

SIC 有人宇宙学研究センター Newsletter 2022年9月号 No.9

7月の活動

ILAS 有人宇宙学実習の紹介 1

有人宇宙学実習は、京都大学既存の教育枠組み：ILAS セミナーを使うことによって提供される有人宇宙ミッションを模擬した体験学習である。4 種類の異なった課題【天体観測実習】・【模擬微小重力実験】・【閉鎖環境実習】・【宇宙無線通信実験】を計 6 日間かけて体験し、分野横断型学習から有人宇宙活動に関する包括的な視点と基礎知識を身につけることを目的としている。

有人宇宙学実習は、2017 年から 2019 年まで京都大学花山天文台にて、2020 年と 2021 年はコロナ感染症対策のために京都大学吉田キャンパスで実施された。今年度は 2022 年 9 月 5 日から 11 日まで京都大学飛騨天文台で実施される予定である。参加学生は学部 1 回生が主体であるが、学部 2 回生から大学院生まで参加可能であり、計 9 名の学生が参加する。参加学生は、3 名をひとつの班として 6 日間を過ごすことにより、共同生活の中でチームワーク（小社会）がどのように形成されていくのかを体験することになる。

実際の有人宇宙ミッションでは、宇宙空間という特殊閉鎖環境の中で決められた時間内に数多くの異なった仕事をチームで作業することが要求される。そこで本実習では有人宇宙学実習用の特別な時間割（図 1）を用意する。この時間割の特徴は、毎日ふたつ以上の課題に取り組みなければいけないこと、そして、個々の課題が講義 -> 実験・観察 -> 解析・考察によって段階的に深めていけるように作られていることである。有人宇宙活動に興味のある学生の皆さんは、是非、有人宇宙学実習に参加し、人類が宇宙に展開する意義を自らの体験の中から見つけて欲しい。(土井隆雄 記)

有人宇宙学実習 2022/9/5-9/11

	9/5 (月)	9/6 (火)	9/7 (水)	9/8 (木)	9/9 (金)	9/10 (土)	9/11 (日)
7:00		起床・心機整理	起床・心機整理	起床・心機整理	起床・心機整理	起床・心機整理	起床・心機整理
8:00	集合・荷物整理 出発（約134分乗車）	朝食	朝食	朝食	朝食	朝食	朝食
9:00		自由時間	講義1 (有人宇宙学実習/土井)	講義6 (宇宙科学/土井)	模擬微小重力実験1 (観測)	有人宇宙学実習4 (観測)	デブリーフィング
10:00							
11:00	移動（約31分乗車） 12時24分登山駅へ、 バス移動待合室へ						
12:00		夕食	夕食	夕食	夕食	夕食	夕食
13:00							
14:00		講義2 (閉鎖環境実習/土井)	講義4 (宇宙科学/土井)				土井特別講義
15:00	有人宇宙学実習センター	講義3 (微小重力実験/土井)	講義5 (無線通信/土井)	模擬微小重力実験3 (観測)	ハイキング (加藤天文台/加藤)	実習成果のまとめ	
16:00							移動（バス停留へは約15分、 13時33分登山駅へ、19時17分 バス乗車）
17:00	自由時間	自由時間	自由時間		自由時間	自由時間	
18:00	夕食	夕食	夕食	夕食	夕食	夕食	
19:00	自由時間	自由時間	自由時間	自由時間	自由時間	自由時間	模擬微小重力
20:00							
21:00	当日リフレクション	天体観測実習・宇宙無線通信 実験・ディスカッション	天体観測実習・宇宙無線通信 実験・ディスカッション	自由時間	天体観測実習・宇宙無線通信 実験・ディスカッション	打ち上げ会議	
22:00	心機整理・自由時間	心機整理・自由時間	心機整理・自由時間	心機整理・自由時間	心機整理・自由時間	心機整理・自由時間	
23:00	就寝	就寝	就寝	就寝	就寝	就寝	

図 1 2022 年度 ILAS 有人宇宙学実習時間割

8月の活動

国立民俗博物館見学報告

京都大学タイタン小社会研究会では、土星の第6衛星タイタンにおける小社会の設計を検討している。人類がタイタンに移住し、生活することを想定した場合、タイタンは地球とは異なる運行周期を持つため、時間や暦を新たに作成する必要性が出てくるのではないかと考えた。文化人類学的視点から、暦は人間の生活や行動様式、社会にとって重要な働きを持つものであると言える。そこで京都大学タイタン小社会研究会の3名は、2022年8月11日に大阪府枚方市の国立民俗博物館の見学を行った。国立民俗博物館は1977年に開館した、民俗学、文化人類学に関する資料を保存・展示している博物館である。

今回の訪問では、特にメキシコ中央部において15世紀から16世紀にかけて栄えた王国であるアステカにおいては、現生は第5の太陽の時代であり、一年は13と20を基本単位として最小公倍数の260日を一年とする、大地と宇宙の荒廃を踏まえた暦が使用されていたことなどを学び、社会風習と暦の形成の歴史について調査することが出来た。

今回の見学を踏まえ、今後はタイタンをはじめ人類が宇宙において恒常的に居住する文化圏を構築した時にどのような暦の下で暮らしていくことになるのかを考察していきたい。(金田伊代 松岡勇樹 記)



図 (左) アステカの暦石 (右) 国立民俗博物館の前で

2022年度京カレッジリカレント教育プログラム

「宇宙移住の現在・未来について」開催報告

2022年5月から8月にかけて開催された2022年度京カレッジ現在の教養講座のシリーズ「宇宙移住の現在・未来について」において、第七回が8月4日、第八回が8月18日に開催されました。第七回では青木節子慶應大学教授が、国際法と比較した現在の宇宙法の枠組みと、今後の宇宙開発をめぐる宇宙資源の取り扱いと各国の解釈、そしてその国際的情勢について詳しく解説をされました。

第八回では、山敷 SIC 有人宇宙学研究センター長が、これまで開催された連続講義の役割と概要と講師の紹介、そして火星への移住を例にした現状のさまざまな技術概念と問題点について講演を行いました。本シリーズは、来年度、さらなる発展したテーマにての継続開催を予定しており、詳しい内容等確定しましたらアナウンスさせていただきます。（山敷庸亮 記）



2022年度京カレッジ
リカレント教育プログラム

現代の教養講座
宇宙移住の
現在・未来について

講座概要

「大人だって学びたい!」という、社会人の学び直しニーズに応えるべく、大学コンソーシアム京都ではこの度、「現代の教養講座」を開講する運びとなりました。今年度は「宇宙移住の現在・未来について」と題し、現在世界中が注目する有人宇宙飛行や、月や火星への移住に関する最先端の知見を、食や住などの生存に関する視点から、科学技術や医療や法律まで幅広い視点で学びます。宇宙を知り、あらためて地球環境の大切さを知る。そして地球環境保全や来るべき宇宙時代に、私達に何ができるかを、参加者全員で考えたいと思います。

※画像はイメージです。

9月以降の予定の紹介

DMG MORI presents 火星に住もう! Season2

SIC 有人宇宙学研究センターが協力する市民講座のお知らせです。前期、土井宇宙飛行士が中心になった講演会「学ント」「火星に住もう」の Session 2 が以下のように開催される予定です。前期参加された方も、聞き逃された方もぜひふるってご参加ください。

DMG MORI presents 火星に住もう! Season2

教室&オンデマンド

京都大学の「SIC 有人宇宙学研究センター」で活躍する講師陣による人気講座「火星に住もう!」は10月からSeason2に突入します。今シーズンには、宇宙飛行士の山崎直子さんらが登場。人類の宇宙進出に向けた研究開発や課題について、最前線の専門家たちがリレー講座します。計6回のテーマは、宇宙ビジネス、宇宙医学、宇宙法、宇宙人類学などと多彩にわたり、宇宙旅行に出掛けてみたい人、宇宙に関する仕事に興味がある人にも役立つ最新情報を解説します。

【受講料】1回1,000円（見逃し配信付き）

【会場】読売京都ビル4階会議室（京都市中京区烏丸通六角下ル七観音町630）

【日時】第3日曜（変則有り）13：00～14：30

10月30日（日）第1部「宇宙から地球を知る」山崎直子・宇宙飛行士、

SIC 有人宇宙学研究センター特任准教授（Zoom 出演）

第2部「地球を学んで宇宙に行こう」

山敷庸亮・京都大学大学院総合生存学館教授、専攻長（教室）

11月20日（日）「宇宙ビジネス最前線」浅田正一郎・

Synspective 執行役員ビジネス開発部ゼネラルマネージャー

12月18日（日）「人は宇宙環境でどうなるのか～宇宙医学研究の紹介～」

寺田昌弘・京都大学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特定准教授

1月15日（日）「天体での人間活動に適用される国際宇宙法を考える」

青木節子・慶応義塾大学大学院法務研究科教授

2月19日（日）「人類学から見た人類の宇宙進出」

岡田浩樹・神戸大学大学院国際文化学研究科教授

3月19日（日）「生命を宿す天体の条件を探る」

佐々木貴教・京都大学大学院理学研究科、宇宙物理学教室助教

備考 プログラムは変更になる可能性があります。ご了承ください

【詳細・お申し込み】

ホームページ <https://www.oybc.co.jp/mananto> をご覧ください

【お問い合わせ】

TEL 06-6361-3325（受付時間 平日 10：00～17：00）

【メール】

mananto@oybc.co.jp

【協賛】DMG MORI

LignoSat 紹介

木造人工衛星学生開発チーム

MISSION 班

9回目となる LignoSat 紹介、今月号は Mission 班の活動を紹介します。我々のメインミッションはひずみ測定です。今回は、ひずみとは何か、ひずみ測定の原理、の二つについてご紹介します。

◎ひずみとは何か

物体に応力がかかったとき、断面寸法は減少（増加）し、長さは増加（減少）する。その際の変形量を λ [m]、物質の元の長さを l [m] とすると、ひずみ ε は、

$$\varepsilon = \frac{\lambda}{l}$$

で表される。これは当然無次元量である。また、物質の熱膨張係数も考慮し、温度変化による物質の変化量を実測の変化量からひく。

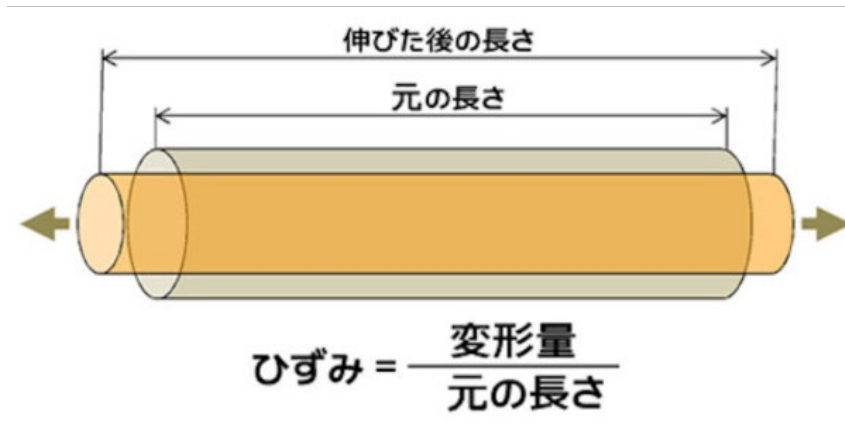


図1 ひずみとは何か

出典：栗崎 彰 連載「仕事にちゃんと役立つ材料力学」2008年掲載

◎ひずみ測定の原理

金属抵抗の抵抗値は長さ l [mm] に比例し、断面積 S [m] に反比例する。抵抗率を ρ [$\Omega \cdot m$] とすると、抵抗値 R [Ω] は、

$$R = \frac{\rho l}{S}$$

と表せる。ひずみゲージには金属抵抗線がついており（図2 二軸ひずみゲージ）木材にこのひずみゲージを貼ることで、木材の変形とともに金属も変形し金属の抵抗値が変化する。ただ、この抵抗値変化は微小である。そこで、この微小な抵抗値変化を正確に測定するために、図3のようなホイートストンブリッジ回路（以下ブリッジ回路）を使用する。

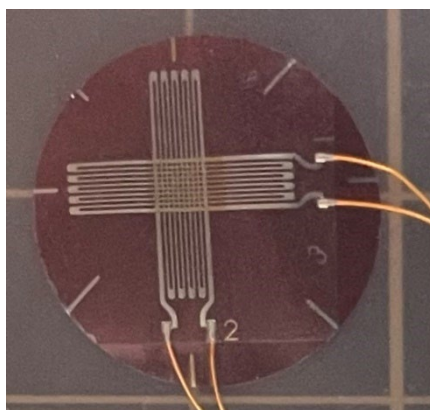


図2 二軸ひずみゲージ

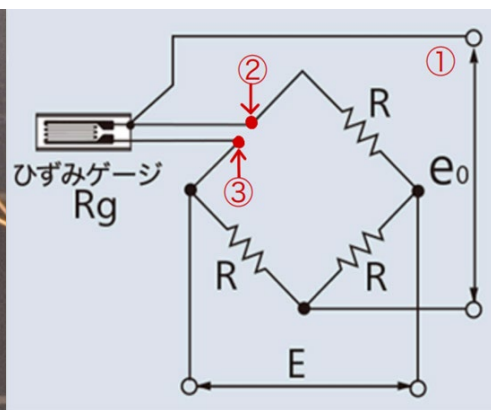


図3 ブリッジ回路

ブリッジ回路の使用により、ひずみ ε に比例する出力電圧を得られる。その仕組みは以下である。

抵抗の変化率 $\frac{\Delta R}{R}$ は、

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{\Delta \rho}{\rho} + \frac{\Delta l}{l} - \frac{\Delta s}{s}$$

となり、 $\Delta \rho / \Delta S$ はそれぞれの変化分を表す。 $\frac{\Delta l}{l}$ を ε （ひずみ）とおくと、ゲージ率 K （ひずみに対する抵

抗変化率) は、

$$K = \frac{\Delta R}{R} = 1 + 2\nu + \frac{\Delta\rho}{\rho}$$

となる。ここで、 ν はポアソン比で、 $\frac{\Delta s}{s} = -2\nu\varepsilon$ である。

ここで、 Δe は、最初に平衡状態 $R_1 R_3 = R_2 R_4$ ならば、

$$\Delta e = \frac{a}{(1+a)^2} \left\{ \frac{\Delta R_1}{R_1} - \frac{\Delta R_2}{R_2} + \frac{\Delta R_3}{R_3} - \frac{\Delta R_4}{R_4} \right\}$$
$$a = \frac{R_2}{R_1} = \frac{R_3}{R_4}$$

となる。ここで、 $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R$ とし、 R_3 をひずみゲージとすると、 $\Delta R_3 = \Delta R$ 、 $\Delta R_1 = \Delta R_2 = \Delta R_4 = 0$ であるから、 Δe は、

$$\Delta e = \frac{1}{4} \frac{\Delta R}{R} E = \frac{1}{4} K \varepsilon E$$

となり、ひずみ ε に比例する出力電圧が得られる。しかし、この出力電圧も小さいため、アンプを用いて増圧する。このような仕組みで、我々は木造構体のひずみ測定を行う。

低圧下樹木育成プロジェクト紹介

CO₂ 計測システム

今月は低圧下樹木育成実験システムにおける二酸化炭素 (CO₂) 計測システムについて説明しよう。現在、大気中に含まれる CO₂ は約 400ppm 程度である。樹木は、光合成により CO₂ と水からブドウ糖と水と酸素を作り出している： $6\text{CO}_2 + 12\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 + 6\text{H}_2\text{O} + 6\text{O}_2$ 。もちろん、樹木は呼吸もしているので、酸素を吸い CO₂ を排出している。このため、樹木育成チャンバー内の CO₂ 濃度は常に変動している。さらに、昼間に光合成が活発になると樹木育成チャンバー内の CO₂ が足りなくなるために、新たに CO₂ を外部から供給する必要がある。

CO₂ センサーは、このように樹木育成チャンバー内の CO₂ 濃度の測定ばかりでなく、CO₂ を外部から供給するための電磁弁の開閉信号を出す役割も担っている。現在、私たちが使っているのは、SenseAir 社製 K30 EQC である (図 1)。このセンサーは、低価格であるが 5000ppm まで ±30ppm の精度で CO₂ 濃度を測定可能である。測定方式は非分散型赤外線吸収法 (NDIR) であり、大気中の CO₂ 分子により吸収される赤外線量から CO₂ 分子濃度を測定する。原理的に低圧下でも CO₂ 濃度の計測に使えるはずであるが、低圧下での使用は保証されていない。



図 1 CO₂ センサー K30 EQC (SenseAir 社)

低圧下で K30 EQC が使えるのかどうか、また、その精度を求めめるために較正実験が不可欠である。図 2 に K30 EQC の較正実験の結果を示す。ここでは、較正実験は 2 回行われている。1 回目は大気圧下で約 1200ppm の CO₂ 濃度を与え、そこから 0.1 気圧ごとに気圧を下げ、CO₂ 濃度値を測る。2 回目は大気圧下で約 2100ppm の CO₂ 濃度を与え、そこから気圧を下げ、同様に CO₂ 濃度を測定している。この結果を見ると、K30 EQC はデータのバラツキはあるが、気圧が低下しても線型性を保っていることがわかる。

較正実験の結果から K30 EQC が低圧下でも 0.1 気圧程度まで使用可能であることが分かった。実際の樹木育成実験に使用してみると、0.3 気圧程度まで樹木の呼吸や光合成による周期的な CO₂ 濃度の変化を捉えることができている。しかしながら、0.2 気圧以下になると、周期的な CO₂ 濃度変化を捉えることができなくなる。これは K30 EQC の測定限界なのかそれとも他の要因によるものなのか、現在、検討を行っているところである。(土井隆雄 記)

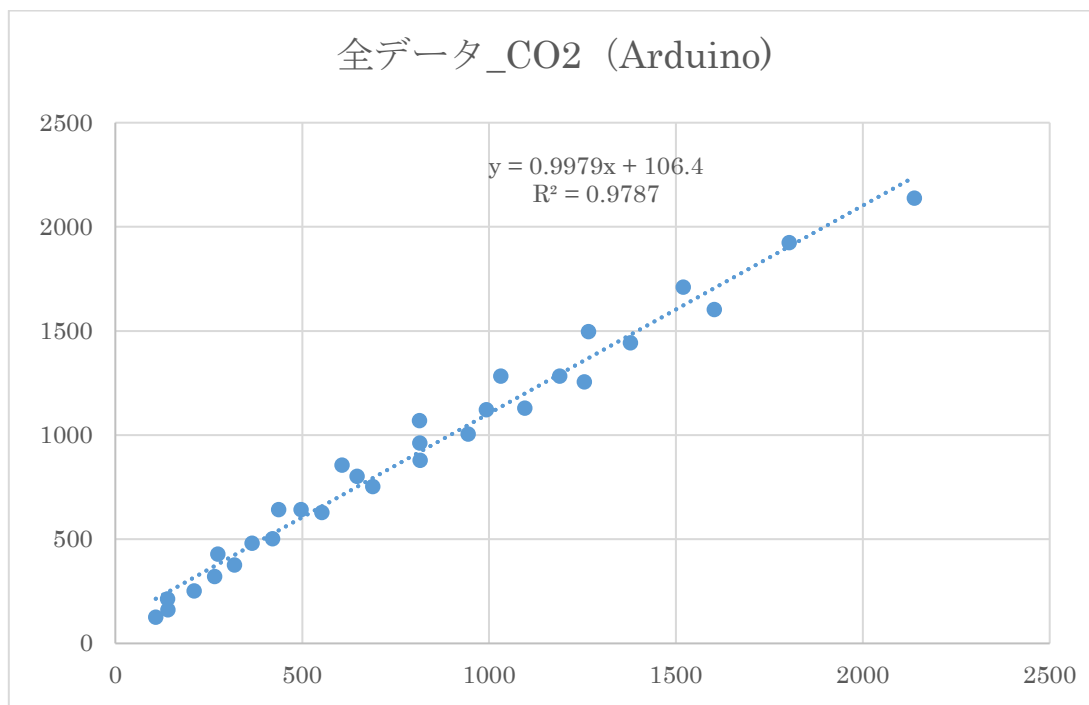


図 2 K30 EQC 較正実験結果

研究紹介

火星でも sustainable

池田武文 宇宙木材研究室研究員、樹木育成チーム

皆さんは“SDGs”という用語を毎日のようにどこかで見聞きしています。SDGs（持続可能な開発目標）は 2015 年の国連サミットで採択された国際目標で、この前段として MDGs（ミレニアム開発目標）が 2000 年に国連で採択されています。これら二つの目標を掲げ 30 年に渡って地球の開発に関する国際的取り組みが行われているのです。ご存知の通り SDGs の S は sustainable（持続可能な）

の S で、この用語も様々な場面で使われ、すっかり重要なキーワードとして人々の間に定着しているのではないのでしょうか。

樹木育成チームでは火星での樹木育成に関する基礎研究を進めています。その先には火星で作られる小規模な人工生態系である閉鎖生態系生命維持システム（Closed ecological life support system, CELSS）の主役として樹木が位置付けられることを見据えています。火星で実施されるこのような取り組みも当然 sustainable であるべきです。sustainable であるためにはどのような取り組み方が必要であるかを議論、決定しなければならない時がやがておとずれるでしょう。その時の参考事例としてすでに策定されている「持続可能な森林管理」を以下に紹介します。

Sustainable という用語はいつから国際的に使われるようになったかご存知でしょうか。実は、森林管理の場面で使われていたのです。以下にその経過と概要を説明します。

1992 年ブラジルのリオデジャネイロにおいて「環境と開発に関する国際会議」いわゆる「地球サミット」が開催されました。世界の国々、地域が一同に会したこの会議は、将来を見据えた環境と開発に関する取り組みを決めた画期的なものでした。森林は地球環境や生物多様性のみならず持続可能な資源の供給地として地球にとって非常に重要な構成要素です。この会議で、「森林原則声明」と「アジェンダ 21（森林減少への挑戦）が採択され、世界の森林資源の保全と造成に向けて各国が「持続可能な森林管理（Sustainable Forest Management）」を目指すことになりました。「持続可能な森林管理」の森林とは、単なる樹木の集団ではなく、システムとしての森林生態系（Forest Ecosystem）を意味します。この会議で、森林生態系から人類が将来に渡って持続的に恵みを得ることを目指す森林管理とはどうあるべきかを議論するために必要な道筋（プロセスと呼びます）を取りまとめました。取りまとめには地上を覆う森林のうち、類似する森林ごとに地域を分け、日本が加わる温帯林・北方林諸国が関わるプロセスは、モントリオール・プロセス（温帯林等の保全と持続可能な管理の基準・指標）と呼ばれています。目指す森林管理を達成するため、その達成の程度を評価するための基準と指標が定められました。基準（criterion）とは、必ず議論の対象となる分野または側面であり、指標（indicator）とは、基準の側面を計測するもので、量的または質的に計測または記述が可能であり、かつ定期的に計測することにより変化を示すものです。一つの基準には複数の指標で示されます。

モントリオール・プロセスでは、7つの基準（1. 生物多様性の保全、2. 森林生産力の維持、3. 森林生態系の健全性と活力の維持、4. 水土の保全、5. 炭素循環への森林の寄与、6. 社会経済的便益の維持・増進、7. 法的・組織的・経済的な枠組み）と、基準を具体的に評価するための 67 の指標で構成されています。世界各地で森林衰退が問題となって久しく、その原因は多様です。そこで、モントリオール・プロセスでは「森林の健全性（フォレスト・ヘルス）」という概念を使って森林衰退を評価するために、基準 3「森林生態系の健全性と活力の維持（Forest Ecosystem Health）」を設けています。つまり、ここでは生態系が健全に機能しているかを問うているのです。基準 3 は他 6 つの基準の土台であり、基準 3 が満たされなければ他の基準が成り立たない重要な基準です。ここで使われている health という概念はフォレスト・ヘルスに止まらず、グローバル・ヘルス、スペース・ヘルスへと繋がっていくことを望みます。一本一本の樹木が健全であるのかどうかは、樹木の健全性（Tree Health）で評価します。つまり樹木が病虫害に罹っていないか、汚染物質によって弱っていないかなどです。

火星での小規模な人工生態系を構成する大気、土壌、生物相などをどのように組み合わせ、そこに

人はどのように関わるのかなど解決すべき課題は多々ありますが、上で紹介した基準の中のいくつかは土星での生態系管理に有効な示唆を与えるのではないのでしょうか。

参考文献

藤森隆郎（2003）新たな森林管理 持続可能な社会に向けて. 全国林業改良普及協会

池田武文（2022）樹木・森林の健全性. 森林防疫 71（2）, 51-54.

Trumbore,S., Brando,P, Hartmenn,P. (2015) Forest health and global change. Science 349, 814-818.

京都大学 SIC 有人宇宙学研究センター
<https://space.innovationkyoto.org/>

〒606-8501 京都市左京区吉田本町 吉田キャンパス本部構内 総合研究 16 号館 208 号室

編集人：木造人工衛星製作チーム 菊川祐樹 筒井涼輔

Tel&Fax: 075-753-5129 Email: spacewood@mail2.adm.kyoto-u.ac.jp

SIC 有人宇宙学研究センター NewsLetter No.9

2022 年 9 月 1 日発行