。武田先生は月や小惑星の研究をされていたので、フィールドに出られているイメージは強くないかも知れませんが、坑道を楽しく巡る姿を拝見し、フィールドもお好きなのだなと認識した次第です。

1996年に月試料や隕石試料の研究への貢献に対してNASAから武田先生にNASA's Public Service Medalが授与されました。その米国での授賞式の帰りに私が当時留学していたフランスに立ち寄ってくださり、しばしフランスのワイン畑めぐりのドライブに同行させていただきました。後に、フランスだけでなく、イタリアやアメリカのワイン畑の地質も研究され、「ブドウ畑の自然環境」の雑誌連載やCD-ROM版の出版をされ、その研究が評価されて日本ソムリエ協会から名誉ソムリエの称号を授与されました。この研究はフィールドをめぐり、おいしいワインを味わいながら、本当に楽しくされたのではないかと想像しています。

月着陸探査がこれから続々と実施されようとしており、私も含め武田先生にご指導いただいた研究者が多数参加しています。月面フィールドの様子が明らかになっていくことを、武田先生は楽しみにされていました。武田先生に鍛えていただいた目でしっかり観測していきたいと思います。

7. 武田先生の思い出(ワイン畑のリモートセンシング)(山本 彩)

武田先生の思い出ということで、皆様、月隕石の話やユークライトの話などたくさんお寄せ頂くことになるのかと思いますが、私にとっての武田先生は「ワインが大好き」な先生であり、私に今の職場(一般財団法人 リモート・センシング技術センター)を紹介してくださった恩人、となります。

お正月だったか何かの機会に先生のお宅に教え子たちが招かれ、奥様の手料理と、それぞれの料理に合わせたワインをふるまってくくださったこと、イタリアの学会に参加したときに先生の還暦祝いもかねてシェナのレストランで牛肉のワイン煮込みとそれに合う

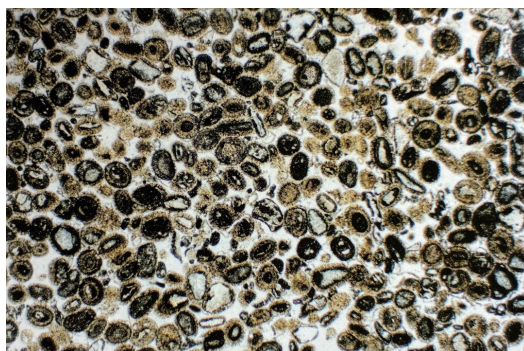


図6: ロマネコンティの畑のウーライト(横幅は約6ミリメートル).

赤ワイン(ブルネロディモンタルチーノ)をご相伴させていただいたこと、この赤ワインが少し渋くて味わうのが難しければ・・・と、ちょっとかわいらしい味のモスカータダステイ(マスカットで作った甘口微発泡ワイン)を教えてくださいましたこと、など、美味しい思い出がいっぱいです。

仕事の方では、博士課程に進んで人工衛星が観測するリモートセンシングデータを用いて地質鉱物の研究をしたい、と思っていた私に、「フランスのワイン畑を対象地域にはどうか」と勧めてくださったのが武田先生でした。先生曰く、ワイン畑は冬になるとブドウの葉が落ちて畑の土がよく見えるので、宇宙からでも土壌を研究できるのではないかと、また、ワイン畑の土壌は(ワインの世界では「テロワール」というそうですね)、ミネラル分に富んでおり、そのミネラル分の違いが衛星からわかるとワイン生産者やワインの格付け等に役に立つ情報になるのではないか、ということ、それは面白そうだと自分でも思い、フランスのブルゴーニュ地方を対象にしよう、となりました。

その後しばらくして武田先生が、別件があってフランスに出張に行ってきたのでお土産だよ、と、ブルゴーニュの何か所かのワイン畑の石を研究用のサンプルとして渡してくれました。その中には、「ロマネコンティ」、「モンラッシュ」、「サンセール」など、ワインをちょっと知ってる方なら「あれね!」って思うようなものが含まれていました。…が、残念ながらワイン本体のお土産は頂けなかったのは笑い話です。この写真が、ロマネコンティの畑の岩石薄片(ウーライト:oolite)の写真です。岩石薄片なのに、なんだか人体の血管中の赤血球の顕微鏡写真みたい、と、周りに

はえらく不評(気持ち悪い, と)な写真でした(図6)。

先生から岩石サンプルを受け取ったのと並行するように、日本が1992年に「ふよう1号」という地質調査用のセンサも積んだ地球観測衛星を打ち上げたので、そのデータを買いに、「リモート・センシング技術センター」に連れて行ってくれたのも先生でした(その時は、まさかそこに就職することになるとは思っていなかったのですが、ご縁は大事だなと感じるできごとです)。

フランスのワイン畑は、いわゆる「ケスタ地形」のところに多く存在しており、ブルゴーニュのワイン畑も、石灰岩、炭酸塩鉱物を多く含んだ地質となっていました。石灰岩や炭酸塩鉱物の分光反射特性は比較的特徴がわかりやすいので、地球観測衛星が観測したデータで、ワイン畑それぞれの地質の違いがどのくらいみえるのか、ということ「ふよう1号」の中間赤外領域の波長で観測したデータを用いて確認してみました。武田先生が一時期関わられていた雑誌の記事に、このワイン畑の衛星画像とテロワールの解説を武田先生と一緒に書かせていただいたのもこの頃ですが、残念ながら手元にその雑誌を残していないのでいまは幻の記事となっております。

今では、農業をはじめいろいろな産業に衛星データを活用しよう、という動きはベンチャー企業含め盛んに行われていますが、今思えば30年前くらいに学術的には専門外ながらそのことを思いついて勤めてくださった武田先生のことを改めて尊敬するとともに、もうお話できないことを残念に思いますが、これからも折に触れて先生のことを思い出しながら、今の業界で自分なりに頑張っていきたいと想いを込めて、この文章を終わりたいと思います。

8. 月研究に導いてくださった 武田先生(荒井 朋子)

武田先生との出会いは大学3年生の冬でした。東京大学理学部地学科での岩石学の講義で、アポロの月試料からわかった月の成り立ちの話聞き、月の石を調べる研究室に行こうと決めました。講義をされていた久城 育夫先生に相談したところ、先生のおられる岩石学の研究室では月試料は扱っていないため、隕石や月試料を研究されている鉱物学の武田

弘先生の研究室を勧められました。早速、武田先生の研究室を訪ね、進学希望を伝えたところ、快く受け入れていただきました。卒論テーマの候補は月隕石と原始的分化隕石のいずれかと言われたので、私はもちろん月隕石を選びました。できればアポロ試料をやりたいと伝えましたが、武田先生は「学部生にアポロ試料はまだ早いですよ」と冷ややかに言われ、がっかりした覚えがあります。

卒論研究で用いた月隕石は、日本の南極隕石探査隊がやまと山脈とあすか山脈で回収したYamato 793169とAsuka 881757。それ以前に回収された月隕石は全て角レキ岩だったのに対し、これらは結晶質の玄武岩だったため、世界中から注目を集めました。コンソーシアム研究が組織され、武田先生はその中心的役割を果たしておられました。武田先生はそれまでに、アポロ試料の輝石の微小構造や化学組成から岩石の熱履歴を推定する研究で大きな成果をあげられていて、同様の手法で月隕石の形成過程を理解することが卒論研究のテーマでした。

その後、武田先生の研究室で修士課程に進み、念願のアポロ試料を扱うお許しが出ました。玄武岩質の月隕石が同様のチタン濃度を持つアポロの玄武岩と比べて、熱史や結晶分化過程にどのような違いがあるかを調べるため、アポロ12号の海の玄武岩が研究試料として与えられました。武田先生の研究室にある偏光顕微鏡で12064の岩石薄片を観察しつつ、真っ黒いチタン鉄鉱の多さに驚く私を横目に、「宇宙飛行士が月面から持ち帰った試料の科学的価値や情報量は別格なんですよ」と武田先生が月サンプルリターンへの熱い思いを語っておられたのが印象的でした。

私の修士課程修了時に、武田先生は東大を退官されました。それ以降は直接ご指導いただくことはありませんでしたが、その後10年以上にわたり、人生の節目で様々な形でご指導やご支援いただきました。

博士課程で月試料研究を続けたいという私の希望を汲んでくださり、後任の宮本 正道先生と相談され、月研究が専門のPaul Warren博士(UCLA)が東大・鉱物の教授として1年間滞在されました。東大とUCLAの両方で、Warren博士から、岩石・鉱物学、地球化学の多様な視点で月科学を学べたことは幸運でした。武田先生は、UCLA留学期間中も気に

かけて下さり、「せっかくアメリカにいるなら月に関する色々な研究に触れてくるといいですよ」と言われ、先生と交流のある研究者の方に連絡を取っていただきました。私は留学期間を数か月延長し、NASA JSCではアポロ試料漬けの毎日を送り、ニューメキシコ大学では当時最先端であったSIMSでアポロ試料の鉱物中の希土類元素分析をしたり、非常に有意義で密度の濃い博士課程を送ることができました。

博士課程修了後、私は宇宙開発事業団(現在のJAXA)に入社し、しばらく惑星科学の研究から離れていましたが、ちょうどその頃、月探査衛星かぐやの開発が進んでいました。武田先生はかぐやのサイエンス検討メンバーであり、特にLISM(月面撮像／分光機)の運用計画や観測データによる論文計画の策定に深く関わっておられました。武田先生がLISMの会議でつくば宇宙センターに来られた際は、仕事を抜け出して月科学の議論に参加させてもらったこともありました。その後、私はJAXAを退職し、国立極地研究所でポスドクとして研究者のキャリアを再スタートしました。武田先生は70歳を越えておられましたが、以前と変わらずに月隕石やアポロ試料について議論をさせていただきました。

あるとき武田先生から「月隕石で変わったものがあるから見てもらえないか」と連絡がありました。それは武田先生が鑑定されたもので、Dhofar 489というオマーンの砂漠で回収された隕石でした。月の高地由来の岩石に特有の斜長石に富む岩石でしたが、少量含まれるかんらん石や輝石の組成がアポロ探査で持ち帰られた月高地の岩石とは大きく異なっていました。ちょうどその頃、アメリカの月探査衛星のクレメンタインやルナ・プロスペクタのリモセンデータから、月全球の化学組成や鉱物分布が大まかにわかり、月の表裏の高地の組成が違う可能性が示唆されつつありました。武田先生と議論を重ね、この隕石は月の裏側の高地由来の岩石と仮定すれば説明が付くのでは、という結論になり、その結果を2本の共著論文にまとめることができました。その仮説が後にかぐやのLISMデータで検証され、月の表裏の地殻組成の二分性(不均質)の理解につながっています。

とは言え、月隕石の由来地点は推定の域を出ないため、この仮説の確実な検証には、月裏側の高地からサンプルリターンが必要です。かぐや探査が成功



図7: 2012年3月のLPSCに参加された武田弘先生、宮本正道先生を囲む共同研究者や弟子、孫弟子ら。

した後、月着陸探査SELENE-Bの計画が検討されました。我々月研究者は着陸地点の議論を繰り返す行い、武田先生は月裏側高地からのサンプルリターンを切望されていました。かぐや月探査の完了(2009年6月11日)から15年の時を経て、2024年1月20日に日本の月着陸探査機SLIMが月面着陸に成功しました。これからサンプルリターンや有人探査など月探査と月科学が再び盛り上がりを見せる時代に武田先生がいらっしゃらないのは大変寂しく残念でなりません。先生の思いを引き継ぎ、月惑星科学と探査の発展と普及に微力ながら尽くしていきたいと存じます。これまで長きにわたりご指導いただき有難うございました。ご冥福を心からお祈りいたします。

最後に、武田先生の功績を称えて命名された鉱物(武田石)や小惑星(4965 Takeda)はすでにあります。月のクレータへの命名は亡くなってから1年以上経っていることが条件です。この追悼特集に寄稿したメンバーや武田研究室の卒業生と共に、月の裏側の高地のクレータに武田先生の命名を提案したいと思えます。

9. 武田先生に教えていただいたこと (大竹 真紀子)

私が最初に武田先生にお会いしたのは、月周回衛星SELENE(打ち上げられた後に「かぐや」と名付けられましたが、当時はまだその名前はありませんでした)に搭載した月面撮像／分光機器LISMのチーム会合でした。1997年だと思います。私は大学では地

球化学の教室に所属し、約38億年の年代を持つ変成岩の化学組成や酸素同位体を分析していたのですが、博士課程を終了した後、偶然かつ大きな幸運によって、地球から飛び出し、現在の宇宙航空研究開発機構(JAXA)に統合される前の宇宙開発事業団で、SELENEに搭載するLISMの開発に参加させていただいていたのでした。私にとっての武田先生の最初の印象は、観測機器の性能に関する議論の中で、聞き慣れないアポロ試料の番号とその組成、アポロの着陸点の地質情報、アポロ計画の頃の逸話が次々と、かつ淡々と飛び出す、魔法使いのような方だな、と言うものでした。なにせ、私の方は学生時代に月や惑星探査について勉強できておらず全くの素人で、SELENE(探査機の名前)とLISM(観測機器の名前)を時々混同してしまうようなありさまだったのですが、武田先生は、私のような者でも、対等な研究者として接してくださり、時には門下の学生のように教えてくださり、また、月探査の実現という同じ目標を目指す、同志として扱っていただきました。当時、学ぶべきことが多くて自分の不甲斐なさに落ち込むこともありましたが、そんな中で、同志として接して下る武田先生の存在が、とてもありがたかったのを思い出します。また、そんな武田先生とのお付き合いの中で、廣井さんや佐伯さんや、たくさんの先生の門下の研究者の皆さんとも、長らくのお付き合いを始めさせていただくことができました。本当にかげがえのない経験と財産をいただいたと思っています。

お優しい面がある一方で、研究者としての探究心はとても強く、熱く、研究に対する姿勢に関しては厳しい面もある先生でした。武田先生とお会いして多分2、3年後だったと思います。当時私は、LISMのHW開発をしながら(こちらも未経験からのスタートで、同僚の皆様方や企業の方々に日々教わりながらでした)、並行して、LISMによる観測データが得られたときにすぐに解析を始められるように、分光画像を使った地質解析手法や、解析結果からどう月の課題に迫るのか、を議論する勉強会を月1回程度行っていました。ある時、その勉強会で、これを読んでおくと良いですよ、と先生から論文を2、3紹介いただいた事がありました。で、その次の勉強会の時に武田先生から、前回紹介したあの論文は読まれましたか?と質問いただいたのです。恥ずかしながら、私

は忙しさにかまけて、どれも読んでいませんでした。その時に「大竹さんは、観測機器の開発者になることを目指しているのであって、そのデータを使った解析を行う研究者になることは目指していないのですね」と、がっかりしたようにおっしゃいました。その時私は、なぜ論文を読んでおかなかったのか、と強く反省するとともに、自分はこの先、どう言う研究者になりたいのか、今の言葉で言うとキャリアパスを考えなさい、と言う宿題をいただいたように思いました。その後も私は、勉強会の直前だけ勉強をするダメな生徒でしたが、今思えば、数々の科学成果をあげられ、かつ多くの若手研究者を見てこられた先生だからこそ、本質を見抜かれていたお言葉だったと思います。またその言葉は、今も時々私の頭の中に現れて、解析で思うような成果がだせず、めげそうになる私の後押しをしてくれます。

その後、準備の時期を経て2007年にSELENEが打ち上がり、無事に観測データを得ることができた後も、武田先生の月への情熱は失われることはありませんでした。論文執筆の議論を行う時も、いつも次は月着陸と言う強い信念のもとで次の解析テーマを考え、将来探査の検討にも常に積極的に参加されていました。当初はSELENEの後にすぐ、と思っていた月着陸までの道のりは思いのほか遠く、2007年から17年、この文章を書いている2024年1月中旬の時点で、ついに小型月着陸実証機SLIMで月面観測を目指すまで、あと1週間となりました。武田先生や、武田先生を通じて知り合えた多くの研究者の皆さん、その後、新たに同志となってくださった皆さんと目指してきた、夢の実現まであと少しです。本当は、その瞬間と一緒に喜んでいただきたかったのに、それができないのは寂しいですが、あの時のように先生にがっかりされないように、全力で観測に取り組み、科学成果につなげたいと強く思っています。

10. 武田弘先生との思い出 (長岡 央)

私が先生のもとで月隕石の研究を始めたのは、先生が東京大学をご退官後、千葉工業大学に移られてしばらくしてからで、始まりは直接的な指導学生という形ではなかったのですが、博士課程以降の分析実

験や論文執筆といった研究活動を通して、たくさんのご指導を承りました。私の中にある先生との思い出は、東京大学の大気海洋研究所のEPMA室で分析実験をご一緒させていただきながら、博士論文を執筆していた2010年から2015年ごろの記憶です。私が感じた先生の印象は、ご自身の興味のあることにはとことんアクティブに追求されるお姿でした。先生に初めてお会いしたのは、もう少し時間を遡って一緒に実験を始める少し前の2008年ごろなので今から15年以上前になります。当時、月探査衛星「かぐや」が打ち上がった後、そこに搭載されたガンマ線分光計の運用方針や取得データに関して議論するCo-I(共同研究者)会議が、早稲田大学の西早稲田キャンパスで定期的開催されていました。ガンマ線分光計の共同研究者であった先生もこの会議に津田沼から参加されていました。その頃、私はまだ大学院に上がったばかりの学生で、毎度ひりついた雰囲気会議に端っこで参加しながらびくついていた頃の記憶が蘇ります。

当時の私は、月隕石の薄片観察に非常に興味があり、会議に参加されていた先生のもとに質問しに行ったのが最初の出会いでした。物理学科出身でかなり畑違いの場所から岩石・鉱物学に興味をもったため、基礎がおそろかで初めは非常に未熟な質問をたくさんしてしまっていたことと思います。この頃の記憶で特に印象に残っているのは、EPMA実験と一緒に始める契機となったものです。私が「月隕石中に変った組織を見つけ、過去の文献と比較すると、何かのシンプレクタイト(二次変成組織)に見えるのですが」と質問に行くと、先生は顕微鏡を覗かれるやいなや「ああ、これは輝石の離溶組織ですね」と即答され、「正しいかどうか、一緒に分析もやってみましょう」とご提案いただきました。それから翌年、東京大学の大気海洋研究所に設置されている電子プローブマイクロアナライザーEPMAの共同利用での分析実験をご一緒させていただけるようになりました。

EPMAの実験が始まり(分析結果は輝石の離溶組織でした)、毎月二日間、私が博士号を取得するまでの合計四年間、海洋研で一緒に実験をさせていただきました。実験はまず朝に装置の立ち上げから始まり、真空が安定してからスタンダード試料の測定点を打ち込み、お昼ご飯に向かいます。大気海洋研

でのお昼は決まって建物一階にあるお寿司やさんにて、日替わり丼か日替わり定食を注文されていました。ご飯を食べ終わって戻ってくるとスタンダード測定が終わり、私が分析点をひたすら打ち込む作業を先生は後ろから眺めておられるのですが、段々と時間が経つにつれ寝息が聞こえてくるようになります。それでも黙々と分析点を打ち込んでいると、突然「長岡さん、そこ測りましょう、そこ」という声が飛んでくるのでよくビックとしたものです。しかし、先生が突然提案されるポイントのデータが、おもしろい結果をだすので、毎度先生の眼力の凄さを実感する実験でした。実験中には、NASAに行っておられた頃の話や、ワインの話など楽しい話もいろいろ聞かせていただきましたが、当時最新の月隕石の論文やリモートセンシングの観測結果に関する真面目な話をたくさんさせていただいたのが印象に残っています。先生は月試料関連だけでなくリモートセンシングの最新結果に関しても広くアンテナを張っておられ、まさに試料とリモートセンシングの観測結果を整合的に説明できる月のモデル構築を目指されていました。まだまだ未熟な学生である私の拙い見解や意見にも耳を傾けてくださりながら、これからの将来月探査の構想などについても熱く語っておられた姿を思い出します。今、月探査はアルテミス計画の流れから、これまでにない活発的な動きの中にいるように感じますが、今のこの状況について先生と熱いお話ができないのが非常に残念です。ここに謹んで武田先生のご冥福をお祈りいたします。

著者紹介

三河内 岳



東京大学総合研究博物館教授。東京大学理学部・同大学院理学系研究科修士課程を卒業後、同大学院助手、NASAジョンソン宇宙センター博士研究員などを経て、2018年より現職。博士(理学)。専門は、惑星物質科学・鉱物学。所属学会は、日本鉱物科学会、日本惑星科学会、アメリカ鉱物学会、国際隕石学会など。国際隕石学会では、Councilor、Nomination Committee委員長などを務め、現在はJournal of Petrologyのアソシエイトエディターを務める。

留岡 和重

神戸大学理学研究科名誉教授。東京大学理学部卒業・同大学院博士課程修了(理学博士)、アリゾナ州立大学研究員、東京大学理学部助手、神戸大学理学研究科教授、2017年より名誉教授。専門は惑星物質科学・鉱物学。所属学会は日本鉱物科学会、日本惑星科学会、国際隕石学会。

中村 智樹



東北大学大学院教授。東京大学大学院理学系研究科鉱物学専攻博士課程を中退し九州大学理学部助手。博士(理学)。NASA/JSC太陽系探査部門、独マックスプランク研究所・宇宙化学部門に留学、九州大助教授を経て2012年から現職。初期太陽系進化学研究室を主宰。はやぶさ、はやぶさ2では初期分析を担当、MMXでは科学戦略チーム「Origin of Phobos and Deimos」のPI、およびミッションオペレーションワーキングチーム主査を担当。

山口 亮

国立極地研究所准教授、南極隕石キュレーター。東京大学大学院理学系研究科鉱物学専攻博士課程を卒業後、米国ハワイ大学博士研究員、科学技術特別研究員(旧無機材質研究所)を経て、2015年より現職。博士(理学)。国際隕石学会フェロー。Meteoritics & Planetary Scienceのアソシエイトエディターを務める。

佐伯 和人



立命館大学総合科学技術研究機構教授、宇宙地球探査研究センター(ESEC)センター長。東京大学理学系研究科鉱物学教室博士課程修了。博士(理学)。ブレイズ・パスカル大学(仏)、秋田大学、大阪大学を経て、2023年4月より現職。専門は惑星地質学、鉱物学、火山学。日本惑星科学会、日本火山学会、日本鉱物科学会、国際隕石学会に所属。小型月着陸実証機SLIM搭載マルチバンドカメラ、月極域探査機LUPEX搭載近赤外画像分光装置の開発チームリーダーを務める。

山本 彩

(一財)リモート・センシング技術センター勤務。東京大学理学部地学科、東京大学大学院理学系研究科鉱物学専攻博士課程修了、博士(理学)の後、1999年より現職。

**荒井 朋子**

千葉工業大学惑星探査研究センター所長、東京大学理学部地学科卒業。同大学院理学系研究科鉱物学専攻博士課程修了。博士(理学)。日本学術振興会特別研究員DCとしてカリフォルニア大学ロサンゼルス校及びNASAジョンソン宇宙センターに留学。宇宙開発事業団(現・宇宙航空研究開発機構)開発部員、日本学術振興会特別研究員RPD、国立極地研究所研究員、東京大学総合研究博物館特任研究員、千葉工業大学惑星探査研究センター上席研究員、同主席研究員を経て、2023年4月より現職。専門は月惑星科学。日本惑星科学会、日本鉱物科学会、国際隕石学会に所属。深宇宙探査技術実証機「DESTINY+ (デスティニー・プラス)」の理学ミッション責任者を務める。

**長岡 央**

立命館大学宇宙地球探査研究センター(ESEC)准教授。早稲田大学先進理工学研究科物理学及応用物理学専攻を満期退学し、早稲田大学先進理工学部物理学科助手。博士(理学)。早稲田大学理工学術院総合研究所、宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所、国立研究開発法人理化学研究所を経て2023年から現職。月探査衛星かぐや搭載ガンマ線分光計、小型月着陸実証機SLIM搭載マルチバンドカメラ、月極域探査LUPEX搭載近赤外画像分光装置の開発チームメンバー(Co-I)を務める。

**大竹 真紀子**

会津大学教授。東北大学理学部・同大学院理学研究科博士課程を修了後、宇宙航空研究開発機構宇宙科学研究所助教等を経て、2020年より現職。博士(理学)。専門は、惑星科学・画像解析・AIによるスペクトル解析、惑星探査用観測機器開発。月周回衛星「かぐや」の観測機器開発責任者を担当後、小型月面着陸機SLIM(パイロードマネージャ)や月極域探査機LUPEX(アウトプット創出チームリード)などを担当。