

宇宙総合学研究ユニット NEWS 2019 年 4 月号



新ユニット長よりご挨拶

嶺重 慎（第 7 代宇宙総合学研究ユニット長 理学研究科教授）

1. はじめに

みなさま、はじめまして（はじめてでない方もおられますが）。この 4 月からユニット長職を拝命いたしました嶺重です。これまであまり宇宙ユニットの活動に積極的に関わってきたとは申せない私が、ユニット長という大役を仰せつかることになり恐縮いたしております。同時にその責任の重大さを痛感しています。心を入れ替えて、微力ではございますが、宇宙ユニットのさらなる活動進展に貢献したいと決意を固めた次第であります。

さて先日、特定教授の土井隆雄さんからお勧めを頂きまして JAXA 主催の国際宇宙探査シンポジウムに参加してまいりました。月を周回する有人宇宙ステーション「ゲートウェイ」などの宇宙探査プロジェクトが欧米諸国と日本などを中心に加速的に進行していること、日本においては JAXA と企業が手を組んで相当の貢献をしつつあることに大きな刺激を受けました。そういう時代にあって、宇宙ユニットのもつ大きな特徴は、活動の幅広さ（宇宙環境学、宇宙センシング学、宇宙文明学、有人宇宙学、社会連携の 5 部門と共同研究の宇宙総合学研究部門）と若い人の活力であると思います。みなで協力して世界的にみてもユニークな研究・教育活動をさらに盛り上げていくお手伝いさせていただきたいと存じます。みなさまのご指導・ご鞭撻のほどをよろしくお願い申し上げます。

さて、以下、簡単にですが、私自身のこれまでの活動紹介をさせていただきます。内容は大きく天文学研究（ブラックホール天文学がメイン）と、インクルーシブ天文学の推進があります。

2. ブラックホール天文学

ブラックホールは単独では光（電磁波）を出さないのですが（ホーキング放射とよばれる、まだとらえられていない微弱な電磁波放射を除きます）、そこに落ち込む物質（ガス）があると、そのガスがブラックホール近傍において熱せられて高温になり、X 線や電波などの強い光を出します。それを観測し、理論・シミュレーション研究と組み合わせてブラックホール近傍という超極限宇宙において何が起きているのかを探究し、ひいてはブラックホールの存在証明をし、その性質を究めようというのが、ブラックホール天文学の課題です[1]。近年は電磁波に加えてニュートリノなどの粒子や重力波も使われており、さらに観測手段がひろがってきました（図 1 参照）。

ブラックホール天文学の課題の中でも私が興味を持っているのは、ブラックホールからの光の変動や、通

常より極めて明るく光るブラックホール天体（超臨界降着天体）の物理過程の理解です。ここでは今、1 番力を入れている後者について紹介します。

かつて、ブラックホールに限らず、ガスの降着により光る天体の光度（明るさ）には限界があると思われていました。といいますのも、多量のガスが降着すると、重力エネルギーの解放により多量の光が発生し、その光が落ちてくるガスに圧力を及ぼして、降着を妨げようとするからです。たとえてみれば、小さな袋の中に、膨らませた小さなゴム風船をむりやりたくさん詰め込もうとするようなものです。ある程度は詰め込められますが、どんどん袋の中の風船の圧力に邪魔されて詰め込むのが困難になり、ついには入れられなくなります。

と書くと、不思議に思う方がいるかもしれません。「ブラックホールは底なしの穴だろう。いくらでも風船を詰め込めるじゃないか、なんで中の風船が邪魔をするのだ」と。ごもっともです。でも、ブラックホールは底なしといっても、一度に多量のガスを吸い込もうとしても限界があるのです。光の速さより早くガスを吸い込めないで、順番待ちしているガスが、自ら発する光でもって次から落ち込んできたガスを押し返すのです。

しかし、ガスが放射した多量の光を、ガスが落ち込んでくるとは違う方向に逃がしてやれば、原理的にはいくらでもガスをブラックホールへ落とし込むことができます。すなわち、ガスを円盤状に落とし込み、でてきた光を円盤面に垂直方向に逃がすことにより「超臨界降着」が可能になります。「継続的な超臨界降着は可能である」これが私たちの研究グループが放射流体力学（ガスと光の効果を両方取り入れた力学）シミュレーションで 2005 年に証明したことです。

さて、超臨界降着の大きな特徴は、円盤面に垂直方向に飛び出す光が、ついでに降着ガスの一部をはぎとって、一緒に飛び出させることです。このガス噴出のことをアウトフローとよび、なかでも光速に近い速さで飛び出すものをジェットとよびます。実際、磁場の効果も入れて丁寧に計算したところ、大量のガスが光速の 10%もの高速で飛び出すことがわかりました（図 2）。2010 年のことで、発見したのは当時京大宇宙物理学教室の大学院生であった竹内駿君です。この結果はプレスリリースされ、多くの新聞に掲載されました。修士課程終了後、彼は某企業に就職したのですが、その後も平日夜

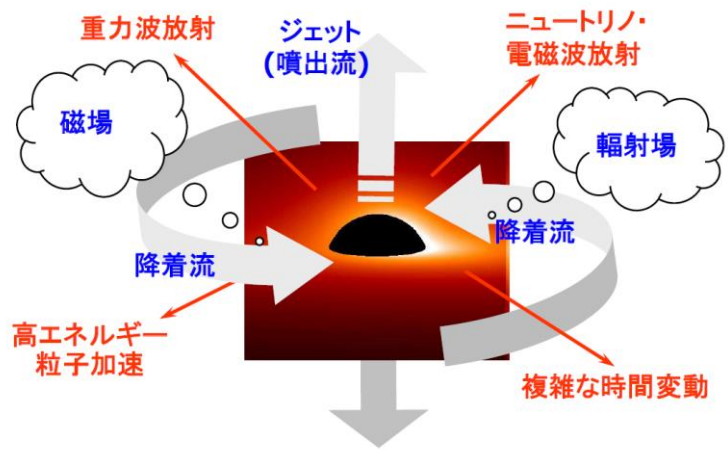


図1 ブラックホールの周囲は極限世界。ブラックホール近傍では、ガスと輻射（放射）と磁場が複雑に相互作用する結果、高エネルギー粒子が加速され、落ち込むガスの一部はジェットとして噴出する。こうして電磁波・ニュートリノ・重力波が放射され、それらは複雑な時間変動を伴う。

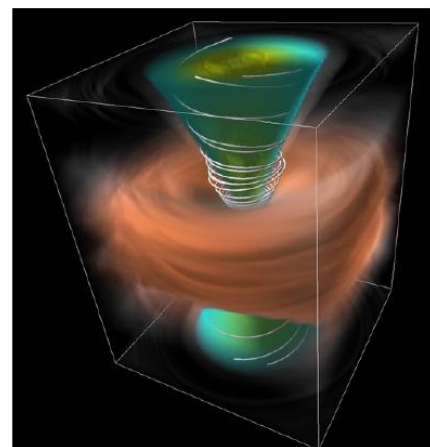


図2 超臨界降着が生み出す高速ジェットのシミュレーション画像。茶色のドーナツ状の領域は落ち込むガスを、緑色のコーン状の領域はアウトフローをそれぞれ表します。また、アウトフローをとりまく白い線は磁力線を表します。（竹内駿氏の厚意による）

と週末を利用して論文を書き続け、4年後ついに論文博士の学位を取得しました。愕くべきガッツです。元気な学生が京大にはたくさんいることを頼もしく思います。

しかしながら、シミュレーション結果だけでは信用されません。確かな観測的証拠が必要です。幸いなことに、私たちのグループが研究を始めた時期とほぼ呼応して、通常よりきわめて明るくX線で光るコンパクト天体（超高光度X線源）が次々と発見され、さらに2014年にはその一つに中性子星（中性子が主成分である、半径10kmほどの星）があることもわかり、超臨界降着が現実に行っていること、ブラックホールでなくても（表面をもつ中性子星でも）超臨界降着が可能であることが実証されました（これも私たちのグループが予言していました）。現在、大学院生らが国内外の研究者とともに、観測をより精密に再現する理論研究にいそしんでいます。

3. インクルーシブ天文学

インクルーシブ天文学（“Inclusive Astronomy”）という言葉聞いたことがある人はむしろ少ないでしょう。それもそのはず、とても新しい言葉です。その意味はいったい何か、ごく簡単に言いますと、国籍、民族、人種、ジェンダー、年齢、障害の有無・・・を問わずあらゆる人と共に推進する天文学です。このインクルーシブ天文学、国際天文学連合（IAU）が掲げる「10年戦略プラン 2020-2030」にある5つのゴールの1つになっています。その基本は“Nothing About Us Without Us!”（私たちのことを私たち抜きで決めないで！）という言葉に集約できます。これは、国連の障害者権利条約（2008年）の中心概念の一つです。

日本では障害者等も含めた天文教育・普及活動があちこちで行われています。聴覚障害者向けの字幕つきプラネタリウム投影や視覚障害者向けの教材開発などです。私たちは、2016年9月24-26日に国立天文台において、第3回ユニバーサルデザイン天文教育研究会を開催しました。（「ユニバーサルデザイン天文教育」は「インクルーシブ天文学」とほぼ同じ意味の言葉です。）シンポジウムの目的は、「障害者、天文研究者、教育者・・・共働きのネットワーク形成」及び「日本のすぐれた教材・ワークショップの国内・国際発信」にありました。興味がおありの方は集録[2]をぜひご覧下さい。海外からの出席も多くありましたが、日本においてもじつに多彩な取り組みがあることがわかります。

筆者個人的には、視覚障害者やディスレクシア（「読む」ことに困難をおぼえる方々）向けのバリアフリー学習教材の開発などを手がけてきました。オリジナルな天文の入門書を執筆し、それを元に活字版、点字・点図版、音声版、電子版を制作しました。この教材を携えて、毎年、盲学校での出前授業に出かけています。

また宇宙物理学教室の大学院生を連れて、2-3ヶ月に一度、京大病院で観望会ボランティアをしています。長期入院中の子どもにとって病院は生活の場であり遊びの場です。しかし、治療が優先され、なかなか子どもらしい生活はくれません。京大病院小児科病棟にはボランティアグループ「にこにこトマト」があり、闘病の辛さを忘れて少しでも楽しい時間が過ごせるようにと活動しています。私たちもそこに所属し、宇宙のお話、MITAKA（国立天文台が開発した、観測のリアルデータを元にした、いわば宇宙旅行ゲーム）と窓越し観望会、そして夏は移動プラネタリウム上映も行っています。

さらに私は、「天文手話検討WG」というグループをたちあげて活動しています。目的は、天文・宇宙の話題がろう児・ろう者に身近に感じられるものとする事です。「日本語の文字が読める聴覚障害者に、

なぜあえて手話？」と疑問をもつ方もおられると思います。それは、「日本手話は日本語と並び日本において広く用いられている言語であり、日本語を母語とする聴者に日本語で教材をつくるなら、手話を母語とするろう児には手話で教材をつくるのが当然だから」と考えるからです。しかし、手話による教材はほとんどありません。いっぽうで天文学研究の発展に伴い学術用語が増加しています。天文用語の手話表現が圧倒的に不足しています。確立して広めたいという思いから、既存の手話表現を整理したり、決まった表現のない用語については、新しく手話表現を障害当事者や手話通訳士さんらと共同で考案したりしています。

この天文手話検討 WG の活動成果の一部は、IAU の作業部会を通じて世界に発信されています。図 3 にそのサイトからとった画像を載せます。日本の仲間も参加しています。



図 3 世界の「天文」の手話。国が違っても「望遠鏡をのぞく」動作の表現が多い。

<https://www.iau.org/news/pressreleases/detail/iau1706/>

(<https://www.iau.org/news/pressreleases/detail/iau1706/>)

4. まとめにかえて

2019 年 2 月、私たちは一つの書物を刊行しました。『知のスイッチ〜「障害」からはじまるリベラルアーツ』（岩波書店）です。オムニバス形式の本で全 15 章、著者のおよそ半数が障害者、宇宙ユニットからは磯部洋明さん（「われわれはよき宇宙人になれるだろうか」）、塩瀬隆之さん（「弱いロボットとテクノロジーの受容」）と私（「学問は普遍的だろうか」）が寄稿しています。この本は、2017 年 9 月に開催した「京都大学バリアフリーシンポジウム 2017」がベースとなっています。その目的は「非障害者視点で構築された学問を障害者視点で問い直す」ことにありました。

「宇宙や弱いロボットと障害？ いったいどう結びつくのか」と、怪訝に思われる人がほとんどでしょう。じつはここに大きな共通点があります。何だか、わかりますか？ それは、「従来（健常者）の常識が成り立たない、当たり前が当たり前でない世界がそこに広がっている」という点です。私たちは、意識しようがしまいが、ある型にはまった考え方をしています（それを「社会観」とか「自然観」とか「人間観」とよんでいます）。それらは、「地上で」「強さ（できること）が美德とされる」「健常者中心の」社会で醸成されたものでしょう。この殻を打ち破ること、そこから新しい学問世界と人間社会が拓かれるのだと、私は思っています。

参考文献

- [1] 嶺重 慎「ブラックホール天文学」2016 年（日本評論社 新天文学ライブラリー 3）
- [2] 嶺重 慎編「ユニバーサルデザイン天文教育」天文教育 2017 年 1 月号（天文教育普及研究会）

2019 年グローバル人材育成のための派遣プログラム

第一期募集開始（～4/19）

宇宙学プログラムを受講する大学院生を対象に、海外渡航活動や国際会議の費用を支援します。海外の学会やサマースクール、セミナー実施や研究情報収集、共同研究やフィールドワーク実施に加え、国内開催の国際会議への参加なども派遣の対象です。2019 年度第一期は 5 月 10 日以降に開始し 2020 年 2 月末日までに終了する出張計画を募集します。奮ってご応募ください。募集要項と申請書のダウンロードは宇宙ユニット HP（<https://www.ussu.kyoto-u.ac.jp/>）からお願いします。

ANA 羽田整備工場見学報告

2019 年 3 月 15 日(金)に ANA 羽田整備工場見学が実施され、合計 10 名の学生と宇宙ユニットスタッフ 3 名が参加しました。ANA の航空機整備についての紹介の後、格納庫内を見学し、間近にボーイング 787 を見る事ができました。引き続き、ANA の職員の方々を集めた講演会が実施されました。第一部では ANA グループの宇宙事業化プロジェクトが紹介され、第二部では土井隆雄特定教授からこれまでの有人宇宙活動について特にチームワークの大切さについての話がありました。参加者は実際に近くで見る機体に興奮しながら航空機の説明に熱心に聞き入り、有意義な見学会となりました。（伊藤梓 記）



第 14 回宇宙学セミナー開催報告

2019 年 3 月 27 日に、第 14 回宇宙学セミナーが開催されました。今回のセミナーでは、宇宙ユニットがグローバル派遣として支援した学生 3 名が、派遣成果を報告いたしました。ミャンマーでのフィールドワークや学会参加報告など、国際色豊かな活動報告でした。今後も宇宙ユニットでは、様々な学生の意欲的な活動を支援していく予定です。（寺田昌弘 記）

第 2 回宇宙木材ワークショップ開催報告

第 2 回宇宙木材ワークショップ（第 15 回宇宙学セミナー）が 2019 年 3 月 29 日に開催されました。宇宙木材利用研究会は、平成 28 年度京都大学融合チームプログラム SPIRITS の支援を受けて、木材の宇宙利用の可能性を探る実験研究を進めてきました。今回のワークショップでは、第一部での SPIRITS の実験結果や木造人工衛星の提案、第二部での宇宙での植物・樹木の育成に関する発

表、引き続いて、第三部での木材関連会社から企業活動の紹介がありました。最後に参加者全員で、「木材産業の宇宙展開を探る」と題して、宇宙木材産業の構築について活発な議論を行い、宇宙木材コンソーシアムを作ろうという提案が出されました。宇宙木材利用研究会は、本年度も木材の宇宙利用をめざして、いろいろな研究教育活動を展開していく予定です。（土井隆雄 記）

全学共通科目「宇宙総合学」のご案内

学部1・2回生を主対象として、リレー講義形式の全学共通科目「宇宙総合学」を**火曜日4限**（14:45～16:15）に**共南11**にて開講します。本講義では、宇宙総合学と有人宇宙学の入門的基礎講義を実施し、人類の宇宙進出に関わる問題が、狭い意味での理学・工学系のみならず、生物学・医学、さらには人文社会系の問題にまで幅広く関係していることを理解します。そして、これらの分野横断的な宇宙進出に関わる諸問題を解決するには、何を学び、何を必要とする必要があるか、自分の頭で考える能力を養います。詳細は Web ページ（<http://www.uss.kyotou.ac.jp/index.html>）をご覧ください。

月日	講義名	担当教員
4/9	人類の宇宙進出と宇宙天気予報	柴田一成（理学研究科） 浅井歩（理学研究科） 磯部洋明（京都市立芸大）
4/16	太陽系探査	宮本英昭（東大）
4/23	宇宙農業	保尊隆享（大阪市大）
5/14	宇宙人類学	木村大治（アジアアフリカ研究センター）
5/21	宇宙医学	石原昭彦（人間環境学研究科）
5/28	宇宙ビジネス	浅田正一郎（日本宇宙フォーラム）
6/4	人類の宇宙観の変遷	伊藤和行（文学研究科）
6/11	宇宙倫理学	伊勢田哲治（文学研究科）
6/20	宇宙飛翔体工学	稲谷芳文（宇宙航空研究開発機構）
6/25	宇宙落語	林家染二（噺家）
7/2	宇宙霊長類学	湯本貴和（霊長類研究所）
7/9	宇宙政策	中野不二男（宇宙総合学研究ユニット）
7/16	宇宙システム制御	藤本健治（工学研究科）

第 1 回スペースキャンプ特集

- Biosphere 2 におけるスペースキャンプ実施報告 -

寺田昌弘 特定准教授

(学際融合教育研究推進センター 宇宙総合学研究ユニット)

宇宙ユニット NEWS2019 年 3 月号でアリゾナ大学 Biosphere 2 におけるスペースキャンプ実施について概要を掲載しましたが、本稿ではその内容についてさらに詳細に報告します。

京都大学「全学経費」の支援を受けて、2019 年 2 月 19 日から 21 日にかけて、アリゾナ大学の Biosphere 2 (B2) で第 1 回スペースキャンプ (Space Camp at Biosphere 2: SCB2) が実施されました。B2 は巨大な密閉空間にある人工生態系であり、人類が地球外の惑星や宇宙空間に移住した際に生存できるかを研究するための施設として建設されました (図 1)。そのため B2 内には熱帯雨林、海洋、湿地帯、砂漠などの環境が再現されています。SCB2 では、将来の有人宇宙ミッションや火星移住などを行った際に活躍できる人材育成を目指して、B2 の環境を用いた講義や実習を通じて日米の学生を対象に学習の機会を提供しました。今回は京都大学からは 3 名の学生：三木健司さん (農学研究科 D2)、星之内菜生さん (工学部 B3)、坂東日菜さん (理学部 B2)、アリゾナ大学からは 2 名の学生：Cathryn Sephus & Alexis Cazares、が参加しました。



図 1: B2 の外観

チーム構成：

有人宇宙ミッションでは、チームワークが重要です。そのため SBC2 では日米の学生が混在した 2 チームに分かれて過ごしました。講義や実習中はチーム内で行動することはもちろんですが、同性のチームメイトは同室で就寝し、チーム内でチームワークを築いていきました。

チーム A: 三木さん・坂東さん・Alexus、チーム B: 星之内さん・Cathryn

講義・実習：

<1 日目>

- ◆ Introduction/Tour of Biosphere 2 by Dr. John Adams
- ◆ Modeling CO2 Environment by Mr. Kai Stasts
- ◆ Lecture 1: Initiation of SCB2/Human Space Activities by Dr. Takao Doi
- ◆ Lecture 2: Health Check in Closure & Space Environment by Dr. Masahiro Terada
- ◆ Lecture 3: Hydrological Cycle & Planetary Environment by Dr. Yosuke Yamashiki
- ◆ Lecture 4: Astronomical Observation by Dr. Takao Doi and Mr. Kenji Miki
- ◆ Lecture 5: ExoKyoto/Outer Planet by Dr. Yosuke Yamashiki

まず、B2 の副所長である Dr. John Adams より、B2 のこれまでの歴史などの紹介がありました（図 2）。その後、B2 の内部構造や施設について簡単な見学ツアーを行っていただきました。Mr. Kai Stasts からは、二酸化炭素の循環システムについてシミュレーションモデルの紹介があり、B2 内部の二酸化炭素管理についても学びました。京都大学土井隆雄特定教授からは、今回の SCB2 の目的とその内容について説明があり、宇宙飛行士として 2 回宇宙ミッションを実施した経験を説明していただいた。私（京大・寺田昌弘）からは、B2 施設を閉鎖環境と見立てた場合、閉鎖系集団生活における精神心理的要素の重要性について説明し、今回の SBC2 で実施する精神モニターの方法について解説しました。京都大学山敷庸亮教授からは、惑星における水循環システムや水の重要性について説明していただき、地球以外の他惑星・衛星における水環境について解説していただきました。その後、土井隆雄教授と三木さんより、望遠鏡を用いた系外惑星観測の原理と解析手法（高度曲線計算）について解説していただきました。山敷教授が開発された惑星のシミュレーションソフトである ExKyoto の説明と、それを用いた系外惑星のシミュレーション解析について学びました。



図 2： Dr. John Adams による講義風景。

<2日目>

- ◆ Lecture 6: Ocean Environment by Ms. Katie Morgan
- ◆ Orientation of the B2 Ocean by Ms. Katie Morgan
- ◆ Exercise 1: Ocean Environment by Ms. Katie Morgan
- ◆ Exercise 2: Astronomy/ExoKyoto by Dr. Takao Doi & Mr. Kenji Miki, Dr. Yosuke Yamashiki & Hina Bando

B2の海洋施設の管理をしているMs. Katie MorganよりB2 海洋環境についての説明、当初導入したサンゴへの影響、二酸化炭素濃度などについて学びました。その後、海洋設備の見学をしました。午後より、塩水に溶解する二酸化炭素の量とpH との関係を実際に学生たちが作業することにより学び、B2 の海洋施設のpH もボートに乗って測定しました（図3）。このことから学生たちは海洋と二酸化炭素濃度の循環機構を学ぶことができました。1日目に続き、ExoKyotoの使い方を継続して学びました。また、学生たちはB2施設の各場所における放射線濃度を簡易モニター計で計測し、ExoKyotoで計算した系外惑星の放射線量などと比較しました。

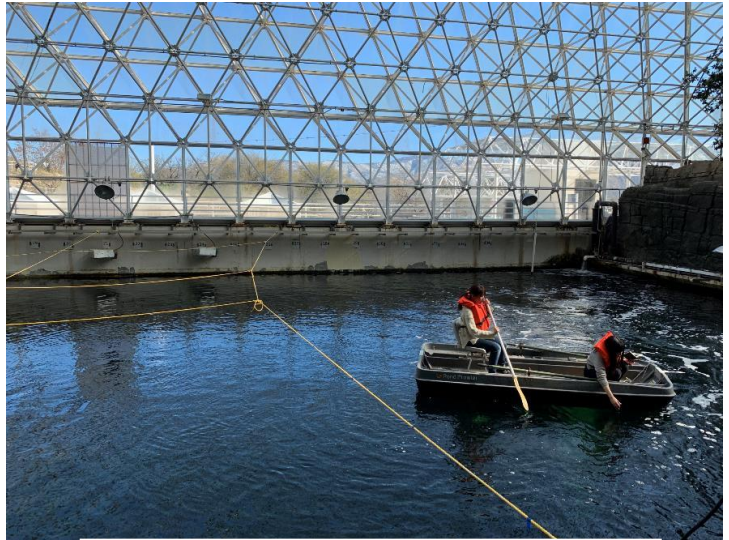


図 3 : B2 の海洋施設において、ボートに乗ってpHを測定している様子。

<3日目>

- ◆ Lecture 7: Tropical Forest by Mr. Jason Deleeuw
- ◆ Orientation of the B2 Tropical Forest by Mr. Jason Deleeuw
- ◆ Lecture 8: Desert Environment and Biome by Dr. Kyle Rine & Dr. John Adams
- ◆ Orientation of the B2 Desert by Dr. Kyle Rine

B2の熱帯雨林施設の管理をしているMr. Jason DeleeuwよりB2内の熱帯雨林生態系の説明をしていただき、熱帯雨林施設の見学を行いました（図4）。Dr. Kyle Rineより火星における砂漠環境について説明をもらい、その後、B2の砂漠設備へ移動し、測定器を用いた粉塵の測定方法について学びました。

この日は、第1回SCB2の最終日ということで学生はチームごとに成果発表を行いました。発表前の1時間でデータを解析し、発表準備をするという大変過酷な状況でしたが、チームワークを活かして、そ

それぞれのチームは素晴らしい成果報告をしてくれました。

第 1 回 SCB2 の成果：

今回の SCB2 は、宇宙ユニットとしても国際的なスペースキャンプを行う最初の試みでした。国際協力の下、日米の学生に効率よく B2 の環境を用いた宇宙ミッションのレクチャーを準備しました。2 泊 3 日という非常に短時間のスペースキャンプでしたが、学生同士はコミュニケーションを深め、講義で学んだことの復習はデータ解析を行っていました。海洋施設



図 4: Mr. Jason Deleeuw が B2 の森林施設を案内している様子。

での実習経験や、実際に B2 各所での放射線測定、キャンプ中のストレス評価なども興味深く行い、意義ある講義・実習が提供できたかと思います。実際の有人宇宙ミッションでも、異なる国々の宇宙飛行士が協力して実施していくため、今回の SCB2 でも学生は国際協力の重要性や、宇宙ミッションでの必要な知識などを学ぶことができたと思います。宇宙ユニットとしても、このような取り組みを今後も続けていきたいと考えています。

次回に向けて（第 2 回 SCB2 参加者募集について）：

第 2 回 SCB2 として、2019 年 8 月 5～10 日に B2 においてスペースキャンプを行います。この SCB2 では、第 1 回目よりも長期の 5 泊 6 日で、総勢 10 名（京大生 5 名、アリゾナ大生 5 名）で実施する予定です。宇宙ユニットではこの**第 2 回 SCB2 に参加する学生 5 名を募集**しています（**募集締め切り：2019 年 4 月 30 日**）。募集情報は HP（<https://www.moon.kyoto/> or <https://www.usss.kyoto-u.ac.jp/>）に掲載します。国際交流を通じて、積極的に B2 で宇宙ミッションについて学ぶ意欲のある学生さんの応募をお待ちしています。

京都大学 宇宙総合学研究ユニット
<http://www.usss.kyoto-u.ac.jp/>

〒606-8502 京都市左京区北白川追分町 吉田キャンパス北部構内 北部総合教育研究棟 403 号室

編集人：伊藤梓

Tel&Fax: 075-753-9665 Email: usss@kwasan.kyoto-u.ac.jp