

参考資料 8-4 Spaceology Newsletter: 2023 年 7 月号

SIC 有人宇宙学研究センター NewsLetter 2023 年 7 月号 No. 19

クラウドファンディング ご支援ありがとうございます！

京大宇宙木材プロジェクトは、木造人工衛星 2 号機の開発のためにクラウドファンディングを実施しました。クラウドファンディングは京都大学と ReadyFor 社のプラットフォームを使い、4 月 1 日から 5 月 31 日まで目標額 650 万円に設定されました。この期間に 160 名の方々が 777 万円の寄附を応援しました。寄附してくださった皆さんに心から感謝いたします。どうもありがとうございました！

現在、木造人工衛星 1 号機 (LignoSat) のフライトモデルの制作が始まっています。また、木造人工衛星 2 号機は概念設計が終了し、エンジニアリングモデル製作のための基礎設計が行われています。LignoSat の開発は、これから JAXA/NASA との安全審査を終えて、来年春の打上げまで正常場を迎えます。今年の夏にはフライトモデルを使った各種地上試験が計画されています。木造人工衛星 2 号機の設計では、1 号機製作のノウハウを生かしより新しいミッションを考えています。一番大きな特徴は、地上との通信用アンテナを内蔵すること、姿勢制御用システムを装備することです。木造人工衛星 2 号機の大きさも LignoSat の 2 倍になる予定です。

ご支援頂いた皆さんには、宇宙木材プロジェクトの一員としての NewsLetter を通じて私たちの活動の速いお伝えしていきます。どうぞよろしくお願いいたします。(土井隆雄 記)



- 1 -

宇宙木材研究室交流会

2023 年 6 月 25 日に京都大学吉田キャンパス内に、宇宙木材研究室関係者で LignoSat プロジェクトと樹木育成プロジェクトのメンバーを交えた交流会を行いました。現在 LignoSat プロジェクトは 1 号機の衛星引渡しに向け 8 月の安全審査に向け開発を進めており、新メンバーは 1 号機打ち上げ後の 2 号機の作成が大きな業務に予定されているが、1 号機作成においても資料による納品を進めながら開発の前線にて試験を担当してもらっている。樹木育成プロジェクトにおいても研究設備を増設し、今後ますます新メンバーの活躍の機会が広がることであろう。今回はそんな新メンバー同士の正式な顔合わせの場として、京都大学特許台前にて集合写真を撮り、持ち寄った食材で調理をするなどして親睦を深めた。研究室にてゲームをして盛り上がる場面も見られ個々人の今まで知らない側面などを知れる良い機会であった。図 1 は教員を交えた 30 人ほどで撮った写真である。



図 1 宇宙木材研究室学生チーム

個人的に所属している LignoSat プロジェクトにおいては、設立当初に比べ開発環境が整い本格的な研究も進み、学生メンバーも初期の 7 人では 30 人近くまで増えたと。暑さも 2 年間に初めて訪れた時から止まることを知らない 2 年間のプロジェクトの発展具合に、学生リーダーとなった今でも驚きの日々である。いつか宇宙で木材が当たり前のように使われる世の中を目指し、新しいメンバーと共に現在の開発に尽力していきたい所存である。(菊川晃一 記)

- 2 -

「90 分の宇宙移住」講座、開講！

「現代の教養講座 宇宙移住に向けた最先端研究と企業技術」
山崎麻亮センター長による第 1 回講義「宇宙移住のための「コパイオームコンセプト」」
大学コンソーシアム京都/リカレント教育企画検討委員・コーディネーター
喜一工具株式会社 代表取締役社長 石川武

今年も公益財団法人大学コンソーシアム京都 2023 年度京 (みやこ) カレッジ リカレント教育プログラムのオリジナル企画、「現代の教養講座 宇宙移住に向けた最先端研究と企業技術」が開講しました。この講義は、2021 年に京都大学 SIC 有人宇宙学研究所を立ち上げられ、京都大学大学院総合生命学館教授の山崎麻亮先生を中心に、大学や企業や JAXA など多方面からユニークな講師陣をお招きして、今世界中が注目している宇宙移住に関する最先端の研究成果や企業技術、リレー講座の形式で学ぶという企画です。今回は高校生から 80 代の方まで、幅広い層の方々が受講されています。

この講座が実現したのは、2022 年度からで、今年が 2 回目です。きっかけは私が 2018 年に京都大学 ELP を受講していた時に、山崎先生と知り合ったことでした。山崎先生が提案されている「コパイオームコンセプト」は、宇宙への人の移住を考えるため、工学的な意味で宇宙開発を考えるだけではなく、ある程度の数の人間が長期に渡り他の星に住むことを想定して、重力や宇宙放射線や太陽光が人体に与える生物学的な影響や、衣食住の方法、経済や法律といった社会制度に至る、様々な学問領域を俯瞰的に考慮した概念です。

この「学問性」だけでなく魅力的に感じ、また宇宙移住の様々な技術を考えることで、地球環境や人類についての意識も更に深められるため、山崎先生にこの知見をオリジナルプログラムにしませんかと相談した結果、社会人の学び直しのための教育的な意義として、毎週違う専門分野から、宇宙移住に必要な視点を講義してもらうという企画が生まれました。

昨年は全 8 回講義が実施されましたが、受講者の方々からの満足度が毎回極めて高いのが特徴的でした。今年は更に内容をバージョンアップし、大学の研究だけではなく最先端の企業技術についても触れられる、前期後期計 10 回のプログラムとして、開講することになりました。6 月 1 日は山崎先生による、第 1 回講義「宇宙移住のための「コパイオームコンセプト」」でした。人が宇宙で生きていくためには、最低限何が必要なのか？まずはその基本的な部分を、地球や火星や金星など星々とのとや、人間の消費する空気や食料や水や燃料を支えている。海や土や森に関する知識など合わせて説明され、「コパイオーム」という考え方がとてもわかりやすく伝えられていたと思います。

また海や森の生態系を実際に学ぶために、実際に海に潜り魚や珊瑚礁を観察する様子や、アリソにある巨大な実験施設「バイオスフィア 2」での研修の様子などが紹介され、コパイオームの研究が既に実験的に検証され、できることではないことが断絶されている現状が、直感的にもよく理解できました。次回以降の人工重力に関する企業技術や、社会や法律や心理という社会学的な観点への展開がとても楽しみです。最先端の知見がわかりやすかつ学際的に、広く現代の教養講座として受講していたら、今年も京都らしい、充実のリカレント教育プログラムが始まりました。

- 3 -

火星に住もう！ Season3

第 3 回「宇宙飛行士を宇宙線被ばくから適切に守る ～有人火星探査の被ばくリスクはどのくらい？～」

SIC 有人宇宙学研究所とよみうりカルチャー OSAKA の連携講座「火星に住もう！ Season3」(全 6 回)は 6 月 18 日、第 3 回「宇宙飛行士を宇宙線被ばくから適切に守る～有人火星探査の被ばくリスクはどのくらい？～」が観覧客ビル(京都市中京区)で開かれ、国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構原子力基礎工学研究センター研究フロアで、大阪大学核物理研究センター特任教授の佐藤達彦氏が登壇した。

オープニングでは、「宇宙線被ばくが実際にどのくらい危険なのか？」を伝えるにあたり、「そもそも宇宙線って何？」なぜ人体に影響があるのか？」放射線の影響の大きさや単位などお話しして説明。本題では普段の生活の中でも放射線が放射線出しており、場所や生活環境でも変わるが、世界平均では、1 年間に約 2.4mSv 程度の被ばくをしている。100mSv 以下なら人体への影響はなく、500mSv 以下なら直ちに影響がでるレベルではない。500mSv を超えるとリンパ球の減少、1000mSv で 10%の人が悪心や嘔吐、3000～5000mSv で 50%の人が死亡、7000～10000mSv で 100%の人が死亡すると解説。各国で独自で生涯線量限度を設定している。日本では、46 歳以上で男性 1.0 Sv、女性 0.8 Sv を生涯線量限度としている。

有人火星探査の宇宙線被ばく線量は、巨大な太陽フレアが発生しない限り、現在の線量限度の範囲内で、そのリスクは他のリスクを考えれば十分に許容範囲。しかし、巨大フレアの発生予測や無重力状態と放射線被ばくリスクの関係など、まだまだ解決するべき研究課題は多い。有人火星探査のような巨大プロジェクトを実現するには様々な分野からの研究生成果の積み重ねが必要であるが、この研究も十分に貢献できる可能性がある。

オンライン初回は、京都市立堀川高校の生徒など約 35 人が受講した。次回の講義は 7 月 9 日(13:00～14:30、観覧客ビル)。「たかが木材、されど木材～どうなる？木造人工衛星～」をテーマに京都大学大学院農学研究科森林科学専攻教授の仲村信司氏に講師を務める。申し込みはよみうりカルチャー OSAKA の HP (<https://www.ync.ne.jp/osaka/mananto/>) から。(今井文恵 記)



- 4 -

国際教育セミナー・宇宙学セミナー

「宇宙開発のこれからと日本」のご案内

宇宙総合学研究ユニットと共催で、2023 年 7 月 21 日に NASA アジア代表 Garvey McIntosh 氏および Inami Space Laboratory 代表の稲波氏を迎えてのセミナーを開催いたします。
(山教南晃 記)

宇宙開発のこれからと日本
7.21 (金) 14:30~16:35 場所: 京都大学芝田会館
NASA アジア代表 Garvey 氏
世界最初の宇宙旅行者100人に選ばれた稲波氏

講演者: 山教南晃 (大学副学長兼宇宙学教授・SIC 有人宇宙研究センター・宇宙総合学研究ユニット 国際教育セミナー 宇宙学セミナー)
1. The U.S. - Japan Relationship in Space: The Most Important in the World Today (45分)
2. 民間による宇宙旅行と宇宙ビジネス (45分)
3. 稲波氏: 稲波氏 (INAMI Space Laboratory 代表)
4. ディスカッション (20分)
5. 質疑応答 稲波氏 (京都大学大学院研究員・宇宙総合学ユニット)

参加無料・事前申し込みが必要です
※参加申し込みは Google Form から
<https://docs.google.com/forms/d/1JpZt5-8e0505044L73p0t0a0n02B7K7JCVN8Hq7PZNDZ4/viewform?usp=sharing>
主催: 京都大学大学院総合学センター
共催: SIC 有人宇宙研究センター・宇宙総合学研究ユニット
Design credit by: Yaguchi Gaku / Garvey McIntosh ©2023

teamLab 講演イベント

「テクノロジーとアートの融合」

SIC 有人宇宙学研究センターが主催となり、初めて teamLab による京都大学における講演が開催されます。teamLab は最新のテクノロジーを活用したソリューション、大規模なインスタレーション、デジタル・デジタルエンゲージメントの制作、都市計画やアートの開発、ミュージアムの建築などを行う会社です。
本イベントでは、チームラボが手がけるアート・ソリューションのプロジェクト事例、彼らが使う最先端の技術、制作の背景にあるストーリー、そしてそれらがどのように融合して一つの作品を生み出すのかをご紹介いたします。新たな価値創造を目指している京都大学、未来を創り出す興奮を体験してみませんか。(山教南晃 記)

-5-

teamLab x 京都大学
チームラボが様々な分野のスペシャリストによる、集団的創造の真髄を語る
2023.7.29 (土) 10:00-
会場: 京都大学 主会場 2017号室 (全席無料)
※参加費: 京都大学の学生・教職員 別途 500円
※観客: 11:30 - 聴講者の参加は不要です
お申込はこちらから
2023.7.26(木) 18:00まで

新たな価値創造をめざしている京大生、未来を創り出す興奮を体験してみませんか?

LignoSat 振動試験の実施

木造人工衛星 LignoSat 設計チームから、打ち上げに向けて5月に九州工業大学にて実施した振動試験についてご紹介します。人工衛星では、打ち上げの際にロケットの振動によって共振を起こすことがないよう、もともとロケットの振動を模した振動発生装置によって試験を行います。共振が発生すると構体の破壊や外部への影響が考えられるため、振動試験によって構造強度を確認することは非常に重要です。
振動試験は、衛星を宇宙での放出用ボルトに搭載し、ボルトを治具に固定することで行います。振動レベルは外部の試験設備によって調整可能であり、LignoSat では JAXA の打ち上げ要求に基づいて設定された振動条件エンベロープを使用します。

-6-

Table 3-3-3 Random AT Vibration Test Level (Envelope of the Acceleration for H/V/X, Y/Z/Long and Cross)		
Freq. [Hz]	PSD [1/Hz]	
5	0.025	
10	0.025	
20	0.015	
40	0.015	
100	0.015	
200	0.015	
400	0.015	
800	0.015	
1200	0.015	
2000	0.015	
Overall	4.771 Gsec	
Duration	60 sec/axis	
Direction	3 axis each	

Table 3-3-4 Random QT Vibration Test Level (Envelope of the Acceleration for H/V/X, Y/Z/Long and Cross)		
Freq. [Hz]	PSD [1/Hz]	
5	0.025	
10	0.025	
20	0.015	
40	0.015	
100	0.015	
200	0.015	
400	0.015	
800	0.015	
1200	0.015	
2000	0.015	
Overall	6.047 Gsec	
Duration	120 sec/axis	
Direction	3 axis each	

Table 3-3-4 Step Rate Vibration Test Level (Envelope of the Acceleration for H/V/X, Y/Z/Long and Cross)			
Frequency [Hz]	Acceleration [G]	Wave number	
Each axis	10-40	11.55	More than 10

図1 加振条件 (上からランダムAT、QT、サインバースト)

振動試験では、衛星構体や衛星の放出に使用するボルトに接合された加速度センサからそれぞれの振動後波数における振動レベルを算出します。それによって得られた波形から衛星の固有振動数(最低次)を推定し、打ち上げの基準 (6 0Hz 以上、加振前後で波形の変化が見られないなど) をクリアしていることを確認します。

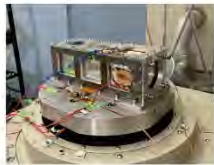


図2 振動試験の様子

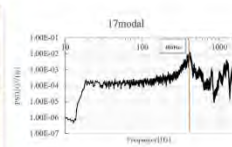


図3 振動試験結果例
(この結果からは、最低次固有振動数が405Hzと推定できる)

振動試験は主に固有振動数を判別するためのモーダルサベイ、打ち上げの際に共振を再現するランダム加振、正弦波の振動を加えるサインバースト試験に分けることができます。ランダム加振は要求レベルで

-7-

あるATレベルとその2倍の振動をかけるQTレベルに分けられ、ランダム加振及びサインバースト試験の前後でモーダルサベイを行います。
今回行った振動試験の結果は、現在行っている安全審査にも使われます。振動試験で衛星に異常がなかったことから JAXA がこの衛星を打ち上げても破壊などの心配が低いと判断し、10 月に予定している衛星の受け渡しと繋がっています。8 月にはフライトモデルでの振動試験も計画しており、現在は振動試験を含むフライトモデルの試験準備のための準備を進めています。(木村拓人 記)

宇宙木材研究室学生チーム新メンバー紹介

—全体/CDH 班—

LignoSat 開発チーム CDH 班の活動についてご紹介します。CDH 班の業務は、主に衛星の全体的なプログラムや基盤の動作を管理することです。これまでに行った大きな仕事の一つは、熱真空試験があります。熱真空試験は、真空チャンバーに衛星を入れてチャンバー内の温度を-15℃の低温から60℃の高温まで連続的に変化させていくことで、宇宙と似た環境でも衛星が問題なく動作するかを評価するために進みます。設備は九州工業大学の超小型衛星試験センターにあるチャンバーをお借りして行いました。確実なデータを収集するために約 36 時間経って何度もチャンバーの温度を変化させる必要があるため、あらゆる衛星性能試験の中でも1、2を争う長丁場でした。写真は試験終了してチャンバーの蓋を開けた直後の LignoSat です。この試験では、熱真空環境においても正常に動作することを確認できた他に、木造衛星の LignoSat が衛星の外部の温度変化に対して内部の温度変化が緩やかであることがわかり、今までこのような環境で試験をしたことなかった私たちにとっては大きな収穫でした。

現在は主に全体的なプログラムの完成のために作業を行うとともに、5 月から新たに入ってきた新メンバーの研修を行っています。CDH 班では2人の新メンバーを迎え、プログラムや基盤についての基礎的な知識を吸収しながら、実際の CDH 班としての業務にも参加してくれています。覚えることが多く大変だと思いますが、2人が LignoSat の技術者として活躍できるよう、サポートしていきたいと思っています。(野木翔太郎 記)

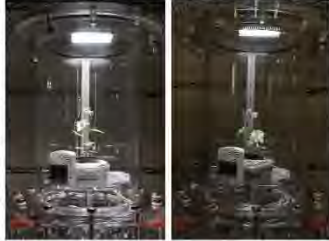


-8-

樹木育成チーム新メンバー紹介

樹木育成チームは2023年5月に人員募集を行い、学生メンバーとして新たに7人を迎えました。農学部から森林科学科1回生の清澤 令さん、資源生物学科2回生の古川 夏帆さん、理学部から1回生の前田 拓人さん、3回生の隈田 新さん、経済学部経済経営学科から2回生の中西 弘樹さん、また人間環境学研究所から修士1回生の原口 晴紀さん、農学研究科から修士2回生の徳岡 柚月さんに加わっていただき、これで学生チームは合計18人となります。またメンバー同士の組み合わせも十分に出来ていない状態ですが、既に毎日の観察記録や学生チームごとに参加していたり、仲間ができて大変うれしく思っています。よろしくお付き合いします。

低圧下木質育成実験は現在21回目を0.3気圧にて実施中です。今回より樹木育成用チャンバーが2台から4台に増設されました。実験1回あたりのサンプル数が増えることで、今後はデータが集まるペースが向上し、低圧化での樹木の生育特性がより詳細に解明されていくであろうと、観察や解析の作業量の面でメンバーの負担が増えいくことを少し心配しています。樹木育成学生チームリーダーは、本チームは所属する学生一人一人が興味と好奇心にもとづいてそれぞれのペースで楽しく活動できる場でありたいと考えており、新メンバーの方々にもぜひ実験に無理のない範囲で意欲的に参加していただき、似たような関心を持つ他の学生と幅広く交流していただけるような環境を作りたいと考えております。(遠藤早織 記)



研究紹介 ISTSでの熱真空試験の報告

京都大学理学部 岸広登

LignoSat 開発のCDH班の岸です。私は6月6日に久留米市で開かれた第34回 International Symposium on Space Technology and Science に参加し、LignoSat に関しての口頭発表を行いました。発表内容に LignoSat のミッションやシステムといった概観、そして今回行った熱真空試験などについてです。

この発表のメインである熱真空試験について軽く説明しましょう。宇宙空間は真空かつ温度変化が激しいため、それに耐えるかを検証する必要があります。熱真空試験では、衛星の EM をチャンバーに入

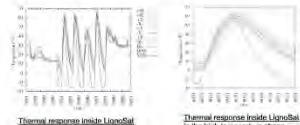
- 9 -

れ、チャンバー内を超絶圧にし、かつ約-15度から60度の温度変化を加え、衛星が正常に機能するかを確認します。例えば、基板間の接続がうまくいかなかったり、ピンギタデータがちゃんと得られるか、正しい温度データを得られるかなどを調査し、最終的に衛星が期待されたパフォーマンスを発揮することが確認できました。

下の画像は、実際に使用したスライドの1つです。左は熱真空試験でのチャンバー内の温度と各計測部位における温度の推移を表したグラフで、右は左のグラフの温度の高いところを局所的に取り出したものです。どちらの図も、色々グラフがあるうち一つ外れ値のような黒（それに重なっている黄色）のグラフが見えますが、これがチャンバーの温度と考えると、さうと、チャンバーの温度変化に対し、LignoSat の温度変化が緩やかであることがわかります。これは LignoSat の木材構体が優れた熱伝導性を持つことを表しています。単に衛星の機能を確かめるだけでなく、このような結果も熱真空試験によって得られました。

Thermal Vacuum Test LignoStella project

Thermal Vacuum Test (TVT) (60 hours, 10^-3Pa)



実際のプレゼンについてですが、こういった場での発表に慣れていないうえに英語での発表ということもあり、きちんと伝わるか、議論ができるかという心配を感じていました。しかし終わってみれば聴衆の反応は思っていたよりも良く、質疑応答の時間では短時間になくさんの質問をいただきました。随分た質問は熱真空試験の内容を掘り下げたものや、LignoSat の設計に関する疑問などが一例です。英語での質疑応答も不安を抱えていましたが、意外と苦は感じませんでした。結果的に、自分の発表、英語力がこういった場でも通用するのだと自信を持つことができました。

発表を終えた後は海外の研究者や JAXA の方とも会話をすることができ、有益な時間を過ごせることも、ますます宇宙への憧れが強まりました。

今後も自分の専門分野で論文執筆や学会発表をする機会が多くあると思いますが、今回の経験を支えに、邁進して参ります。LignoSat 開発においても、少しでも多く貢献できるようにこれから頑張ります。

- 10 -

研究協会 ISTS 久留米に関して

京都大学農学部 遠藤早織里

2023年6月3日〜9日に福岡県久留米市の久留米シティプラザにて第34回 ISTS (International Symposium on Space Technology and Science, 宇宙技術および科学の国際シンポジウム) が開催され、木造人工衛星 LignoSat の Structure 班より、LignoSat の構造設計及び種々の地上試験を踏まえた木材の CubeSat 構造材料としての利用に資する口頭発表 (発表題: The Utilization of Wood for a CubeSat Structure) を行いました。木材は有史以来利用されてきた人類にとって親しみ深い材料ですが、宇宙機の構造材料としては今までに使われていたことがありません。“木造の衛星”が宇宙に行くことを考えると、懸念点は幾つもあります。打ち上げの振動に耐えられる強度があるか、宇宙空間での温度変化による寸法変化が問題とならないか、またそうした環境に長期曝露したときに物性がどう変化するのか。また、実際に木材を使って衛星を作るために必要な安定や接合への選定があるかどうか。こうした内容について、今までに実施してきた接合試験や振動試験、また宇宙空間での木材の物性変化を予測するための予備試験の結果を踏まえ、LignoSat が木材の宇宙利用の有用性をどのように示していくか、その展望をお伝えしました。



発表およびそれに向いた論文は今年の2月頃より準備してきました。準備に際して多大なるご助力を頂いた農学研究科森林科学専攻 生物材料工学講座の仲村匡司先生、村田功二先生に、この場をお借りして改めてお礼を申し上げます。筆者は国際学会に参加して英語で口頭発表をすることが初めてだったので、不慣れな点ばかりです。どうにか発表を終えることができてよかったです。また、休憩時間を始め、LignoSat の構造解析や熱真空試験の結果、木材への放射線の影響、木材のアウトガスについて等、沢山の質問をいただきました。わたしたちの木造人工衛星および宇宙材料としての木材について、様々な方に興味を持っていただけたことは何よりの収穫でした。他の大学で CubeSat を作られている方々ともお話をすることができ、貴重な機会をいただきましたと感じています。(遠藤早織里 記)

- 11 -

有人宇宙学 宇宙移住のための3つのコアコンセプト

山倉徹夫 (編) 定価 4,500円 (税別) 2,500円 (税別) 2,500円 (税別)

月再上陸前夜！
宇宙居住に必須の要素は何か

CONTENTS	
Part 1 宇宙移住に向けた準備	山倉徹夫 (編)
Chapter 1 ユーザーガイド	山倉徹夫
Chapter 2 宇宙移住の準備	山倉徹夫
Chapter 3 宇宙移住の準備	山倉徹夫
Chapter 4 宇宙移住の準備	山倉徹夫
Part 2 コアコンセプト	山倉徹夫 (編)
Chapter 1 宇宙移住の準備	山倉徹夫
Chapter 2 宇宙移住の準備	山倉徹夫
Chapter 3 宇宙移住の準備	山倉徹夫
Chapter 4 宇宙移住の準備	山倉徹夫
Part 3 コアコンセプト	山倉徹夫 (編)
Chapter 1 宇宙移住の準備	山倉徹夫
Chapter 2 宇宙移住の準備	山倉徹夫
Chapter 3 宇宙移住の準備	山倉徹夫
Chapter 4 宇宙移住の準備	山倉徹夫

購入申込書 FAX 075-761-6190

有人宇宙学

購入申込書

購入者氏名

購入者住所

購入者電話番号

購入者メールアドレス

購入者職業

購入者学歴

購入者趣味

購入者希望する書籍

購入者希望する書籍の理由

購入者希望する書籍の価格

購入者希望する書籍の数量

購入者希望する書籍の送料

購入者希望する書籍の配送先

購入者希望する書籍の配送方法

購入者希望する書籍の配送時期

購入者希望する書籍の配送曜日

購入者希望する書籍の配送時間帯

購入者希望する書籍の配送時間帯の理由

購入者希望する書籍の配送時間帯の価格

購入者希望する書籍の配送時間帯の数量

購入者希望する書籍の配送時間帯の送料

購入者希望する書籍の配送時間帯の配送先

購入者希望する書籍の配送時間帯の配送方法

購入者希望する書籍の配送時間帯の配送時期

購入者希望する書籍の配送時間帯の配送曜日

購入者希望する書籍の配送時間帯の配送時間帯

購入者希望する書籍の配送時間帯の理由

購入者希望する書籍の配送時間帯の価格

購入者希望する書籍の配送時間帯の数量

購入者希望する書籍の配送時間帯の送料

購入者希望する書籍の配送時間帯の配送先

購入者希望する書籍の配送時間帯の配送方法

購入者希望する書籍の配送時間帯の配送時期

購入者希望する書籍の配送時間帯の配送曜日

購入者希望する書籍の配送時間帯の配送時間帯

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

〒606-8501 京都市左区志保市 志保キャンパス内 総合研究 16 号館 205 号室

代表人：山倉木材研究センター 山倉徹夫、山倉徹夫、山倉徹夫

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. 19

2023年7月11日発行

- 12 -

Spaceology Newsletter: 2023 年 8 月号

SIC 有人宇宙学研究センター
NewsLetter 2023 年8月号 No.20

国際教育セミナー・宇宙学セミナー
「宇宙開発のこれからと日本」

稲盛ホールにて、京都大学大学院総合生命学専攻、SIC 有人宇宙学研究所・宇宙総合学研究所の共催による国際教育セミナー・宇宙学セミナーが開催されました。

今回は NASA アジア代表の Garvey McIntosh 氏、及び INAMI Space Laboratory 代表取締役の植波紀明氏の 2 名をお招きし開催された。最初に山教教授より Garvey 氏と植波氏の紹介および大学院総合生命学館と SIC 有人宇宙学研究センターについて紹介があった。

最初の登壇は、NASA アジア代表の Garvey McIntosh 氏。

Garvey 氏による公演は NASA 本部の機密説明から始まり、米ソ冷戦時代に人類を最初に月に運んだアポロ計画やその後のスペースシャトル、国際宇宙ステーション (ISS) をはじめとする有人宇宙開発が国際協力のもとで進められてきた背景を解説した。

特に 2022 年はアメリカの宇宙開発勢力に追い
て非常に重要な年であった。2030 年までの ISS 運用延長 図 2. 公演を行う Garvey 氏
に日本の書名に関する署名と、アルテミス計画における月の中量基地「ゲートウェイ」のための実地試
験の署名が結ばれたこと、バイデン大統領と岸田首相が米宇宙開発関連展示を視察したことなどを
取り上げ、日本がこれまで以上に良好な関係のもとで宇宙開発を進めてきたことに示された。

NASA は今後 ISS を基盤として月面着陸、ひいてはその先の火星探査、移住を見据えている。特に直近のアルテミス計画3では2025年の月面着陸を目指しており、これが成功すればアポロ計画以来、実に53年ぶりの快挙となる。

Garvey氏は、有色人種の女性が初めて宇宙飛行士に選出されたアルデミス計画の争奪を振り返りながら、今後一層宇宙開発にかかわる人々がますます多様になるであろう、と話した。宇宙開発が抱える諸課題の解決には国際協力が不可欠であり、京都大学の学生をはじめとする多くの専門家の知識、技術を集結する重要性を改めて強調した。



図 1. 紹介を行う山越教授



圖 2. 公清在行 2 Garvey

2023年2月のNASA ビルネルソン長官の京都大学訪問に関する内容の紹介もあった。

続いて稲波氏は2005年にヴァージン・ギャランティックス社の宇宙旅行に当選し、サラリーマンとして宇宙に旅立つ異色の立場から、多岐にわたる宇宙ビジネスの可能性を紹介した。

稲波氏が立ち上げた宇宙ベンチャーINAMI Space Laboratory 株式会社では非宇宙分野・宇宙開発の架け橋となるようなサービスを提供している。「衛星・宇宙まで飛ばして」宇宙旅団という名前であり非常にユニークなプロモーション活動を行った事例の紹介もあった。

稲波氏は宇宙旅行に申し込んだものの日々が以前と比較して非常に有意義な自主的な身体鍛錬や宇宙ビジネスに携わることで視野を広げる量産型が味になると強調し、無重力訓練によって得られる重力からの開放感や、宇宙飛行への期待からくる精神面のお返りなど、非日常的な体験は稲波氏の宝となっている。

稲波氏の参加する宇宙旅行は早くも2023年内に実施される予定であり、今後の情報も注目、興味深い。

最後のディスカッションでは、この解説文と山教氏が会場に向って、さまざまな疑問に答えた。また、解説文の1等書写として宇宙舟の機軸として、(著文にあることを進んで)アーク・オブ・アークで雑誌の紙面を飾る高価な取次もまた、福徳氏の書写による宇宙舟31号の複製の万人への贈呈もあり、多数の参加者が募った。そして山教氏が最近出版した「有人宇宙舟—宇宙移住のための3つのコンセプト」の講演者への道標もあった。本セミナーの動機は公開されて、ある程度着きた方々は是非ご覧いただきたい。

<https://youtu.be/xTNDvAOxZcE> (森下至子)



図 3. 公演を行う稲波氏



図 4. 山數教授から Garvey 氏への進呈



図 5. 参加者の集合写真

京都市立嵯峨野高校にてウスビ・サコ先生と土井隆雄先生の
対談が行われました！

2023年6月6日(火)京都府新聞主催「日本への近未来の知恵館」が京都市北区三嶋野駅に
行われた。京都では今年も第2回生を募集した知恵館(近未来)について、教育者や人
類学者のウズト・カズと当センターの宇田隆雄特設教授の対談形式で行われました。まずは、
土井先生より日本人の宇宙意識の変遷の物語の宇宙論的取組みについての紹介の後、ウズト先
生より、「自身も本館に入館して約10年前の頃に天板の梁子平を見て日本人の思想に本来から星
の図柄があり、ウズト先生は『雲と雷』という書で宇宙上に存在する大蛇とつながった。その後京都にて宗師
の御託を以て信じていることが全反対で、不思議」と両氏の印象を話されました。ウズト先生と
土井先生が手紙やり取りしたところや宇田氏が行方不明の友人を探していたときなどとの逸聞
があり、土井先生からは、「宇田氏飛行機には絶対的忠実だ、生命の神秘について深く考えよ」と
なされた。また同じく中学高校生の頃に宇宙が大好きになり、宇宙の神秘を探求したいと思っ
た」と語られた。

来た、ワズと先生より「チームでの活動には、お互いを受け入れることが必要だと思ふ。そのような時に士井先生のような工夫をもっとして欲しい」との指摘があった。士井先生は「アイヌとオホーツカに年半の訓練中、チームでの活動が求められたが、そのうちから、自分の命やチームメイトに預けることができる、みんなの命が預かるチームとして自分自身を受け入れる、そのレベルのチームワークを作ることが大切だ」と。彼らで集めた海外でチームとして共同生活していた、ブルームフィールド、おひさ意見が共有できることがある、それが重要だと述べていることが大切、との指摘があった。更に又士井先生が「日本に come 一番良い人になったのは人と人合わせること」という指摘があり、士井先生からは「宇宙では空気を読むしかない（笑）。考えが合うとすぐに仲良くなることはないが、過度な緊張、遠慮も大分コミュニケーション能力がないとやていけない。空気が読んでいると他人と自分を分けられない。自分を表現して自分と向き合っていないとチームワークに預けられない」との指摘があった。

後半の質疑応答の時間には、「宇宙開発に何額の資金がかかるか。反対の声に対してどのように説得するか。」「環境問題などは人間が開発を進めにくいことで起きている。環境への配慮などのように工夫していきべきか」「火薬で暮らすことになった場合は国庫はどうするか」などの質問がめざましくあ

最後に土井先生から高校生へ、「皆さんが社会へ出る頃には宇宙へ簡単に行けるようになる。その時宇宙へ行って何がしたいのか。今何のために勉強をしているのかをよく考えて目標を持って欲しい」と話した。



朝鮮野定校での参加者の集合写真

いい。私自身は宇宙を一生の仕事にしようとか高校生の時に決めた。その時に何が起ったかという、勉強に身が入るようになった。100%常に努力する。それは一生続く。それが夢に近づく道です。やればやるほど抵抗感が増える。より自由になる。宇宙をめざして頑張ってください。上の激励の言葉がありました。(江廣留子 記)

SIC 有人宇宙学センターとチームラボのコラボイベント

SIC 有人宇宙学研究所とチームラボの初めてのコラボによるイベントは開催されました。まずはセンター長である山数氏から、センターの様々な活動と、経河鉄道構想ヘキサトラックシステムを用いた火星、海王星、さらには太陽系外惑星 Proxima Centauri b への想像を喚起するアートが紹介されました。

本日のご講演は、チームラボの山田明一さん（Director of Community Engagement）が、
 演題は、アートを活用したチームラボ独自のソリューションと、それを土台に東京、上海、アムステルダム、モナコ等世界の主要都市にデジタルアートの美術館を設立する活動について説明しました。特に、一つ一つの作品が観覧者と対話形式で交流し、共有空間を作り出す、人とCGを駆使した独特なアルゴリズムを用いる新しい美術館のコンセプトについて、そのアートが持つ無限の可能性と共に紹介しました。

さらに、山田リーダーは、地域活動と教育活動とをガラス越しに繋げる新概念の北海道の小学校についても紹介し、その実現のための新案なコンセプトについて詳細に語りました。

質疑応答のセッションでは、チームラボの提供するソリューションや市場動向について、京都大学の学生たちからの積極的な質問が寄せられました。また、チームラボのメンバーからは、京都という地域の特性とその可能性について興味深い意見も寄せられました。

イベント終了後の懇談会では、心地よい音楽の中で、学生たちとチームラボのメンバーが親しむやすい雰囲気でお交流を深めました。チームラボの京都ミュージアムの開館と共に、宇宙をテーマにした共同活動が始まる可能性が高まり、その動向が楽しみに待たれています。(豊澤 剛 記)



図 1. 膵臓の様子



圖 2. 箭鏟店簍的樣子

鹿島建設 presents 火星に住もう！SEASON3 講演報告

SIC 有人宇宙研究センター ともみち
カルチャー-OSAKA の連携講座「火星に住
もう！ Season3」(金 6 回)は、7 月
9 日、第 4 回「たかが木材、されど木材」
〜どうなる？ 木造人工衛星〜」が、読売京
都ビル(京都市中央区)で開催され、京大
大学農学研究科森林科学専攻教授の
仲村匡氏が登壇した。

オープニングでは、講演内容の「木材
教授の研究領域について」「木造人工衛
星のはじまり」「木造で人工衛星を作ることのメリット」「人工衛星の開発、打ち上げ費用の問題」
「LignoSat の開発スタート」「誰が木造機体を作るのか？」「プロトタイプモデルの完成を目指して」の 7 つ
を順に沿って解説。実際の木造人工衛星(プロトタイプ) 1 号機も持参され、参加者は、初めて見る
木造人工衛星を手にとって構造を確認した。

仲村教授は、「人・住・木・エネルギー」と、「木材の特性の何が居住空間の構築に使えるのか」「木
材の特性の何が人の心理・生理に影響するのか」を問で説明。木材は調湿性、保湿性、断熱性、遮
音性、耐火性がありハードにもソフトにも使える稀有な材料であると強調。

また、京都大学、住友林業の共同研究 LignoStella プロ
ジェクトの進捗について、近年の宇宙ビジネスの加速で人工
衛星の打ち上げ数が増加している。金属製人工衛星は大気
圏突入時に「アルミ」粒子という細かい金属粒子を生み出し、
このまま金属人工衛星が打ち上げられると数年内以内に
地球環境に影響を与える可能性があると言及。この問題の解決方法の一つが「木造人工衛星」で、アルミ粒
子の発生を抑制することが可能であり、「宇宙の真空中でも劣
化しない」「温度変化の激しい宇宙空間でも安定する(さらに
「水分やバクテリアが存在しない宇宙空間では腐らないので金
属が溶け入る心配はない)」と期待されている。

2024 年の木造人工衛星 (LignoSat-リグノサット) の打ち上げを目指し、注目を集めていることも
あり、来場受講者 25 人 (オンライン受講 10 人) の関心の高さがうかがえた。

参加者からは、「木造人工衛星」という、どこか大いなものがある感じがする、という質問があり、
仲村先生は「現在のもは 10 cm 程度ですが、大きなものを作るには、どこか大きな船が必要なんです。」と
語り。

次回の講演は 8 月 20 日 (13:00〜14:30、読売京都ビル)、「宇宙居住のための人工重力機
設計研究」について、鹿島建設イノベーション推進型宇宙担当の大野琢也が講師を務める。



図 1. 講演の様子



図 2. 講演中の方仲村教授

-2-

申し込みはよみうりカルチャー-OSAKA の HP (<https://www.yomiuri.co.jp/osaka/mananto/>)
から。(今井文雄 記)

大学コンソーシアム京都「京カレッジリカレント教育プログラム」 前期プログラムのまとめ

大学コンソーシアム京都「京カレッジリカレント教育プログラム」現代の教養講座「宇宙移住に向けた
最先端研究と企業技術」前半プログラムは、6 月 1 日に第一回「宇宙移住のためのロバート・ムン
セプト (山崎隆典)」をスタートに、連続講座が始まりました。

6 月 15 日、第 2 回は鹿島建設の大野琢也氏による「恒久的な宇宙居住に向けた人工重力施設
研究」でした。近年盛り上がりを見せている「アルティマ計画」などからもうかがわれるように、人類が月や
火星に進出し、月や火星で恒久的に暮らす。そんな未来はそう遠くないと考えられます。そこで考えられ
る課題の一つとして、低重力が挙げられます。低重力下では筋力が低下したり、骨密度が低下したり。
ストレスにより免疫機能が低下したりすると言われているようです。このような個体上の課題だけでなく、世
代間の課題として、低重力下では受胎率の着床がうまくいかないとも言われています。大野氏の
「IG は地球のアイデンティティ」という印象的な言葉からもうかがえるように、私たちの体は進化上 IG
に適応してしまっているのです。

このような低重力問題の解決方法として大野氏が提案したのは、「ルノグラス・マースグラス」のような
感圧表面での人工重力施設です。この施設では、回転によって生まれる遠心力を利用して、惑星上で
1G を生み出します。ある点で 1G を実現しようとする建物全体はグラス状になります。また、このグラス
状施設の中には宇宙放射線防御と人々の心を安らげる役割として水を流す考えも話しされていました。グ
ラス間をつなぐ交通機関ルノビールなど細部までも考えていこうとして、建築材料さえあれば本当に実
現・運用可能なものだろうと心から思われる構想でした。

6 月 29 日、現代の教養講座「宇宙移住に向けた最先端研究と企業技術」第 3 回は JAXA の稲
谷秀文教授による「ムーン・ドリーム」月に社会を作ることを考える。でした。人類が宇宙に進出していく上
で、地球に最も近い天体である月で持続的な人類の活動が行われることがまず第一となるでしょう。
月で人類が持続的な活動を始め、これが発展して社会でも言う集団を構成していく時、何を作り、
運送するためにはどういふことを考えていこうか？ ということが研究の動機です。多くの考える
べきことがありますが、月間で人類が生活するための物資やエネルギーの調達や輸送などという技術的な考
察にとどまらず、持続的な活動のためには月で何の活動をして価値を生み出していくかという視点が大
胆です。一般に宇宙の仕事には大きな投資が必要ですが、従来の宇宙開発のように国家の専断として
行うのでは、いろいろな意味で限界があると言われており、経済活動や事業のリターンという観点で、月で
の活動が生まれる価値について考えるべきであると言及指摘がなされています。これは宇宙ビジネスの根
拠です。またこのような大勢の人間が活動するときの社会運営の方法や宇宙前にあたる人々への影響
という視点からいけば、いわゆる宇宙での持続的な活動が常態化したとき、社会の構成員としての人の
環境適合の観点から世代交代や人口構成など、言う社会科学の観点から文化人類学的な観点で有人
宇宙活動の未来を考えよう、という大きな視点から語られていました。

-3-

有人宇宙活動は人類の活動範囲の拡大という文脈で語られますが、究極的には地球や太陽系が
人類の生存に与えなくなったときの人類のサバイバルの観点で考えるべきでしょう。この文脈において、月
に社会を作ることはまさにその手始めとしてよい実験の場を提供するのである。との文脈で様々な議論
が交わられました。

7 月 13 日、現代の教養講座「宇宙移住に向けた最先端研究と企業技術」第 4 回は慶應義塾大
学の青木節子教授による「宇宙移住に関する国際宇宙法」でした。人間が月や火星に宇宙移住した
場合、その基地はどの国の管轄権を有するのでしょか。基地で犯罪が起こった場合、その犯罪者など
の国の法律でどのように裁かれるのでしょうか。自由競争に基づく国や企業の宇宙資源採取は合法では
しょうか。

現在存在する国際宇宙法に「月協定」が存在しますが、この協定に批准している国は少数 (かつた
の 18 カ国)。しかも、ワシントン条約は 2024 年には期限が満了されており、17 カ国と異なる予定) であると
仰っていましたが、世界が 1 つの「地球人」として宇宙に進出してゆく未来は、法的な観点から見れば少
し遠いのももたないと思ひます。はいはいはい。した (この他にも宇宙条約があり、どちらの批准国は
102 カ国です)。

このような条約は国際宇宙平和利用委員会 (COPUOS) などの機関により形成途上にあります。
国際宇宙平和利用委員会では、あらゆる宇宙活動について、各国の合意を時間をかけて醸成し
つつ国際宇宙法が形成されていくのがうかがわれます。

7 月 27 日、現代の教養講座「宇宙移住に向けた最先端研究と企業技術」第 5 回は京都大学
の寺田昌弘先生による「宇宙環境での人への影響」-従来の宇宙移住を目指して-でした。近年、
宇宙飛行士だけでなく民間人も宇宙に滞在する機会が増えています。宇宙空間は微小重力・
無重力であり、毎日宇宙放射線も降り注いでいます。また、宇宙船は閉鎖的な空間であり、今の私
たちの生活とは大きく異なった特殊な環境であるといえます。これら特殊環境は人体にどのような影響を
及ぼすのが今回の論点でした。

微小重力・無重力の影響として挙げられるのが、体液の循環不全や筋力低下、骨密度の低下、商
険姿勢による免疫低下などです。第 2 回で大野氏が仰っていた通り、個体レベルの問題だけでなく、世
代間の課題として受胎率が着床しない、胎児の骨髄形成不全なども生じると言われています。宇宙放
射線の影響として挙げられるのは、DNA 損傷による癌がリスクの上昇、免疫細胞の減少による免疫
低下などです。また、閉鎖的空間は、精神面への影響が大きく、人同士の喧嘩が勃発しやすくなり
ます。

これらを防ぐためにも第 2 回で大野氏が仰っていたような人工重力施設、宇宙放射線遮断システム
や、開放的な空間を持った基地の建設などが求められると考えられます。

前期プログラムはこれで終了ですが、後期プログラムは 10 月 5 日より、佐々木氏 (京都大学大
学院理学研究科)、村田氏 (京都大学大学院農学研究科)、稲谷氏 (JAXA)、津路氏 (東京
海洋大学) そして山崎氏 (京都大学大学院総合生命科学) による続編が続きます。申し込みは 9
月 5 日締め切りで、以下のページから可能です。

後半プログラムの申し込み：

-4-

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSc8bHdD5ZQgKQcTTWwQTVJM8qC9Rk_m14SzHtquVmlawVXq/viewform

大学コンソーシアム京都 リカレント教育プログラム総会サイト：

<https://www.consortium.or.jp/project/sa/requirement>

プログラムのチラシ PDF：

https://www.consortium.or.jp/wp-content/uploads/2024/03/03/requirement_chirashi02.pdf
(白黒印刷 記)

LignoSat 紹介 COMM 班

LignoSat 開発チーム COMM 班の新メンバーと直近の活動をご紹介します。

この班からは 3 名の新メンバーが加わり、安心・安定・おたかな通信係を目指し日々皆で開発に臨
んでいます。以下、3 名からのメッセージです。

【河野尚貴】

新たに COMM 班に所属しました。農学部 4 年生の河野尚貴です。人工衛星と交信できるといっ
た興味を持ち、このプロジェクトに参加しました。今後はアンテナの展開試験に同行して学びます。
学部の研究卒との二足の草鞋ですがどちらも頑張ります。ご一緒できることを楽しみにしています！

【西見 俊輝】

工学部電気電子工学科 3 年生の西見俊輝です。制約が大きい環境での通信にコミを感
COM 班に所属させていまだけになりました。現在は地上局プログラムを担当しています。まだまだ未
熟者ですが、楽しみながら頑張っていきたいです。よろしくお願ひします。

【小泉壮平】

COMM 班新メンバーの小泉壮平です。京都大学工学部物理工学科に所属しています。小学生の
頃から航空宇宙分野に興味を抱いており、LignoSat の研究室に所属しました。2 号機の開発では、
木造機体の特徴を活かしたパッシブアンテナの開発に関わります予定で、まだまだ分からないことも多いで
すが、研究室の力になれるように頑張ります！

既にアマチュア無線免許を取得していたり、プログラミングに長けていたり心強い新メンバーです。こ
で新メンバーが担当しているデグリス引長試験、極限状態下におけるアンテナ展開試験、地上局開発に
ついてご説明します。

LignoSat は通信にダイポールアンテナが採用されており、打ち上げ時は 2 本のアンテナをデグリス(釣り糸)
でくくってコンパクトにしています。ISS からの放出後にそのデグリスを放き切りアンテナを展開します。
衛星引き出しから放出までの数ヶ月間のうちにデグリスが伸びるというトラブルにつながります。そこで、デグ
リスに緩やかに月間に向きつる、伸び切るのを確認するのデグリス引長試験です。この伸び率は JAXA へ
提出する重要なデータとなります。さらに、宇宙という特殊な環境でも正確にデグリスを巻き切りのアンテナ
を展開できるのを確認するの極限状態下におけるアンテナ展開試験です。すでに京都大学の真土
チャンパーなどを利用し何度も検証しており、最後には九州工業大学で極限温度での展開も確認して

-5-

います。ISS からの放出後正常にアンテナが展開されると、京都大学に設置されている地上局との通信が始まります。しかし、LignoSat は 90 分に地球を一周するほどの速さで周回をしているのでドップラー現象を考慮し受信周波数を微調整しながら通信しなければなりません。さらに、地上局のアンテナも常に LignoSat の方向に向けておく必要があります。このような操作を統一的に処理するのが地上局ソフトウェアであり、C# を用いて実装中です。その他、総務省への無線局申請、周波数確保に関する外国官庁の対応、アマチュア通信の計画などなど衛星引き渡しを目前に感じますが、ラストマイル COMMM 項もより一層開発に注力していく所存ですので応援のほどよろしくお願い致します。数ヶ月後、宇宙から LignoSat の声が聞けるのを楽しみにしています。（野間隆寛 記）



図 1：テグスでアンテナを結んだ状態。
ISS 放出後、右下にあるバナナ状のクロム線
を加熱しテグスを焼き切る。



図 2：アンテナが展開された状態

低圧下樹木育成プロジェクト紹介

令和 5 年度に新たに加わった学生メンバー 7 名に対して、ボラの育成実験を行うに際しての基礎知識を得るための勉強会（ゼミ）を 3 回（06/22, 06/28, 07/20）実施しました。

1 植物生理学入門

キーワード：生物学における植物生理学の位置付け、生理学とは、構造（かたち）と機能、資源獲得の方法、環境適応能力、コストとベネフィット、トレードオフ、馴（順）化の種、ストレス抵抗性（ストレス回避とストレス耐性）。

課題：地球の環境とは異なる火星の環境で、それら環境要因は樹木の成長にとってストレスとなるのでしょうか？

2 光合成

キーワード：植物と地球の歴史、葉の構造、葉緑体の構造、チラコイド反応とストロマ反応。

- 9 -

電子伝達系、カルビン・ベンソン回路、光呼吸、過剰エネルギー対策（活性酸素と光害害の抑制、クロロフラビオ）、C3 植物、C4 植物、CAM 植物
課題：植体環境が継続的に光呼吸をどの程度抑制するのでしょうか？

3 植物の水分生理

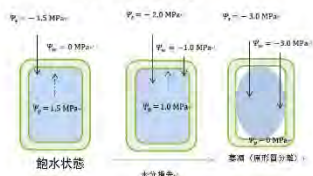
キーワード：植物にとっての水、SPAC 内の水移動、水分状態の判定、水ポテンシャル（ $\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p$ ）の概念、脱水、原形質分離、細胞の水ポテンシャル、乾燥適応、浸透調節、細胞壁弾性率、水ポテンシャル差による水の細胞内移動、キャピテーションとエンブリズム、樹木の限界（セコイアミズギ）

課題：低圧、低重力による樹木の種々物理因子の変化

水ポテンシャル(Ψ_w)の概念

葉の水ポテンシャル(Ψ_w)・・・植物細胞の水分状態を数値的に表す。
水を引き込む力を表す。

$$\Psi_w = \Psi_s + \Psi_p$$



樹木育成チーム新メンバーの原口朝紀と申します。現在はチームの先輩方に教わりながら、観察記録等に取り組んでいます。今回の新メンバー向けゼミでは、観察記録中だけでは知れない、ボラ育成実験に関する様々な基礎知識を学びました。まず、育成チームが取り組んでいる研究は、植物生理学に相当することを知り、植物生理学がどのようなアプローチで何を解明するのか、そして何に役になるのかについて知りました。これをボラ育成実験に当てはめると、樹高や葉の状態の観察記録から、低圧環境が樹木の成長へ与えるストレスの度合いを解明し、将来の月や火星における、よりコストの低い植物育成方法の開発に役立つ、とすることができ、取り組んでいる実験の重要性を実感することができました。第 2 回では光合成、第 3 回では植物の水分について、実験試料のボラだけでなく、広く植物について教わりました。ゼミを受ける前よりも、研究の意義や、観察記録項目それぞれの意味などを理解することができました。学んだことを頭に入れながら、今後の樹木育成チームの活動に取り組んでいきたいです。（原口朝紀・池田弘文記）

- 10 -

研究紹介

有人宇宙—宇宙移住のための 3 つのコアコンセプト 内容紹介

第一回 3 つのコアコンセプトとは？

山敷南亮

3 つのコアコンセプトとは、「コアバイオーム」「コアテクノロジ」「コアソサエティ」で、SIC 有人宇宙研究センターが宇宙移住の技術開発の基軸と考えて展開している 3 つの分野です。すなわち、本文中では「21 世紀後半に人類が月・火星への移住を現実のものとするという未来を想定し、要素抽出した地球生態系システムをコアバイオーム複合体と定義し、移住に必要な最低限のバイオーム（遠征コアバイオーム）を同一し、それに必要な基幹技術「コアテクノロジ」と社会システム「コアソサエティ」の統合から、他の天体（移動環境と称する）への宇宙移住の基幹システムとして確立することを目指す」という概念を構築しました。またこの学問体系を、地球環境保全や人間社会の組織形成などフィードバックすること一つの大きな目的とします。」と記されているところです。



・宇宙環境（宇宙移住）から地球環境へのアプローチ。技術だけでなく社会システムの構築が重要。
地球システムでのモデル化。地球生態系を全てを移住するものは無理であるが、必要なバイオームを抽出

当初はこれを「コアバイオームコンセプト」と称しておりました。その理由は、「宇宙移住によって地球生態系の持参が非常に重要である」ということを提唱するのが初めてのことで、かつ最重要項目であると考えておりました。実際、さまざまな宇宙開発についての書籍でも、技術や社会については多岐にわたることはあったのですが、「地球生態系の移転」がその要諦に近く、と提唱しているコンセプトはありませんでした。また、生態系ではなく、人間中心の「食料確保」としての「宇宙農業」に関するシステム、また環境維持のための技術というのには提唱されておりました。しかし、我々のコンセプトで最も斬新だと考えるのは、

- 11 -

「宇宙で恒久的な人間社会を構築するためには、必ず（人間を含む）地球環境における生態系の一部を持参しなければ成り立たない」と提唱している点です。

それは、こう考え方です。

まず、人間自身が宇宙で単純に「生きてゆくための最低条件を「生存基盤」とします。すなわち、地球上では、「水（淡水）」「食料」そして、「エネルギー」となるでしょう。これが宇宙になると、地球上で当たり前の「空気（酸素）」が必要になります。そのため密閉装置、その環境を維持するための装置の構築が重要となり、これは ECLSS（生命維持・環境制御技術）と呼ばれる装置が、実際の宇宙ステーションさばうモジュールなどの生命維持に貢献しています。すなわち、宇宙空間で、「空気（酸素）」「水（淡水）」のサイクルと安定供給を実現するのです。その上で、生きてゆくための最低条件の一つである「食料」は、いまだ地球からの供給が主になっており、「宇宙農業」による食糧生産が必要となるわけです。そこまでは既に既存研究で多数議論されています。

さて、本コンセプトで「コアバイオーム」、すなわち人間を含む生命を支えるバイオームの必要性を提唱するに至った根本的な洞察は、地球中での人間の立ち位置です。すなわち、陸上生物である人間の「生存」のために最低限必要なのは、上記の「水（淡水）」「食料」そして、「エネルギー」となると言えます。人間はこの最低条件の上に社会（コアソサエティ）を構築しています。が、人間がその生存基盤を得ることができる最大の要因は、地球という惑星にある地球環境そのものです。すなわち、海洋 7 割、陸地 3 割の環境の上に構築されている地球生態系そのものが、「人間の礎」である、という考え方です。これは、ヨーロッパ的な、人間中心論的な考え方ではないかもしれません。アジア的な「自然の中にある人間」に根ざした考えです。すなわち、人間が単独で「必要なものをすべて」宇宙に運定できるという考え方がヨーロッパ的な宇宙開発だとすると、我々が提唱しているのは、「人間をとりまく生態系、そのものが宇宙に移転された時点で、実際の宇宙での社会構築が可能となる、という考え方です。

しかしながら、そのコンセプトは「立派」と評価されながらも、実際に宇宙に無限の資源を持ってゆく際、人間にとって「役に立つ」立たないという基準で「必要最低限のもの」を持ってゆく、というのがそもそも今の有人宇宙開発であり、「遠征コアバイオーム」を定義し、そして、このフェーズでどう実現できるのか、という点も考えてゆく必要があると思われ、本書でも議論しているいくつかの論点は以下のとおりです。（１）生態系を選択的に持参することが可能か？（２）地上の動物は（酸素や有機物の）消費者となり、宇宙空間では人間と「競争」することになる（３）（人間にとって）好ましくない生態系要素が増殖した場合どのようにするか？（４）水圏生態系の多くは海洋生態系であるが、そもそも宇宙に海水を持参できるか？（５）宇宙での生態系の挙動をどのように予測するか？

例えば（１）について、非常に複雑な生態系を人間が好ましいと思うものだけを選択的に持参し、それが安定して存在することがそもそも可能か？という問題があります。選択する基準に既に人間の価値観をもって行なっているため、どうしても「本来」最適な生態系とはズレが生じます。（２）について、我々が認識しているベクトル・食はほとんど（酸素や有機物の）消費者となり、限られた酸素と有機物しかない宇宙では競争となります。（３）は、暗黙的かつ地球上での害虫や有害とされる動物や微生物が宇宙で繁殖した場合のように対処するか？という問題があります。（４）は、地球の生態系の多くは海洋生態系であるが、そもそも宇宙に「海水」を持ってゆくことが可能か？という点があります。（５）については、いっしょに地上での生態系予測モデルだけでは予測しえない影響（例えば重力の影響）

- 12 -

審、宇宙放射線の影響」があります。これらについて、どのような解決方法があるのでしょうか？

第二編「コアバイーム」章では、これらをもとに、宇宙海洋、宇宙森林と、生態系について議論を深めています。まず海洋系による「宇宙海洋」で、海洋の役割と宇宙森林について述べられています。次に村田氏らによる「宇宙森林」では、木材の宇宙利用と、宇宙での森林、そして木造人工衛星 Lignosat について述べられています。また、現在の宇宙における現実の環境維持装置 ECLSS（生命維持・環境制御技術）については、JAXA の桜井氏に述べていただいており、さらに宇宙空間に生態系を創造する、と題して、小林氏が詳しく執筆しております。

また、他の地球型惑星では、「地球生態系」が存在できないのは大気と水と液体の水の付着にあり、それさえ解決できれば生態系の移植は可能だと考えられるが、そもそも他の地球型惑星に地球生態系を持ち込むことは許されるのかどうか？ 惑星防護の観点から本件を検討する必要があります。さて、この点については、本書では十分に議論されておらず、現在準備中の「惑星」において議論することになります。

他「ゴラクノロジー」として、本書ではさらに、宇宙での長期滞在で問題になると考えられる「微小重力」と「宇宙放射線」を中心的な課題ととらえています。「微小重力」については、星島建設の大野氏による「人工重力」とそれを利用した宇宙建設について詳しく解説がなされています。本書ではさらに、宇宙での循環システムの必要性について市村氏より、また宇宙での食料エネルギーその場利用について後藤氏に、また宇宙食について三川氏より述べられています。宇宙放射線に関しては本書ではあまり議論されておらず、準備中の「惑星」での版になります。

さて、それに続く「コアノサティ」においては、宇宙社会形成の要となる要素として「宇宙法」について、慶應大学の青木氏より、宇宙法と国際法の共通点や相違、歴史について述べられています。さらに、「宇宙医療」について、京都大学の市田氏により詳しい解説がなされています。また、宇宙ビジネスの要といえる「宇宙観光」について、宇宙飛行士の山崎直子氏らより述べられています。

さて、最後に書籍の冒頭に述べられている「宇宙移住」に向けての序論について解説いたします。本書は、「有人宇宙—宇宙移住のための3つのコンセプト」と題しておりますが、これは書いたら「有人宇宙学 2.0」といえる新しい領域です。それでは、「有人宇宙学」の元々の姿はどこにあるのでしょうか？

「有人宇宙学」はもとより、本書の執筆者である土井隆雄宇宙飛行士が京都大学の特定教授になられ、更に構築された学問が始まりとしてあります。その本来の形での有人宇宙学が詳しく述べられているのが、土井隆雄氏本人による「有人宇宙学」の章です。その構築の際に最も明確にイメージしたのが「宇宙社会」の構築です。本書は、この本来の有人宇宙学の目指すべきところを再現させるために、厳しい区分を行い、再構築したものです。さらに、非常に特殊な「地球」という惑星が宇宙の中でどのような位置にあり、どのような惑星環境なら移住が可能なのかを解説されているのが、佐々木氏執筆の「惑星の特殊性から考える宇宙移住の条件」です。その次に、長年宇宙居住に関わってこられた JAXA 稲垣氏が宇宙居住に関する現実的なマイルストーンを描かれています。

おかげで本書は現在のところよくお求めにいられていただいておりますが、一方で品薄になり一部では入荷が困難になっていると聞いております。状況は改善されつつありますので、引き続きよろしくお読みします。

また、8月21日横浜ランドマークタワーで、本書の発刊記念イベントが開催される運びとなりました。

お近くの方は是非ご参加ください。

https://www.spaceinnovation.jp/seminar/?category=AB®ion=ST&product=006&?utm_source=facebook&utm_medium=social&utm_campaign=spaceinnovation

https://www.spaceinnovation.jp/seminar/?category=AB®ion=ST&product=006&?utm_source=facebook&utm_medium=social&utm_campaign=spaceinnovation

https://www.spaceinnovation.jp/seminar/?category=AB®ion=ST&product=006&?utm_source=facebook&utm_medium=social&utm_campaign=spaceinnovation

本書に関する紹介と購入場所以下のサイトをご覧ください。

<https://space-innovation.jp/2023/07/06/humanspaceinnovation/>

京都大学 SIC 有人宇宙学研究センター

<https://space.innovationkyoto.org/>

〒606-8501 京都市左京区青田本町 西田キャンパス本部構内 総合研究 16 号館 201 号室

編集人：宇宙木材研究室 三木典貴、豊田哲人、山本雅人

Tel: 075-753-5129 Email: spaceinnovation@mail2.wpi.kyoto-u.ac.jp

SIC 有人宇宙学研究センター Newsletter No.20

2023 年 8 月 1 日発行

参考資料 8-6 Spaceology Newsletter: 2023 年 9 月号

SIC 有人宇宙学研究センター NewsLetter 2023 年 9 月号 No.21

2023 年度 ILAS 有人宇宙学実習の紹介

有人宇宙学実習は、京都大学の少人数教育科目群である ILAS セミナーにて行われる、有人宇宙ミッションを模擬した体験学習です。【諸環境実習】・【宇宙森林実習】・【天体観測実習】・【模擬機小電力実験】・【宇宙無線通信実験】の 5 種類の課題を 1 週間かけて体験し、有人宇宙活動に関する包括的な視点と基礎知識を得ることを目的としています。

有人宇宙学実習は 2017～2019 年度は京都大学山天文台にて、2020～2021 年度は新型コロナウイルス感染症対策のために京都大学吉田キャンパスにて、2022 年度は京都大学飛騨天文台にて実施されました。今年度は 8 月 19 日から 8 月 25 日まで京都大学吉田キャンパスと京都大学フィールド科学教育研究センター（芦生研究林）にて実施されました。参加学生は学部 1 年生が主体で、学部 2 年生から 4 年生までの計 7 名の学生が参加しました。2～3 名でひとつの班として 1 週間共同生活を過ごすことで、チームワークがどのように形成されていくかを体験してもらいました。実際の有人宇宙ミッションでも、宇宙空間という特殊な閉鎖環境で決められた時間内に数多くの様々な仕事をチームで作業することが要求されます。そこで本実習では下記のような時間割で進められます。

時間	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション
2	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション
3	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション
4	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション
5	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション
6	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション
7	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション
8	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション
9	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション
10	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション
11	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション
12	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション
13	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション
14	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション
15	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション
16	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション
17	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション
18	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション
19	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション
20	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション
21	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション
22	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション
23	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション
24	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション	開講式・オリエンテーション

2023 年度 ILAS 有人宇宙学実習時間割

この時間割は、毎日 2 つ以上の課題に取り組めるよう、個々の課題が講義→実験→解析・考察によって段階的に知識を深めていくように作成されています。班内でのチームワークがなければ成功を収めることが難しい課題がスケジュールとなっています。参加学生には有人宇宙学実習を通して、人類が宇宙に展開する意義を自身の体験でもに感じ出してもらいたいと考えています。有人宇宙活動に興味のある学生の皆さんはぜひ有人宇宙学実習に参加してもらいたいと思います。（島谷陽介 記）

- 1 -

横浜未来機構宇宙プロジェクト 第 2 回ミートアップ

横浜未来機構（YOXO）では、横浜に「宇宙をテーマとしたムーブメント」を巻き起こしていくべく、宇宙プロジェクトを立ち上げました。第 2 回は、キックオフでも開催いただいた京都大学 SIC 有人宇宙学研究センター長の山崎先生の新しい「有人宇宙学：宇宙移住のための 3 つのコアコンセプト」を題材に、座談会形式で開催されました。



登壇者は以下の 5 名で、バックグラウンドも年齢も実に多様な 40 名以上が参加しました。

- ・京都大学 SIC 有人宇宙学研究センター長・山崎康亮氏
- ・宇宙航空研究開発機構（JAXA）研究開発部門第二研究ユニット研究領域上幹・榎井誠人氏
- ・宇宙ビジネスメディア「UchuBiz」編集長・藤井涼氏
- ・株式会社 Kanatta 代表取締役・井口忠氏
- ・京都大学大学院総合生命学専攻博士課程・富田キアノ氏

開会の挨拶として、富田氏「宇宙飛行士・山崎氏（特任准教授）からのメッセージを讀み上げました。山崎氏は宇宙に移住環境を構築することが地球の持続可能性にもつながると述べ、イベントでの活発な意見交換を期待しました。

名登壇者からの自己紹介の後、山崎氏「有人宇宙学：宇宙移住のための 3 つのコアコンセプト」に関する簡単な説明を行いました。著書では宇宙移住のための 3 つのコアコンセプト（コアバイオーム、コアテック/ロジー、コアサステイ）に基づいた研究の最先端が紹介されています。コアバイオームは水や食糧の生産を支える宇宙空間の自然環境であり、コアテック/ロジーは人工電力や資源・エネルギーの利用に関する概念です。これらを基盤として宇宙空間での社会であるコアサステイが成立します。著書では専門家が各概念について考察し執筆しています。

議論は司会者の榎井氏から参加者への「他の惑星に住みたいですか？」という質問から始まりました。「月が火星か、どちらが住みやすいのか？」や「火星までの所要時間はどのくらいか？」などの質問が活発に行われました。

榎井氏は環境制御の観点から宇宙長期滞在について意見を述べました。火星訪問には往復で 2 年以上の時間がかかり、その間の生命維持には大量の水や食糧が必要であり、資源の再利用可能性が重要であると述べました。

井口氏は宇宙空間での食糧供給について、宇宙食コンテストで優勝した経験を持ちながら、宇宙という環境的制約にこそ必要なる栄養を考えながら仕行循環する過程の楽しさを伝えました。

続いて榎井氏は宇宙と水資源・海に関する話題に移りました。山崎氏は火星に海を作るといふ夢を語り、

- 2 -

地球型生命を維持可能な海のような環境を火星に持つべく考えを示しました。また、イベント開催地・横浜の海と宇宙分野のリンクについても榎井氏と、プロタビターの榎井氏と藤永高秋氏が宇宙飛行士選抜試験受験者向けのダイビング指導プログラムについて紹介しました。宇宙での無重力体験、三次元的な動きという観点から海と宇宙空間は共通点を持っていると、横浜・宇宙の繋がりを強調しました。

議論は宇宙でのビジネスチャンスや社会の形成へと展開され、榎井氏はこれまでに多くの宇宙ビジネス取材した経験から、水・電力・放射線といった生命維持の部分にビジネスチャンスがあるのではないかとコメントしました。富田氏は宇宙での集約生活におけるボトムアップ型の社会を率いるリーダーシップであるシェードリーダーシップの重要性を強調し、合意形成のための丁寧な話し合いの必要性を述べました。

ビジネスの面では、米国のアルティメット計画（※1）に課題が及び、ロケット・マシンやスペース X など参加する民間企業の技術開発が想像を超えるスピードで進んでいることが示されました。

日本においても、月に 1000 人規模の人が暮らす社会を作るための国際的な勉強会「MOON VILLAGE（※2）」のシンポジウムが今年 12 月に急遽と見取で開催される予定で、国際レベルにとどまらず民間のチームでも有人を含む月探査への動きが加速していくことが見られます。



座談会は登壇者だけでなく参加者も活発に意見を交換し、自発的な対話が始まりました。イベントの開始時には、山崎氏のランセサイザーと京都大学学部生・大学院生制作の動画との共演もありました。

最後に、参加者からは登壇者と参加者の多様性に感謝したとの感想が寄せられ、異なるバックグラウンドを持つ人々がロースーパーすることで生まれるイノベーションの素晴らしさを実感する有意義なイベントになりました。

※1 アルティメット計画（Artemis program）

アメリカ合衆国連邦政府が出資する有人宇宙飛行（月面着陸）計画。この計画は、主にアメリカ航空宇宙局（NASA）と NASA が提携している米国の民間宇宙飛行会社、JAXA を含む各国の宇宙開発機関によって実施される。計画自体は NASA が主導しているものの、月面での持続的な滞在を確立し、民間企業が月面探査を構築するための基盤を築き、最終的には人類を火星に送る（有人火星探査）という長期的な目標に向けた次のステップとして、国際的なパートナーシップ

- 3 -

プロジェクトを推進させる上で重要な役割を果たすことが期待されている。

※2 Moon Village Association

オーストラリアのウーレンに拠点を置く非政府組織（NGO）として 2017 年に設立。月に社会を作ることに関心のある政府、産業界、学術、一般の 600 名を超える参加者と、65 か国以上からの 33 の機関会員で構成されており、関係者のための常設の世界的な非公式フォーラムとして機能している。

2023 年 12 月 6 日～10 日に急遽と見取で大規模なシンポジウムとワークショップの開催が予定されている。

<https://mva2023.jp/>
（榎井誠人・森下至子 記）

大学院横断型科目【宇宙居住学】の紹介

SIC 有人宇宙学研究センターの教員が中心となって実施する大学院横断型科目「宇宙居住学」についてご案内いたします。

本講義では、センター長の山崎康亮 教授をはじめ、大野環也 SIC 特任准教授、榎谷芳文 SIC 特任教授、山崎直子 特任准教授、榎谷光光 SIC 特任教授がそれぞれ担当を行います。

21 世紀後半に人類が月・火星への移住を現実のものとするという未来を想定し、それに必要な「基幹技術と社会システム上の課題点を統合し、宇宙時代の基幹学問体系として確立すること」を目標としています。地球にあり宇宙への移住を見据えた学際系システムを「コアバイオーム指向」とし、「生命維持システム」の維持に必要な技術体系を「コアテック/ロジー」と名づけ、また、これらを備えた「循環型」の社会を「コアサステイ」と名づけ、「宇宙社会」の実現を推進・模索します。

本宇宙居住学においては、月・火星での人間の社会の構築を目標とし、その上に「生命維持装置」を基盤とする「循環型社会」を構築するための技術と学び、人間が長期健康な生活を送るための「人工重力設備」などの基幹技術を駆使し、循環型都市「コアシティ」を構築し、これらを地球における都市の概念に還元し、地球・宇宙での循環型社会の構築に向けた、基幹的学問を身につけることが期待できます。

詳細は以下の URL をご参照ください。

<https://space.innovationkyoto.org/wp-content/uploads/2023/08/syllabus.pdf>

配当学年は大学院生となっておりますが、聴講を希望される学部生は、以下のメールアドレスへ連絡をお取ください。

envhazards@qsais.kyoto-u.ac.jp
（白根聖夢 記）

大学院横断型科目【有人宇宙学】の紹介

有人宇宙学は大学院横断型科目として水曜 5 時に講義される予定です。大学院生用講義ですが、学部生も聴講可能です。この講義を受けたと宇宙社会の設計ができるようになります。有人宇宙学のシラバスをご覧ください（土井隆雄 記）。

- 4 -

寺田昌弘・京都大学学際融合教育研究推進センター、宇宙総合研究ユニット 特定准教授
第4回 1月21日（日）13:00～14:30
「重力環境がヒトの時間認知に与える影響」
足立悦彦・京都大学基盤研究（S）言語思考分野 准教授
第5回 2月18日（日）13:00～14:30
「宇宙飛行の人類学的意味 ―文化人類学の視点から―」
寺田昌弘・神戸大学大学院国際文化科学研究科 教授
第6回 3月17日（日）13:00～14:30
「火星移住最大の障壁は？ 小惑星・惑星・大気・砂嵐？」
山崎康浩・京都大学大学院融合共生学専攻 教授、SIC 有人宇宙学研究センター センター長

【注意】
・都合により内容が変更になることもございます。
・キャンセルによる返金はできません。あらかじめご了承ください。
詳細は以下をご覧ください。
<https://www.ojbc.co.jp/mananto/>
(白根 孝 記)

第7回 Global Moon Village Workshop & Symposium MVA2023 登録開始

2023年12月6日から10日に岡山（倉敷・岡山）と鳥取で開催される第7回 Global Moon Village Workshop & Symposium (MVA2023)の登録が開始されました。MVA2023には、岡山大学、鳥取大学とともに、京都大学もSIC 有人宇宙学研究センターの山崎センター長や、山崎直子宇宙飛行士（特定准教授）、宇宙ユニットの寺田昌弘特定准教授らが「ガナリ」の一員として関わっております。

第7回は自然と宇宙と人間との関係性を探る2つの都市、岡山（岡山・倉敷）鳥取を会場とし、持続可能な人類の存在と月社会への想像力を高めることをコンセプトに掲げています。
<https://www.youtube.com/watch?v=9QdehWyleC4>

本シンポジウムでは、月社会実現のための技術的課題、月経済圏についての基礎的枠組みや、月面資源開発における民間の参画や、月面居住についての議論、そして、コパイアムコンセプトについての議論が予定されています。また学生イベントも企画されています。我が国で2019年に続いて二回目の開催となるGlobal Moon Village Workshop & Symposiumですが、たくさんの参加者をお待ちしております。

MVA2023では以下のテーマでの講演論文をお待ちしております。締め切りは10月15日です。

【募集テーマ】

月の計画とミッション、月建築のコンセプトと課題、宇宙資源、探査、居住、生命科学、経済学を含む月商業、電力に重点を置いた月のインフラと運用、人類の存在およびまたは前駆体を含む月科学、法的側面と社会的考察、文化・人類学的考察、アウトリーチ/教育、月のガバナンス、国際政策と協力、等。登録方法等詳しくは、

<https://mva2023.jp/>
をご覧ください。

開催スケジュール

8月30日 登録の開始(オンライン)
10月15日 講演要旨提出締め切り(オンライン)
10月30日 講演受付通知(Eメール)
11月15日 登録の終了(オンライン)
12月6日～12月10日 第7回 Moon Village ワークショップ&シンポジウム(倉敷、岡山、鳥取)
(森下至子 記)

9・10月のイベント予定

日時	内容	会場
9月7日(木) 14:00 - 17:00	JAXA SDGs シンポジウム 中嶋 一郎 (住友林業株式会社 京都市研究所 技術長) 宇宙を含めた木材活用におけるSDGs 他 https://www.cassu.org/event/230907/	X-NIHONBASHI TOWER (日本橋三井タ ワー) 東京都中央区日本 橋本町2-1-1 7階 オンライン有
10月17日 (木) ~ 20日 (金)	第67回宇宙科学技術連合講演会 宇宙木材研究室 野木翔太郎 (B2)、豊田信大 (B3) 登壇予定 https://branch.jsass.or.jp/ukaren67/	富山国際会議場・ANA クラウンホテル富山 (富 山市)
10月10日 (火) 13:25 - 14:25	朝日地球会議 2023 DAY2 土井 博雄 (京都大学特定教授)、新井 剛 (千葉工業大学環境資源研究センター 所長) 月へ火星へその先へ 宇宙開発の未来は https://www.asahi.com/eco/awf/	有楽町朝日ホール 東京 都千代田区有楽町2丁 目5-1 有楽町センタ ービル 11F オンライン有

※詳細は朝日 Web ページ (<https://space.innovationkyoto.org/news/>) で公開します。
(辻 哲子 記)

LignoSat 紹介 EPS 班

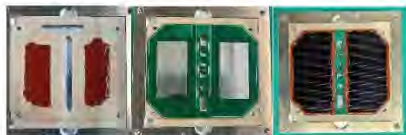
LignoSat 開発チーム EPS 班の活動についてご紹介します。

EPS 班の業務は、主に衛星全体に絶え間なく電力供給を行えるように電力を管理することです。具体的にはバッテリーのセルのスクリーニングやデプロイメントスイッチの選定を行いました。デプロイメントスイッチとは、ISS から衛星が放出される際に衛星を起動させるスイッチのことです。衛星の運用を行う際の最初の開門となっており、厳しい選定を満了しにスイッチの選定を行う必要があります。



デプロイメントスイッチ選定の様子

また、世界初の試みである木材と太陽光パネルの接合を独自に行っています。まず木材に PCB 基板 (Printed Circuit Board: 回路基板) を接合し、その上に太陽光パネルを接合しているのですが、木材に PCB を接合した事例はありませんでした。そこで木材と PCB の接合界面をプライマーの有機物といった実験を独自に行い、もっとも接着力が高かった、塗布面を木材にして接着剤にプライマーを加える方法を採用しました。



太陽光パネル接合の様子

現在は主に FM(フラットモデル)用に木材に太陽光パネルを接合する作業や、バッテリーの製作をする作業を行っています。5月から新たに入ってきた新メンバー3名の研修を行っています。EPS 班の担当である基板の配線や接合の知識を吸収してもらいながら、実際の製作にも関わってもらっています。いち早く LignoSat の主力として活躍してもらえようというサポートを心がけていきたいと思っています。

(岡谷陽樹 記)

研究紹介

低圧下樹木育成プロジェクト

水分生理 (植物と水との関係について)

京都大学樹木育成チーム

池田武文・遠藤早緒里

はじめに

樹木育成チームで実施しているゼミではテーマの一つとして樹木と水との関わりを扱う水分生理をとりあげています (Spaceology Newsletter 202308)。その appendix1 を以下に記します。

水があらゆる生物にとって必要不可欠な物質であることは万人の認めることですが、光合成研究に比べて水分生理に携わる研究者は少なく、例えば高等学校の生物の教科書でも水分生理学に関する記述は2、3ページほどにとどまっています。このような現状は、日本の国土が水に恵まれているため、水が自然に分布する森林の存在を制限することはほぼありません。しかし、今後さらに温暖化が進行すると、気温の上昇による蒸発散量の増加、集中的な降雨のため必要な地域で必要な時間に十分な水が得られないなど、水が樹木の森林の成立を制限することとなる可能性が懸念されています。

と、ここまでは地球での話です。私たちが目指している火星、月での樹木育成に際しては水はどのような状況が想定されるでしょうか。この点について何らかの方法で火星や月で水を得ることができるとを前提に想像してみよう。私たちは日々生活している日本でまさに「漏水の如く」あたり前のように水を消費 (浪費?) しています。おそらく火星、月ではこのような水の消費はあり得ないでしょう。得られた水の使用に際しては優先順位が設けられ、生物に対しては、第一に人の生活、次に作物生産、そして最後に樹木育成ではないでしょうか。つまり樹木育成に対しては最も節水が求められるのではないのでしょうか、となると、樹木の水分生理に関する理解を深めることはとても重要ですね。

環境は植物の生育や生存と密接に相互に関連しています。その環境は大きく二つに分けることができます。一つは、無機的環境、つまり光、温度、水、風などの気候要因や土壌中の無機成分 (肥料) であり、非生物的環境とも呼ばれます。世間で取り上げられる環境は主にこちらに該当します。これに対して、対象となる植物以外の植物や微生物、人を含む動物などの生物要因を生物的環境と呼びます。病原微生物はこちらに該当します。本稿では、非生物的環境の中の水と植物の関わりについての基礎的事項を記します。

陸上植物の進化

今から38億年前の生命誕生後長きに渡って生物の多くは水中で暮らしてきました。それらの中にはシアノバクテリアなど光合成を行う生物が出現しました。光合成反応の中で排出された酸素により、水中、大気の酸素濃度は増加し、やがて地球上空にオゾン層が形成されました。オゾン層が生物にとって有害な宇宙からの紫外線を遮断することで、植物は4億7千万年前に陸上に進出することができた。陸上に進出した

た植物は水中と比べて格段に豊富な太陽からの光エネルギーを得ることが可能となりました。しかし、陸上植物を取り囲む大気は水中に比べて極端に乾燥しているため、陸上に進出した植物は体表面からの蒸発散により水不足となり、蒸散（しおれ）の危険性が格段に増大します。それを避けるために、植物はその形態・機能の面で次の一つの進化を遂げました。

1. 水中植物の場合、植物体表面から取り入れた水は隣接する細胞の間で細胞壁と細胞膜を介して水は移動しますが、陸上植物は根から取り込んだ水を植物体全体に効率的に輸送するための専門の器官であるパイプ状の導管（図1）と仮導管（図2）を分化させました。
2. 水の損失の抑制するために葉の表面にクチクラ¹（図3）を発達させました。
3. 葉の表面に気孔²（図4）を配置し、その孔を開閉することで水の蒸散を抑制します。

これらから、土壌中の水を地上部の植物体全体に効率的に配分し、葉からの水分の損失を抑制するとともに、葉に開けた孔からの水の損失を制御できるようになりました。しかし、植物はこれしおれを完全に防ぐことはできません。以下に植物の水不足に対する応答について記します。

¹ : クチクラは外側のワックスの層と内側のクチクラ層の二層から構成されます。ワックスは長鎖脂肪酸（C 鎖が 12 以上）や環状化合物、クチクラ層はバイオポリマーであるクチンを基質とし、細胞壁の炭水化物繊維が伸びて入り込むこともあります。クチクラは完全に蒸散をゼロにすることはできず、若干の蒸散が起こり、これをクチクラ蒸散と呼びます。

² : 斜になった孔辺細胞が収縮するとそれらの間に隙間ができ気孔が開いたとみなし、孔辺細胞が膨らみ拡大すると隙間はなくなり気孔が閉じたとなします。

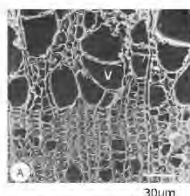


図1 カロリナポプラの枝の内部横断面
水を通す導管 (V) が発達
(Ikeda and Suzuki, 1985)



図2 クロマツの枝の内部横断面
ほとんどが仮導管で構成
白い円形は樹細胞で
松やニを貯める空間
(Ikeda and Kiyohara, 1995)



図3 ハイマツ針葉のクチクラ層
(Nakamoto et al, 2012)

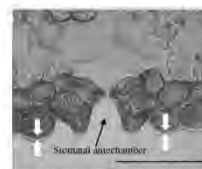


図4 ハイマツの気孔 →
(Nakamoto et al, 2012)

50µm

植物細胞の水分状態を知るには

植物は水が不足すると成長が衰え、萎れ、枯死します（植物が枯れるとは植物が死ぬことなので、枯死という用語を用います）。では植物はどの程度水が不足すれば成長が衰え、そして枯死するのでしょうか。そのために植物の水分状態を客観的に知る必要があります。

植物に限らず、あらゆる物質についてそれらがどの程度の水を含んでいるかは、含水率として表記されることが多く、しばしば開示する数値です。植物ではどうでしょうか。例えば葉の含水率は（1）式で求められます。

$$\text{含水率 (\%)} = (\text{全生重} - \text{乾燥重}) / \text{全生重} \times 100 \quad (1)$$

全生重は葉を採取した時の重量

全生重と乾燥重は葉の成熟段階や季節、植物体 1 個体の中の葉が付いている位置、一日のうちでも時刻によっても変化するもので、同じ値であっても葉の生理状態が同じとは限りません。そのため、データの比較には測定条件が同じになります。

そこで、相対含水率をばつと（2）式）相互比較が可能となります。

$$\text{相対含水率 (\%)} = (\text{採取時生重} - \text{乾燥重}) / (\text{飽和時生重} - \text{乾燥重}) \quad (2)$$

葉が含む水 100%（飽和時生重）のうち、葉を採取したときに含まれている水（採取時生重）の割合が求められます。しかし、値が相対値であるため、水の動き、つまり水がどの方向に動くのかを知ることはできません。

これを解決するために水ポテンシャルという概念が導入されました（Slatyer 1967）。これは熱力学の概念から導き出された概念で、植物のみならず、あらゆる物質の水分状態を表する値として用いられています。以下にその概要を記します。

1）水ポテンシャルとは

水ポテンシャルは植物の水分状態を表すだけの指標ではなく、有機体、無機体に問わず、ある系の水がもっているエネルギーを表す指標です。水ポテンシャルが高いほど系内の水のエネルギーが高いことを示します。連続した複数の系の間の水移動は、水ポテンシャルの高い系から低い系に向かって起こります。

水ポテンシャルは ψ で表し、単位は圧力（MPa）です。純水の水ポテンシャルが最大値 0 となり、系内に物質が溶けていると水分子の間で張力が生まれ、系内の水のエネルギーは低下し、水ポテンシャルは負の値となります。

一般に、水ポテンシャルは（3）式で表されます。

$$\psi_w = \psi_s(n) + \psi_p + \psi_m + \psi_g \quad (3)$$

ここで、 ψ_s は浸透ポテンシャル、 ψ_p は圧ポテンシャル、 ψ_m はマトリックスポテンシャル、 ψ_g は重力ポテンシャルです。浸透ポテンシャル（ ψ_s ）は系内に溶けている溶質の濃度（つまり、浸透圧にマイナス記号をつけた値）です。なお、 $\psi_s = (n/V) \cdot RT$ で求まるので、溶質濃度（ (n/V) は溶質のモル濃度）が高くなるほど ψ_s は低くなります（浸透圧は上昇）。系内に水を引き込む力が大きくなります。 ψ_g は高さが高くなるほど 0.01MPa 低下します。 ψ_g は植物体の高さが低い植物では無視できますが、樹高が高い樹木の葉では重力ポテンシャルを考慮する必要があります。例えば、樹高 100m の位置では水が落下しないように常に 1MPa の力で水を保持しなければなりません。マトリックスポテンシャル ψ_m は毛管現象により細胞壁や土壌粒子の表面に水分子が吸着される力であり、符号はマイナスです。植物細胞の ψ_m は無視できるほど小さい値です。細胞内に水が入り細胞質と液胞が膨らみ、細胞壁からの応力により細胞内の水に圧力がかかります。これが圧ポテンシャル ψ_p で、膨圧に相当するプラスの値であり、最低値は 0 です。この圧力がプラスとなることで細胞は膨大し、組織は形を保っています。しばしば経験する事例として、庭、ベランダなどで育てている鉢植えの草花が水やりを怠ると葉が萎れ、葉の張りが失われた状態になります。これが圧ポテンシャルが低下していることを示しています。圧ポテンシャルがわずかに正の値を維持しさえすれば、水やりを怠るとシャキッと元どおりに回復します。しかし、圧ポテンシャルがゼロになると再び水やりをしても回復できなくなり、枯れてしまいます。

以上より、植物細胞の水ポテンシャルは（4）式で表わしますが、樹高の高い樹木では右辺は ψ_g となります。

$$\psi_w = \psi_s(n) + \psi_p \quad (4)$$

2）細胞の水分状態を維持し、しおれないための植物細胞の対応

植物がしおれるとは、細胞に水不足（水欠乏）が生じ、植物細胞の原形質（細胞膜）を取り囲む細胞壁とそれ外側の細胞膜が離れる、つまり原形質分離を起こし、細胞内への水の供給が断たれることを意味します。つまり、しおれないためには原形質分離を起こさないように（4）式の ψ_p をプラスに保つことが必要である。そのためメカニズムとして、1. 浸透調節と 2. 細胞壁弾性率の変化があります（図5）。

1 浸透調節：（4）式のうち ψ_p は細胞内の水の多少によって変動的に決まる値です。原形質分離を防ぐには常に $\psi_p > 0$ が必須です。植物体からの脱水が進むと ψ_w はさらに低下するので、 $\psi_p > 0$ を維持するには ψ_s をさらに下げなければなりません。そのためには、細胞内溶液の溶質濃度を高くする必要があります。その方法の一つは、細胞内の高分子物質を低分子物質に分解することです。例えばデンプンを糖に分解、あるいはタンパク質をアミノ酸に分解、などです。もう一つは、細胞内溶液の水分量そのものが少なく、結果的に溶質濃度が高くなることです。このような対応を浸透調節と呼び、前者を積極的な浸透調節、後者を消極的な浸透調節と呼びます。様々な場面で浸透調節 ψ

ψ は種間には差異があるとともに、1 本の樹木でも季節によって大きく変動します。例えば、スギの ψ_s の 1 年間の変動を見ると、スギの針葉が展開する 5 月上旬に最大値を示し、針葉の成熟と盛況にかけて、 ψ_s は低下します。すなわち針葉の成熟と夏の乾燥に対して浸透調節が機能していることを示しています。

2. 細胞壁の弾性率の変化：細胞壁の弾性率は細胞膜の弾性率に比べて大きく、つまり細胞壁は細胞膜に比べて柔軟性に劣ります。細胞内の水分が減少したとき、細胞壁は柔軟性があるため、細胞壁は原形質の体積の減少につれて風船がしぼむように小さくなります。このしぼみに対して細胞壁の柔軟性は細胞膜のそれに比べて劣るため、ある程度原形質の体積が小さくなると細胞壁は細胞膜の収縮に追いつけず、細胞壁と細胞膜の間に隙間が生じ、細胞壁と細胞膜が完全に離れてしまいます。これが原形質分離です。そこで細胞壁をより柔軟にし、細胞壁の収縮に細胞膜の収縮が追いつくことで両者の間に隙間が生じることなく、原形質分離は起きないのです。ここで注意すべき点として、原形質分離は起きない限りでも、細胞の水分が極度に低下していることは変わりありません。

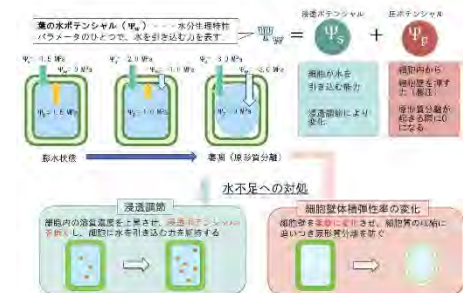


図5 葉の水分状態と水不足への対応

参考文献

- Ikeda, T. and Suzuki, T. 1984 Can. J. For. Res. 15: 98-102
- Ikeda, T. and Kiyohara, T. 1995 J. Exp. Bot. 46: 441-449
- Nakamoto, A., Ikeda, T. and Maruya, E. 2012 Can. J. For. Res. 42: 167-178
- Slatyer, R. O. 1967 Plant-water relationships. Academic Press, London



参考資料 8-7 Spaceology Newsletter: 2023 年 10 月号

SIC 有人宇宙学研究センター NewsLetter 2023 年 10 月号 No.22

株式会社久我グループの皆様が研究室を訪問されました！

2023 年 8 月 9 日、11 日、9 月 6 日の 3 日間に渡って、株式会社久我グループの 18 名の皆様
が宇宙木材研究室を訪問されました。株式会社久我は創業 120 年を誇る大阪の建築資材販売商
社です。1904 年（明治 37 年）に大阪港湾での木材の市売りが始まり、長年、主として住宅用木
材の流通の中心役割を果たし、関西圏の経済発展に大きな貢献をされてきました。現在では、太陽
光発電事業、リノベーション工事、非住宅市場などの新規分野にも参入し、京阪神を網羅した営業展
開で、地域に密着した体制を更に拡大されています。

この春、宇宙木材研究室が行ったクラウドファンディングでは久我グループ各社の皆様から多大なご支
援を賜りました。宇宙木材研究の将来性に注目していただき、人工衛星組み立て室、各種実験装置、
真空木材実験装置、植物低圧実験システム、衛星通信システム、屋上の通信アンテナなどを見学して
いただきました。久我グループの皆様が選りこまれた木材に関する知識や流通網を活かして、今後私
たちの取り組み宇宙木材研究と連携していければと思います。

最後になりましたが、株式会社久我グループの皆様からのご支援に心より感謝申し上げます。
（辻原 智子 記）



- 1 -

鹿島建設 presents 火星に住もう！SEASON3 講演報告

SIC 有人宇宙学研究センターとよみうりカルチャー OSAKA の連携講座「火星に住もう！
Season3」（全 6 回）の最終回が 9 月 3 日、読売京都ビル（京都市中京区）で開催され、宇宙航
空研究開発機構（JAXA）宇宙科学研究所教授の稲富裕光先生がゲストで出演。最近の国際
宇宙探査の動向や、人類が宇宙で長期活動するための課題や展望を紹介。京都会場では、S I
C 有人宇宙学研究センターの山敷健亮センター長がモデレーターとして登壇した。

オープニングでは、S I C 有人宇宙学研究センターの山敷健亮センター長が、稲富先生のフ
ロアに加入。今夏 7 月に発行された「有人
宇宙学 宇宙移住のための 3 つのコンセプト
（山敷健亮編）」について紹介。稲富先生
には「コアアジェンダ」「コアテクノロジー」「コアバイ
オーム」の中の「コアテクノロジー・宇宙居住と観
望」の部分を執筆していただいたと話があった。

本講演では、「JAXA の宇宙居住について」中心的な先生として、現場でどのような宇宙開発プロジェクト
が動いており、具体的にどのような技術を使っているのか、その将来構想についてお話をいただければ」と
挨拶があった。

稲富先生の講演では、「近年、国政
に占められ民間企業も月への着陸、そし
て探査を目指すようになり、有人を含む
探査活動への動きが加速。月そして火
星での長期活動に向けて、まずは月
への何かができ、そこから何かが進んでい
るのかを中心に解説。月面居住に対
するタイムスケジュールを具体的に示
し、現状の月・火星探査について、それ
がどこを目指しているのか。究極的には人類が月・宇宙空間で長期活動する時に抱えている問題は何か
のか。これから何を考えるのかについて段階的に解説。

月探査のこれまでの流れには、「科学」と「有人滞在」の 2 つに別けられ、「科学」では、仮説にはじまり
1960 年の Apollo 計画、2000 年に入り衛星がやがて川による詳細な月の情報を得ることができた。2020
年前半に入り今後の探査として、月そのものを知るために広範囲の探査探査・サンプルリターンが必要。
「有人滞在」では、NASA をはじめ、ロシア、中国、日本が積極的な人類を送り込もうとしており、月には
資源があるのではないかと期待。各々も短期滞在ではなく、中長期滞在を意図している説明。

続いて「日本における月・火星探査の取り組みの例」について紹介。2023 年には、狙ったところ
（100m 以内）に着陸可能な「小型月着陸実証機（SLIM）」の打ち上げが計画。24 年打ち上
げ目標の「月極域探査ミッション（LUPEX）」、「火星探査計画（MMX）」、20 年後半打ち上



- 2 -

げ目標の「中堅ラング」、30 年代前半目標の「有人」と「ローバ（探査）」について説明。本格的な月
開発の準備には、段階的な準備を進めていく必要がある。そのためには「月面の環境を知り、異なる場所
で精密な調査」「月面の活動を行うために必要な技術開発」「月面の移動や人工物の建設、建築など
（インフラ整備、資源利用）を考えると、レゴリス（砂）の特性を理解する」この 3 つがポイント。ロボット
や人間による宇宙の拠点構築で、長期的安定に多量の電力を供給できる電源が不可欠。月表面に
無尽蔵にあるエネルギーの成分は、酸素、シリコン、鉄、アルミ、チタン、カルシウム、マグネシウムなどの元素
が豊富に含まれており、酸素は生命維持や推進剤、シリコンは太陽電池、鉄・アルミニウムは構造材料
等やセメント等の様々なエネルギーの可能性を秘めていると話された。（山敷健亮 記）

日本海洋学会 2023 年秋季大会の開催

京都大学吉田キャンパスで開催された 2023 年日本海洋学会秋季大会において、セッション 23F-
16「全球から沿岸域までの海洋と陸水相互作用」が、山敷健亮（京大総合生命学館 SIC 有人宇宙
学研究センター）、宮澤泰正（APL-JAMSTEC）、本田新一郎（九州大学応用力学研究所）、
Behara Swadhin（APL-JAMSTEC）のコンビで開催しました。



本セッションでは、水惑星地球における海洋と陸水流入の相互作用に焦点を当て、地球上の惑星
規模の物質と熱輸送過程における海洋と陸水の役割の評価や、淡水流入が気候や生態系に及ぼす影
響、他の惑星への海洋環境移行の可能性について議論を深めました。最初の講演は郭 新宇氏（愛媛
大学）の「富山県の水・栄養塩循環過程を目的とした富山湾の物理・低次元生態系モデル構築」と題し
て、外洋のモデル JCOPE を境界条件とした富山湾の複合モデルによって、河川だけでなく地下水からの
栄養塩供給も議論されました。

次に招待講演として益田 玲爾氏（京大フィールド研）は、京都府舞鶴湾・高浜町高浜・吉田町気仙
沼湾根拠地での調査結果から示唆される環境の変化について、海洋温暖化に伴う魚類相の変化の過
渡期による目撃調査の結果、そして高浜原発廃止・不稼働による湾内の魚類相の変化（豊漁時にはソ
ラスメダイが安定して生息）について報告しました。

- 3 -

続いて、宮澤 泰正氏（APL-JAMSTEC）は、海洋変動の予測可能性の拡張と理解を目的とした
全球スケールから内湾まで様々な解像度の海洋循環モデル開発・運用について、JCOPE DIGITAL T
WIN OF EARTH としての JCOPE の様々な解像度の太平洋を中心とした予測モデルを紹介。海洋
予測とデータ量から、さまざまなスケールの流れと、そのモデリングによる解像度、について紹介しました。

続いて、美山 透氏（APL-JAMSTEC）は、リアルタイム河川流入を組み込む JCOPE-T DA を用
いて行った、台風の大気・海洋・沿岸に及ぼす影響のシミュレーションにおいて、JAXA To
day's earth との協力によるプロダクトと、河川流出の計算結果について発表しました。続く横田 勇貴氏
（東大 AORI）は、全球海水海洋大循環モデル COCO を用い、北極海における河川流出が海水や大
西洋子午線循環（AMOC）に与える影響の評価について発表しました。

続いて、木戸 晶一郎氏（APL-JAMSTEC）は、準全球高解像度海洋解析プロダクト JCOPE-FGO
を利用した、世界の大気から海洋に流れ込む淡水が海洋上層の塩分場と与えるインパクトの検証に
ついて、アマゾン川の大気からの影響を含む、全海洋への淡水の影響評価を行いました。



上段左より 郭氏 益田氏 宮澤氏
下段左より 美山氏 木戸氏 越田氏

- 4 -

最後に山敷 康亮氏が宇宙移住における海洋の役割と沿岸域の重要性において、宇宙移住の3つのコンセプト、宇宙における海洋（内部海・他の天体の液体水・過去の海洋（火星・金星）・ハビタブル太陽系外惑星）と、コパイームにおける海洋の位置付けを示し、そして、Behara 氏らの(Digital Twin of Mars Ocean)について講演しました。海洋学会では同時開催に4つのパネルセッションが開催されていましたが、多くの参加者と思われました。(山敷康亮 記)

【学ント】「火星に住もう！」Season4 の紹介

オンライン (ライブ・オンデマンド配信)

■DMG MORI presents 火星に住もう！ Season4

教室 オンデマンド

1回1000円 (見返り配信付き)

いずれも日曜、午後1時～2時30分、読売京都市ビル4階会議室（京都市中京区丸太町六角下）。

近年、国際にとらず民間も、火星への探査を目指すようになり、有人を含め探査活動への動きが加速しています。人類にとって、その活動圏を宇宙へと広げ、そこで持続的な活動拠点、究極的には社会を構築することは重要なテーマです。京都大学大学院総合生存学館教授で、SIC有人宇宙学研究センター長の山敷康亮氏を中心に、宇宙進出に向けた研究開発や課題について、最前線で活躍する専門家がロー方式で解説します。

▽10月8日「宇宙で生きる！宇宙居住と物資循環」

榎井誠人・宇宙航空研究開発機構(JAXA)研究開発部門 第二研究ユニット

▽11月19日「宇宙ビジネス最新情報—ここまで現実的になった宇宙ビジネス1—」

稲波紀明・INAMI Space

Laboratory代表取締役

▽12月17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、宇宙総合学研究所特定准教授

▽1月21日「重力環境下での時間認知と与える影響」

足立義典・京都大学霊長類研究所思考言語分野准教授

▽2月19日「宇宙進出の人類史的意味—文化人類学の視点から—」

岡田浩樹・神戸大学大学院国際文化学研究所教授

▽3月17日「火星移住の最大の障壁は？小惑星・彗星・大気・砂嵐？」

山敷康亮・京都大学大学院総合生存学館教授でSIC有人宇宙学研究センター長

協賛=DMG森精機

・5・

申し込みは、以下のカレンダー大版

以下の二次元コードからお申し込みください。

お問い合わせは、電話 06-6361-3325（平日 10時～17時）



DMG MORI presents 火星に住もう！ Season4

火星への移住を想定した連続講演です。京都大学大学院総合生存学館教授でSIC有人宇宙学研究センター長の山敷康亮氏を中心に、最前線で活躍する専門家がロー方式で解説します。

10月8日(日) 10:00-14:00

- 「宇宙で生きる！宇宙居住と物資循環」
- 榎井誠人 (宇宙航空研究開発機構(JAXA)研究開発部門 第二研究ユニット)

11月19日(日) 10:00-14:00

- 「宇宙ビジネス最新情報—ここまで現実的になった宇宙ビジネス1—」
- 稲波紀明 (INAMI Space Laboratory 代表取締役)

12月17日(日) 10:00-14:00

- 「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、宇宙総合学研究所特定准教授)

1月21日(木) 10:00-14:00

- 「重力環境下での時間認知と与える影響」
- 足立義典 (京都大学霊長類研究所思考言語分野准教授)

2月19日(日) 10:00-14:00

- 「宇宙進出の人類史的意味—文化人類学の視点から—」
- 岡田浩樹 (神戸大学大学院国際文化学研究所教授)

3月17日(日) 10:00-14:00

- 「火星移住の最大の障壁は？小惑星・彗星・大気・砂嵐！」
- 山敷康亮 (京都大学大学院総合生存学館教授でSIC有人宇宙学研究センター長)

全日程 全席1000円 (見返り配信付き)

会場 読売京都市ビル4階会議室 (京都市中京区丸太町六角下)

DMG MORI

詳細・お申し込み

お問い合わせ先: marketing@dmgmori.co.jp

お申し込み先: marketing@dmgmori.co.jp

電話 06-6361-3325 (受付時間: 平日 10:00～17:00)

オンライン配信

DMG MORI presents

火星に住もう！

Season 4

・6・

第7回 Global Moon Village Workshop & Symposium MVA2023 登録開始

2023年12月6日から10日に岡山(鳥敷・岡山)と鳥取で開催される第7回 Global Moon Village Workshop & Symposium (MVA2023)の登録が始まりました。MVA2023には、岡山大学、鳥取大学とともに、京都大学もSIC有人宇宙学研究センターの山敷センター長や、山崎直子宇宙飛行士(特任准教授)、宇宙ユニットの寺田昌弘特任准教授らがオーガナイザーの一員として関わっております。

第7回は自然豊かな宇宙ビジネスにも積極的な歴史ある2つの都市、岡山(岡山・鳥敷)・鳥取を開催地とし、持続可能な人類の存在と月社会への想像力を高めることをコンセプトに掲げています。
<https://www.youtube.com/watch?v=9QdehWyleC4>

本シンポジウムでは、月社会実現のための技術的課題、月経済圏についての基礎的枠組みや、月面資源開発における民間の参画や、月面居住についての議論、そして、コパイームコンセプトについての議論が予定されています。また学生イベントも企画されています。我が国で2019年に続いて二回目の開催となるGlobal Moon Village Workshop & Symposiumですが、たくさんの参加者をお待ちしております。

MVA2023では以下のテーマでの講演論文をお待ちしております。締め切りは10月15日です。

【募集テーマ】

月の計画ミッション、月建築のコンセプトと課題、宇宙資源、探査、居住、生命科学、経済学を含む月商業、電力に重点を置いた月のインフラ運用、人類の存在および/または前駆体を含む月科学、法的側面と社会的考察、文化・人類学、アトリー・テクノロジー教育、月のガバナンス、国策政策と協力、等。登録方法等詳しくは、
<https://mva2023.jp/>
をご覧ください。

開催スケジュール

8月30日 登録の開始(オンライン)

10月15日 講演要旨提出締め切り(オンライン)

10月30日 講演受付通知(メール)

11月15日 登録の終了(オンライン)

12月6日～12月10日 第7回 Moon Village ワークショップ & シンポジウム(鳥敷、岡山、鳥取)
(森下至子 記)

LignoSat 紹介 CDH 班

今回は LignoSat の CDH 班の活動を紹介します。現在行っている業務は大きく2つあります。基盤の ONOFF の切り替えのコード作成、CW の同期変更実験です。

・7・

・基盤の ONOFF の切り替えのコード作成

LignoSat 1号機には現在、温度と電力情報を管理する FAB 基盤、衛星の情報を統合する OBC 基盤、FAB 基盤と衛星の動力源の Battery、OBC 基盤と通信システムを管理する COM 基盤、木造構体の温度と地磁気を測定する RAB 基盤、宇宙空間での木造構体の歪みを測定する MISSION 基盤が衛星には搭載されています(図1を参照)。



図1 木造人工衛星の内部構造

そのうちの RAB 基盤、MISSION 基盤の電源の ONOFF を切り替えられるコードを作成しました。この ONOFF の目的としては、万が一、宇宙空間で外面についてある太陽光パネルが予想以上に被覆された場合など、バッテリーの充電が著しく減少する際に電力の配分を最適化する、というためです。

例2はそのコードを実際に動かしてみようという目的がないかを検証しています。実験室内にある無線機を使って衛星の基盤とコンタクトをとり、命令を送ったり情報を引き出した状態です。



図2 実際の実験の様子

・CW の同期変更実験

衛星が軌道上を周回している際、衛星は地上局に連続波(Continuous Wave、通称 CW)というものを発信します。これによって衛星の位置を得ることができます。現在、その CW の発信の同期について議論が交わられており、実際に実験してみようとなりました。衛星に新しくコードを書き込み、二つの同期にモードを切り替えられるようにしております。(河島航 記)

・8・

研究紹介 低圧下樹木育成プロジェクト 水分生理（植物と水との関係について）2 樹木体内の水の上昇 京都大学樹木育成学生チーム 池田武文・清田朋和

はじめに
樹木育成学生チームで実施しているゼミではテーマの一つとして樹木と水との関わりを扱う水分生理をとり扱っています（Spaceology Newsletter 202308）。本稿では Spaceology Newsletter 202309 で紹介しました appendix1 に引き続き、appendix2 として樹木体内の水移動について記します。

樹体内水移動の概要
樹木は土壌中の水を根から取り込みます。大雨が降ったからといって葉から水が取り込まれることはほぼありません。土壌中の水は根に入り、根と幹の内部の道管や仮道管（Spaceology Newsletter 202309 の図を参照）を経由して、葉や葉の各部分の様々な組織に供給されます。最後に葉から蒸散として大気中に放出されます。つまり、ほとんどすべての水は樹体を通過するだけの水なのです。一見すると水を無駄にしているようにも思いますが、暑くても寒くてもその場を移動できない細胞にとって、この水は生物として自身の体温を最適に保つための重要な役割を担っています。



図-1 SPAC 内の水移動

水移動の詳細
図-1 に SPAC 内の水移動の経路を示しましたが、以下に部位ごとの詳細を示します。

1. 根での水移動

マの壁を切る、切断面から液体が滲み出てきます。これがヘナマ水です。この液体は根付近の道管内の水に正の圧力が作用し、水を押し上げます。このような現象は葉から根へも見られます。根元近くで木を切ると切り口から水が滲み出てきます。しかし、出てくる水の量は少なく、出てくるスピードも遅いので、樹木が実際に活動している間に根元で水を葉まで樹木全内に行き渡らせることは不可能です。

3) 道管・仮道管の中の水を引き上げる力：クレーンを使って荷物を引き上げる作業を想像してください。ワイヤーやロープなどで荷物を縛り、それらを巻き上げてそこから上向きに力を生み出しています。植物ではロープの代わりに道管や仮道管の中に詰まった水の連続体（水柱）なのです。毛細管の中の水分子同士は凝集力でも結びついています。この力は 30MPa 程度の引っ張り力にも耐えられる程度です。木の幹の中には非常に多くの水柱が詰まっていることを想像してみてください。ここで重要な点は、水柱が土壌中から葉まで連続していることです。荷物を引き上げている時に途中でロープが切れると荷物を引き上げることはできません。樹木体内でも水が上昇するときにも水柱が途中で切れると引き上げる力は下に伝わりません。では引き上げる力はどうやって生み出しているのでしょうか。

道管・仮道管は死んだ細胞で構成されています。死んだ個々の細胞は中空になり、それらがつながってパイプ状の道管・仮道管（図-3）ができています。道管・仮道管の中の水は生きた細胞のそれとは異なります。



図-3 カロリナボウの切断面
道管（Ikeda and Suzuki, 1986）

Spaceology Newsletter 202309 で生きた細胞の水分状態を表す「水ポテンシャル」について紹介。水ポテンシャルは $\Psi_w = \Psi_s(r) + \Psi_p$ で表すことができました。なお、 Ψ_s は浸透ポテンシャル、 Ψ_p は圧ポテンシャル、これは違い、木部内液（道管と仮道管の中の水）の Ψ_s は 0 に近いので、木部内液の水ポテンシャル $\Psi(xylem)$ は次式で表すことができます。

$$\Psi(xylem) = \Psi_p(xylem)$$

生きた細胞の水ポテンシャル Ψ_p は正の値ですが、 $\Psi_p(xylem)$ は負の値となります。 $\Psi_p(xylem)$ の

土壌中から根の表面から入った水は、根の外側から内側へ放射方向の主要な二つの経路（図-2）を通過して移動し、中心の内部維管束（道管または仮道管）に到達します。経路の一つは、シンプラスト（原生質連続によってつながり原生質膜で囲まれた細胞集団からなる空間）経路、もう一つはアポプラスト（細胞壁または細胞間の隙間）経路です。アポプラスト経路は生きた細胞を経由しないので、シンプラスト経路に比べて水は素早く移動します。例外として、根ではアポプラスト経路であっても途中にあるカスリ線（水は通過できない）を避けるために一旦細胞内に入ることもあり、ここではシンプラストを経由します。なお、細胞横断経路は可能性としてはありますが、実験的に確認されていません。

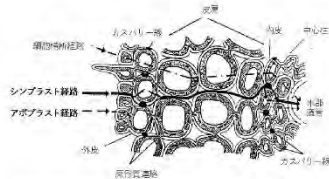


図-2 根の放射方向の水移動経路（池田 2004 改変）

2. 根や幹、葉脈の内部での水移動

根の内部の道管または仮道管に到達した水は、樹体内でそれらが連続したパイプ（図-3）の中を通過して葉の細胞に移動します。図-1 では水が移動する方向を青色の矢印で上向きに示しています。この現象、当たり前のこととして深く考えることはないでしょう。しかし、市は重力によって上から下に降ります。自然な現象です。しかし、樹木の体内ではこれは逆の方向に水が動いています。重力に逆らった動きです。一般的に植物が水を吸うと表現することがありますが、実際には植物でそのような現象は起こりません。これは人がストローでジュースを吸うことになぞらえた表現です。人が口の端でストローを吸うとストローの中の水は下がります。ジョブの中に水を入れたジョーシは 1 気圧の大気圧がかかっています。つまり、口の中のストローを吸うとジョブの中のストローの先端と口の間に圧力差が生じ、圧力の高いジョブの中のジュースが圧力の低いストローの中を押し上げられて飲めるのです。しかし、植物はこのような上方で気圧を下げるようなことはしていません。

では、下から上に水を動かすにはどのような方法があるのでしょうか。それには 3 つの方法があります。

- 1) 毛管現象：道管・仮道管の内容は細く、毛細管となります。毛細管の中の水は毛管現象で上昇します。仮道管の内容は道管のそれより小さく数 μm です。このことから毛管現象で到達できる高さは最大でも 2m ほどです。これでは背の高い樹木全体（最大樹高は約 120m 弱）に水を送り届けることはできません。
- 2) 道管・仮道管の中の水を押し上げる力、根圧：ヘナマ水をご存知でしょうか。つる植物であるヘナ

絶対値が水柱を引き上げる力、策力にあたります。樹木体内の上方へ水移動は水分子同士の凝集力と水柱を引き上げる張力によって起こり、これを「凝集力-張力理論」と呼びます。ここから蒸散している樹木（広葉樹）を含む SPAC に沿った水ポテンシャル等の値を見くめよう（図-4）。水ポテンシャル（ Ψ_w ）は土壌が最も高く 0.3MPa で SPAC に沿って上に向かうほど低くなり、葉で -1.4MPa に最低になります。土壌が最も多くの水を保持し、蒸散を行う葉で最も水が不足していることを表しています。細かくみてみると、蒸散が始まる蒸散の直前線にある葉の細胞 A の水ポテンシャルが低下し、その隣にある細胞 B の水ポテンシャルとの間に圧力差が生じます。その差によって水ポテンシャルの高い細胞 B から水ポテンシャルの低い細胞 A に水が動きます。このような水の動きが徐々に土壌まで伝わり、水は下から上、土壌から葉へと移動します。樹体内を下から上に水が移動する駆動力は葉からの蒸散による葉の細胞の水ポテンシャルの低下なのです。葉と土壌の間に生じた 1.1MPa の圧力差に従って、樹体内では水ポテンシャルの高い土壌から水ポテンシャルの低い葉に向かって水が移動します。この動きは葉から土壌まで葉の水柱に葉で上向きの張力が発生し、水を引き上げています。そこで重要なことは、先にも述べたように、葉から土壌の間の水柱が途切れない、つまり連続性が維持されなければなりません。水柱が途切れると引き上げる力が下に伝わりません。葉の道管の中の水は 1.25MPa の張力で引き上げられています。

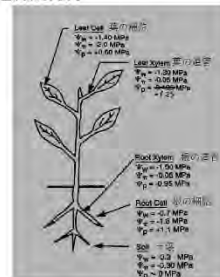


図-4 SPAC に沿った水ポテンシャルの勾配（Pallardy 2008 を改変）

3. 葉での水移動

ツメヨシの葉の断面を図-5に示しました。葉の維管束（葉脈）に達した水は維管束を取り巻く維管束鞘細胞から葉肉細胞に入水後、細胞壁から細胞間隙のサブスタンスを経由して水蒸気として気孔を通過して大気へ放出されます。

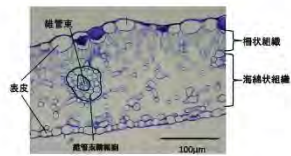


図-5 ソメイシンの茎の断面

引用文献

Ikeda, T. and Suzuki, T. 1984 Can. J. For. Res. 16: 98-102

池田武文 2004 樹木生理生態学. Pp. 138-145. 朝倉書店

Pallardy, S.G. 2008 Physiology of woody plants. Academic Press

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 吉田キャンパス木部研究 総合研究 16 号館 208 号室

編集人：宇田木利研究員 三本義典、豊西研大、山本研大

Tel & Fax: 075-753-5129 Email: spacewood@meil2.adm.kyoto-u.ac.jp

SIC 有人宇宙学研究センター NewsLetter No.22

2023 年 10 月 1 日発行

SIC 有人宇宙学研究センター NewsLetter 2023 年 11 月号 No.23

第 67 回宇宙科学技術連合講演会

10 月 17 日～19 日、第 67 回宇宙科学技術連合講演会が開催されました。この学会では、山縣センター長が参加し、「人工重力を用いた HEXATRACK 宇宙特急システム構想について」と題した発表を行いました。月・火星での各コロニーが経済活動を行い、多くの人々がビジネスや観光で移動できるようになる未来宇宙社会における交通手段として提案し、長距離移動においては、低重力による健康影響を最小限とするため、回転するガリバー（ヘキササペル）に「基壇」された「列車」を軸とした「鉄道輸送システム」を基本モジュールとした同軌道による人工重力を利用し、1G を保つ構想です。ユニークな発表に多くの人が集まり「鉄道ではなく磁気浮上はどうか」「地球での発着降システムは？」など様々なコメントが寄せられました。

他にも、有人宇宙学講義の昨年度受講生である京都大学医学研究科修士 2 回生の植村優氏、京都大学工学部 4 回生青野明也氏による、「小惑星ヘスティアにおける生活環境構築—豊かな食と近傍大体重突リスクに着目して」と題した発表が行われ、小惑星での居住」という観点での議論が行われました。

この講演会には Lignosat 学生チームも参加し、発表者の京都大学農学部 3 回生青西浩大氏の参加報告を紹介いたします。（山縣卓光 記）



講演会での山縣センター長



発表での植村氏

- 1 -

10 月 18 日～19 日に第 67 回宇宙科学技術連合講演会に参加しました。今年は山で開催され、心地よい気候の中活発な議論を行うことができました。その中で私は Lignosat の研究を通して得られた知見を「超小型木造人工衛星 Lignosat」のひずみ測定と地磁気測定ミッションの現状と展望」というタイトルで発表しました。発表内容とそれに関する議論の一部を報告させていただきます。

Lignosat は木造構体内でひずみを測定することと地磁気を測定することをミッションとして掲げています。ひずみ測定においては木造構体（木）の歪みを感知しますが、この歪みデータの精度評価と性能評価を行う必要があり、我々は精度の評価をする際に真空、高温、振動の条件を重要項目として考え、各条件において Lignosat 運用の際にかかると考えられるものよりも大きい負荷をかけることにより稼働状況を評価しました。Lignosat は人工衛星に木材を使用する世界初の試みになるため通常よりも慎重に稼働評価を行いました。またそれに加え、宇宙で正確なひずみ測定システムが機能し、ひずみ測定が行うことができるかを検証しました。これらの地上試験から宇宙環境においてひずみ測定が十分行えるであろうと結論に至りました。宇宙における木材のひずみ測定によって得られたデータは宇宙における木材利用の可能性を探る際に非常に重要なデータになります。

また地磁気測定においては、金属構体と比較して木造構体は地磁気を通しやすいので衛星内部での地磁気測定が可能になります。この特性は Lignosat は 1 号機だけでなく 2 号機の姿勢制御システムにも応用されます。1 号機で地磁気測定に成功すれば、その地磁気測定システムを利用して衛星の姿勢を解析、決定することができ、衛星の方向を調整することができるのではないかと考えられます。そのため 1 号機における地磁気測定は今後の Lignosat 開発においても非常に重要なミッションといえます。我々は地磁気測定において地磁気センサの性能と低周波由来のノイズ評価を行い、その精度は良好であることを確認しました。これにより宇宙においても Lignosat による地磁気測定が可能であると結論付けています。

発表に対しては木材の寸法変化などの質問もいただき、木材を使用するという点に非常に興味を持っていただいているという印象を受けました。また今回宇宙科学技術連合講演会に参加することによってさまざまな方々に意見や感想をいただき、今後の Lignosat 開発において非常に有効な情報を収集することができました。発表を行うにあたり後援や協賛にご協力いただいた方々に感謝申し上げます。ありがとうございました。（青西浩大 記）



発表での青西氏

- 2 -

ニュースペース研究会特別公演

2023 年 9 月 29 日に開催された、第 45 回ニュースペース研究会において、山縣センター長が宇宙移住のための 3 つのコンセプトと題して特別講演を行いました。

講演会では、「ニュースペース国際戦略研究所理事長の根本規博氏」が我が国の将来有人宇宙移住の方向性について述べられ、それに続いて松尾理恵氏による「有人宇宙特急システム構想」について、「日本火星協会の理念と活動」(NPO 法人日本火星協会 理事長 村川基介氏)「宇宙で生きる」をデザインする(関西学院大学 臨床工学特別専攻科 教授 宮嶋宏行氏)「THINK SPACE LIFE」(暮らしながら宇宙をつくるための、未来構想)「有人宇宙システム株式会社 有人宇宙技術部 健康監理運用グループ 山本和幸氏」そして、「月に持続的人類社会をつくる (ムーンビレッジ創設者の活動)」(総合英文 SIC 特任教授)の発表がありました。それに続く特別講演で山縣氏は 3 つのコンセプトである「コアバイオーム」「コアテクノロジ」「コアサステイ」について述べられ、中でもコアバイオーム、特にアメリカにおけるバイオスフィアの議論および、宇宙空間において海洋をもたらすことの重要性と、その材料について述べられました。特に、地球にとって重要な塩水と人間にとって重要な淡水系の違い、水文循環再現の困難さ、そしてテラフォーミングの困難さに触れ、それに変わる新しいコンセプトとして、惑星全体の「テラフォーミング」ではなく、重力も含めてある領域に地球環境を模倣する「テラウィンドウ」構想を進めようという見解を述べられました。当日の講演会は現地、オンラインを含め多数の宇宙関係者が参加され、白熱した議論が行われました。（白樫聖孝 記）

日本水中科学協会講演

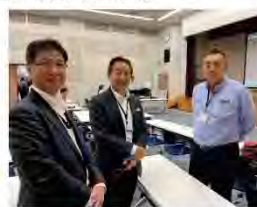
10 月 9 日、日本水中科学協会(JAUS)において、「人類の未来を担う“宇宙海洋”」と題して開催され、同学会正会員の藤永氏のリードにより、山縣センター長が講演しました。講演においては、ダイビングと宇宙の共通点として（１）無重力状態（２）減圧症のリスク（３）生命維持装置の必要性について説明を行いました。

特に（２）について、熱い議論が交わされました。現在の宇宙船では内部が 0.3 気圧の純酸素と決まっており、船外活動をする前に 1 気圧から 0.3 気圧へと減圧するプロトコルが定められています。現在のプロトコルにおいては 1 日かけての減圧が必要で、また、0.3 気圧まで低くすると、酸素を開けたとき危がで出ると同様で、血液中の酸素が血液に溶けきれず、気泡になって出てくるため、減圧症を起こす点が問題点です。さらに、内部気圧が 0.3 気圧の宇宙船は、真空である宇宙環境下で膨らむため、可動性が著しく低下します。これらの点を克服するため、未来の宇宙船では 0.6 気圧で減圧が必要なもの開発が進んでいることや、膨らまない可動性を保つような宇宙船の開発が進んでいること、またダイビング環境、真空である宇宙での減圧症をどのように回避するかなどについて議論が進みました。水中宇宙環境と宇宙環境の相違点、特に流体密度の違いによる抵抗が運動特性に大きな違いを与えることや、疑似無重力状態であっても体液には重力がかかっているため体液が濃縮化する点、水中と宇宙空間では圧力がかかり異なる点なども議論されました。最後に、宇宙に海洋を移すという試みについても話が及ぼされました。JAUS では、藤永氏を中心に水の中における宇宙飛行士育成プログラムが進んでおり、同協会の活動と今後連携を進めていくことを約束しました。（白樫聖孝 記）

- 3 -

日本マイクロロバティクス応用学会

2023 年 10 月 26 日、沖縄産業支援センターにて、第 3 回日本マイクロロバティクス応用学会が開催され、この日の JAXA 根拠地人教授の企画セッション ECLSS-宇宙滞在居住」において、SIC 有人宇宙研究センター長山縣教授が「有人宇宙：宇宙移住のための 3 つのコンセプト」について講演を行い、同時に招聘された東京海洋大学の遠藤進教授や、島崎建設の大野氏（SIC 特任准教授）が登壇しました。講演では、3 つのコンセプトの中で、特に宇宙海洋の重要性を重点を当てた内容で、かつ、海洋生物の AI を用いた自動判別システムの紹介もありました。また、「テラフォーミング」ではなく「テラウィンドウ」コンセプトについても発表しました。続く遠藤進教授は、宇宙における食糧と、微小重力で食糧を育てる際の重力の影響や、光の影響などについて実験結果を紹介しました。最後の大野氏の講演では、月面の人工重力施設（ルノグラス）、山縣氏が提議しているヘキサトラック、そして火星の人工重力施設（マーズグラス）を連結する人工重力ネットワークについて発表しました。上記企画セッション、書籍「有人宇宙—宇宙移住のための 3 つのコンセプト」執筆による連携講演でもありました。また、会場においては、宇宙飛行士の毛利氏による学生ポスター表彰などもあり、多くの参加者で賑わいました。（新原有紗 記）



講演後の（左から）大野氏、毛利氏、山縣センター長

大学コンソーシアム京都「京カレッジリカレント教育プログラム」

大学コンソーシアム京都が主催する「現代の教育課題 宇宙移住に向けた最先端研究と企業技術」の 2023 年度後期クラスが、10 月 5 日から始まり、2022 年度から始まったこの「宇宙移住」講座。今年度は昨年度の「最先端研究」に加え、「企業技術」に関して更に充実したプログラムとなりました。前期 5 講座、後期 5 講座と合わせて構成されました。

今回も第 1 回目の講義は、京都大学 SIC 有人宇宙研究センターの山縣副教授による「宇宙移住のコアテクノロジー」でした。人類が宇宙移住を考えるという時に、現実的にどういった点を持たなければならないのかを、前期の全般的な概要も含め、イメージ動画も交えながら興味深い話をいただきました。講義はオンライン視聴スタイルですが、質疑応答では初回から早速、視聴されている方々の興味

- 4 -

の深さを問われる、非常にバリエーションが豊富な課題が課せられ、2年目となった当年度の充実度が感じられる。

また今年7月には、この連続講義を担当される様々な先生が執筆された、山崎直典編「有人宇宙 宇宙移住のための3つのコアコンセプト」という本が出版されました。今年からはこの本を教科書と見立てて、毎回の講義をより深く読み込むこともできるようになりました。この講義が「現代の教養講座」というタイトルにふさわしく、宇宙への関心を通じて地球環境や人間についても、より深く考えるきっかけになることを祈念しています。（公益財団法人大学コンソーシアム京都カレント教育プログラム企画校対委員 吉 工具株式会社代表取締役社長 石川健司）

DMG MORI presents

【学ん】「火星に住もう!」Season4

学んとSession 4 第一回が2023年10月5日に開催され、JAXA 筑波航空宇宙センターの櫻井誠人研究領域上幹による「宇宙で生きる～宇宙居住と物資循環～」と題した、主に「生命環境維持システム(ECLSS)」に関する講義があった。最初に Session4 責任者の山崎氏の挨拶と櫻井氏の紹介が行われた。

講義ではまず、電気分解により自ら酸素と水を生成する「実証」を行い、また、ゼオライトによってCO₂を吸着させる「実証」を参加者の前でを行い、この二つの技術が現在の有人宇宙活動での宇宙での生命維持の「根幹」を成していることを示した。同時に、CO₂から水とメタンを生成する「サバエ反応」についても紹介し、宇宙空間における人間活動による基本的なリサイクルシステムについて示した。

また、櫻井氏は講義の中で、人が1日生きていくために必要な酸素量が成人でおよそ 0.8kg/day と、他に比較しても非常に多い（水・食料それぞれ 2.5・1.1kg/day）ことを示し、これを、これらの装置に宇宙では人間がどれほど依存しなければならないがにつけて述べた。また実際の ISS に搭載されている酸素生成モジュール、CO₂ 除去モジュールの紹介を行い、当初生命維持モジュールがアメリカ・ロシアモジュールに改造されたこと、それを日本の技術の発展で、次期アルティマティム計画でのゲートウェイモジュールにて日本が担当する生命維持技術について述べ、我が国がどのように ECLSS 技術を学び、自ら開発してきたのかについてその歴史を語った。（白根聖孝 記）

第7回グローバルムーンビレッジワークショップ&シンポジウムが 2023年12月6日～10日に倉敷・鳥取で開催されます

はじめに

2017年に設立されたムーンビレッジアソシエーション(MVA)は、オーストラリアのウィーンを拠点とする非政府組織(NGO)です。MVAは、政府、業界、アカデミアとムーンビレッジビジョンに中心のある一般市民・地球の月への人間の持続的な拡大を促進するコミュニティで、これは、MVA活動の600人以上の参加者と60か国以上からの33の機関メンバーで構成され、技術的、科学的、文化的、学際的な分野

で議論しています。毎年、MVAは、主要な国際イベントのワークショップ&シンポジウムを開催し、人類の地球の月への恒久的な拡大に関連するさまざまな分野のグローバルリーダーが集まり、進歩、新しいアイデア、関連情報を共有します。2023年のMVAは、2023年12月6～10日に日本の倉敷と鳥取で開催されます。

テーマ

第7回国際ムーンビレッジワークショップ&シンポジウムでは、月面での人間社会の成長に関するさまざまな問題が提示され、進行中および計画中のムーンプログラムについて議論を行います。

ミッション

月面建設の概念と問題
宇宙資源、鉱業、利用
居住、ヒューマンファクター、ライフサイエンス
月市場、ミッション、経済学を含む月面
月面インフラストラクチャと運用、パワーを強調
人間の存在および/または所帯体の両方を含む月科学
法的・倫理的・社会的考慮事項
文化的および人文学的考察
アウトリーチ/教育
月面ガバナンス、国際政策およびコラボレーション

メイン会場

倉敷市立美術館。MVA 2023 ワークショップ&シンポジウムのメイン会場となり、倉敷美術歴史地区内にあります。他の施設は近くにあり、いくつかのブレイクアウェイセッションに使用されます。

鳥取会場

「特別シンポジウム」は、鳥取市の乾燥地研究センターで開催されます。有名な観光スポットである鳥取砂丘は、乾燥地研究センターの近くにあり、参加者は、イベント中に鳥取砂丘を訪れることができます。

2023年MVAプログラム予定

12月6日 倉敷	ウエルカムパーティー 18時～19時
7日 倉敷	開会挨拶 (MVA、LOC チェアーク) 共催者挨拶 ナショナルプログラム、MVA、主要宇宙作業ベンチャー企業 表彰式・昼食会 基調講演

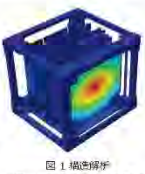
	分科会（一般講演、学生セッション） 懇親会（MVA、ゲスト、スポンサーによるスピーチ（希望者のみ））
8日 倉敷	コールフォーの基調講演と一般講演 特別ゲストトーク パネルディスカッション 倉敷セッションのクロージング&閉会
9日	倉敷市と岡山大学による日本橋でのアウトリーチイベント 鳥取への移動
10日 鳥取	鳥取オープニングセッション+鳥取特別シンポジウム（宇宙に広がる生態環境—コアバイオーム） 鳥取バブルカクアウトリーチ/砂丘ツアー/月面体験ツアー フィアウェイパーティー 2024年の開催地発表

なお、掲載締め切りは11月5日ですが、学生の方対象に学生セッションを予定しております。表彰も予定されておりますので、ぜひ投稿をお待ちしております。（新原有紗 記）

LignoSat 紹介 STRUC 班

今回はLignoSatのSTRUC班が行っている活動の紹介をします。現在STRUC班が行っている活動は大きく分けて3つです。

①安全審査資料の作成
LignoSatはISSをばらばらにあるJ-SSOD（超小型衛星放出機構）から放出される予定ですが、放出に際して運搬、打ち上げ、運用で危険が生じないか審査する安全審査というものが主にJAXAによって行われます。このため衛星の構造部分は周知へ影響を及ぼし、得る部分ですので、厳しく審査が行われます。STRUC 班の担当としては使用部品をまとめるほか、図1のような構造解析を実施し、指針の資料を提出します。現在は安全審査 phase012 の資料修正と安全審査 phase3 の資料作成を行っています。



②フライトモデルの製作

現在、実際に宇宙に打ち上げ運用するFM(フライトモデル)の製作を行っています。FMでは、EM(地上試験モデル)からより安全性を高めるための改良を、追加した設計となっています。既にほとんどの部品は製作が完了していますが、機体の仮組立や地上試験機に利用した不具合の解消のため修正を加え



ています。また、FMを安全かつ簡単に組み立てるための治具の設計・製作なども行っています。

③FM地上試験準備

FMが完成し、安全審査012が終了すると、いよいよFMが問題が機能するが確認する地上試験が始まります。STRUC 班が担当する試験は

- ・振動試験：衛星の固有振動数を求める
- ・インターフェイス試験：衛星の寸法がJAXAの要求を満たすか確認
- ・フォルトチェック：J-SSODの打ち上げ機構に問題なく入るか確認
- ・シャープエッジ：ISSのクルーが衛星を触り、傷を負うリスクが無いか確認

の主に4つがあります。現在はこれらの試験に向けた試験方法の整理、計画書の作成等の準備を進めています。今後ともSTRUC班ではFM完成、来年度の打ち上げに向けて活動していきます。（木村拓仁 記）

研究紹介

低圧下樹木育成プロジェクト 水分生理（植物と水との関係について）3 樹木体内における水上昇の失敗 京都大学樹木育成学生チーム 池田武文・三本勇貴

はじめに

樹木育成学生チームで実施しているテーマの一つとして樹木と水との関わりを扱う水分生理を取りあげています。（Spaceology News Letter 202308）本稿では Spaceology News Letter 202309と202310で紹介しました appendix1, 2に引き続き、appendix3として樹木体内の水移動の阻害について記します。

水分通過機能の喪失

Spaceology News Letter 202310で、樹木体内の水の移動は SPAC (soil-plant-atmosphere continuum、土壌-植物-大気連続系) 内の水の連続体（水柱）が上方の葉で引き上げられることによって起こり、これを「凝集力-張力理論」と呼ぶこと、そして水分通過組織である道管・仮道管は径の細い毛細管であり、その中の水柱はかなりの抵抗力に耐えることを記しました。しかし、実際には毛細管内の水柱が切れて水分通過機能を失うことがあります。以下にそのメカニズムを説明します。

水を通す道管・仮道管の構造はホースのような単なる中空のパイプではありません。ここではスポンジ、マツノ針葉樹の仮道管の構造について説明します。個々の仮道管は長さ数ミクロメートルほどで、

空の短い死細胞です。樹木体内で多数の仮道管が根から葉まで流れる水分通達機能を担っています。仮道管はホースのように両端が開いた構造ではなく、上下にずれも接する仮道管相互が有縁壁孔対（図-1、2）で繋がっており、図1の矢印の向きに水は移動します。なお、壁孔は英語では pit（ピット）です。図-1（左）の中ほどに×の付いた仮道管があります。本来、仮道管の中は水で満たされていますが、この仮道管の中には水がなく空気が入り込み空腔になっています。この仮道管では水の連続性が途切れています。樹木の幹や根、枝は沢山の仮道管でできている。一つや二つの仮道管で水の連続性が途切れても水はその仮道管を迂回して移動するので大勢には影響しません。



図-1 仮道管のつなぎと水の流れ（矢印）
（Zimmermann 1984）
空腔化した仮道管



図-2 仮道管の模式図

以下に水柱が切れるメカニズムを説明します。壁孔を詳細に見ると、壁孔の真ん中にあるトールズというラレード状の構造を網目状のマルゴが四方八方から吊るす構造になっています（図-3）。

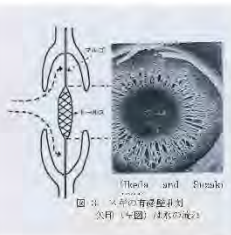


図-3 トールズとマルゴの構造（矢印）
（Theil and Suzuki）
次頁（右図）は水の流

水はマルゴの網目を通して仮道管相互を移動します。図-1の空腔になった仮道管とそれに接した仮道管の間の水の移動は停止し、空気の詰まった仮道管と水が満たされた仮道管の間の壁孔のマルゴの網目には空気と水のメニスカスが形成されています。マルゴの網目は0.01から0.2ミクロンと微小です。メニスカスはその曲率半径に応じた表面張力によって維持されます。蒸散している樹木の仮道管内の水柱には上方向に張力がかかっています。この張力がある値よりも大きくなると、空気、水のメニスカスがマルゴの網目と維持できなくなり、空気と満たされた仮道管の中の空気が水で満たされた仮道管の中に引き込まれ、水で満たされた仮道管も空気に置き換わり空腔になります（図-4）。この現象をキャビテーション（空腔化）、このような状態になって水が通らなくなる状態をエンボリズム（萎縮症）と呼びます。

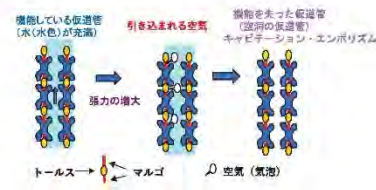


図-4 水不足によるキャビテーション発生メカニズム

仮道管内の水柱にかかる張力が大きいとは、木部圧ポテンシャルが低い、つまりその樹木は水不足が厳しくなっていることを意味し、樹木の水不足が厳しくなると仮道管の中の水柱が切れやすくなります。さらに、マルゴの網目が大きい仮道管ほど小さな張力でキャビテーションが発生します。このような性質は樹木の部位によって異なり、枝は根よりキャビテーションを起こしやすくなる傾向があります（図-5）。タグラスモの細い根は-1MPaの張力で20%以上の水分通達機能を失いますが、同じ木部圧ポテンシャルでも枝の水分通達機能はほとんど低下しません。このことは、根がSPACの中心で水分の多い土壌中に伸びているのに対して、SPACの中心から先端に位置する枝はもっとも厳しい水不足にさらされるので、枝でキャビテーションを起こしにくくするための適応の結果なのです。身近な事例として夏季に雨の降らない日が続く直前樹の先端が枯れる現象（図-6）を見ることがあります。この現象をタイバック（先端枯れ）と呼びます。これは樹木の先端の枝で水不足が厳しくなるとキャビテーションが頻発し、夜の水分通達機能が失われて翌に水が供給できなくなり枯れる現象です。

* 木部圧ポテンシャル：Spaceology News Letter 202310 で、木部内液の水ポテンシャルψ(xylem)はψ(xylem)≡ψp(xylem)となり、ψp(xylem)は負の値となることを示しました。ψp(xylem)が木部圧ポテンシャルです。

10

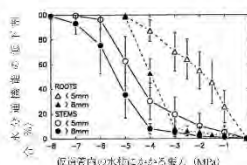


図-5 タグラスモの枝と根のキャビテーションの起こりやすさ（Sperry and Thida 1997）



図-6 ケヤキの枝のタイバック（矢印）

樹高の限界

さて、「地球で一番大きな生き物は？」の問いに対する多くの人の答えは「シロカスクリジラ」でしょうか。何をもって大きいとするのかは種々ありますが、荷重は「樹木」です。シロカスクリジラの体長は大きい樹体で30m強ですが、現存する樹木の高さ（樹高）の最高値は120m近くに達します。この樹高がほぼ限界に近いと考えられています。では、何が樹高の限界を決めているのでしょうか。実は「水」が重要な役割を果たしています。

Kochら（2004）はカリフォルニアの常緑樹林に生育する樹高112.7メートルのセコイアメスギ（ヒノキ科セコイア属の常緑針葉樹）について、最大光合成速度と木部圧ポテンシャル、葉の形態、過去の水ストレス履歴、キャビテーションの起こりやすさを調べました。この地域は樹木にとってストレスの非常に少ない穏やかな環境にあります。調べたセコイアメスギの樹高110メートルにある枝の木部圧ポテンシャルは、まだ蒸散が始まっていない葉の状態で-1.3MPaでした。水を高い位置に保持するにはその位置の重力に対して仮道管内の水柱を引っ張り上げ続けなければなりません。地上100メートルの位置にある枝は最低でも1MPa（-1MPaの木部圧ポテンシャルに相当）の張力で常に水柱を

11

引っ張り上げているのです。普段私達が扱う樹木の夜明け前の木部圧ポテンシャルは-0.2から-0.3MPaの範囲です。セコイアメスギの-1.3MPaが低いから、つまり枝は高い位置にあるだけで根に十分な水不足下にあることを示しています。過去の水ストレス履歴もこのことを支持していました。さらに、樹高が高くなるにつれて光合成速度は急激に低下し、葉の形態も極端に小さく厚くなりました。つまり、高いところにある葉は水不足を回避するために気孔を閉じ気味にし、光合成速度が低下したのです。さらに、一日の内で最も蒸散が盛んになる日中の木部圧ポテンシャルは-1.9MPa近くまで下がりました。この値はセコイアメスギの枝がキャビテーションを起こし始める値より若干低い程度です。これより木部圧ポテンシャルが低くなると、枝は水分通達機能を失いタイバックを起こします。ということは枝が枯れて樹高はそれ以上高くないのです。先に示したような最大光合成速度と木部圧ポテンシャル、過去の水ストレス履歴、キャビテーションの起こりやすさの測定値から関係式を推定し、最高樹高を計算すると、122から130メートルという値が得られました。この値は新しいストレスのない環境下での値です。もっとストレスが厳しい環境では最高樹高は低くなります。全ての樹木にこの事例を適用できるかは定かではありませんが、示唆に富んだ興味深い研究です。

以上、地球での樹木体内の水移動とその限界について述べました。では、火星で樹木が育つとき、樹木体内の水移動はどのようなものになるのでしょうか。もちろん火星と地球の環境は大きく異なります。ここでは条件を単純化して、重力以外の火星の環境は地球のそれと同じで、かつ樹木は地球と同じように成長すると仮定し、樹高を制限する要因である水不足によるキャビテーション発生の観点から考えてみます。地球の重力は1G、火星のそれは約1/3Gです。火星において樹木体内で水を引き上げるために要する張力は1Gの重力下（地球）の1/3となります。つまり、火星ではキャビテーションが発生する高さは地球の3倍となり、樹木は最大で地球の3倍まで高くなることが予想できます。実際には地球とは大きく異なる環境下にある火星ですので、樹木の成長にも様々な違いが生じるでしょう。それらの知見も取り入れて、火星で樹木はどのくらい高く、大きく育つのかを知りたいものです。

3回にわたり樹木と水との関係を追ってきました。ひとまずこのテーマでの報告はここまでとさせていただきます。

引用文献、参考文献

- 深澤和＝1997 樹体の解剖、南海社
- Koch,G.W. et al. 2004 Nature 428: 851-854
- Ikeda,T. and Suzuki,T. 1986 Can. J. For. Res. 16: 98-102
- 池田武文 2002 樹木環境生理学. Pp. 181-199. 文芸堂出版
- 池田武文 2004 樹木生理生態学. Pp. 138-145. 朝倉書店
- 丸田恵美子 2012 冬の樹木の生理生態学. 岩波出版サービスセンター
- Sperry,J. and Ikeda,T. 1997 Tree Physiol. 17: 275-280
- Zimmermann,M.H. 1983 Xylem structure and the ascent of sap. Springer-Verlag

12

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：宇宙木材研究室 三本美貴、豊西裕大、山本隆大

Tel: 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.23

2023 年 11 月 1 日発行

- 13 -

参考資料 8-9 Spaceology Newsletter: 2023 年 12 月号

SIC 有人宇宙学研究センター NewsLetter 2023 年 12 月号 No.24

【サント】「火星に住もう！」

Season4 の紹介

SIC 有人宇宙学研究センターとよみりカルチャースAKA の連携講座「火星に住もう! Season4」(全 6 回)が 11 月 19 日、読売京都ビル(京都市中京区)で開かれ、宇宙ベンチャー INAMI Space Laboratory 代表取締役の堀波紀明氏が登壇しました。「宇宙ビジネス最新情報」ここまで現実的になった宇宙ビジネス!」をテーマに講演されました。

オープニングの挨拶では、SIC 有人宇宙学研究センター長の山崎南亮教授が、「民間人としてこれから日本で一番早く宇宙に行く宇宙飛行士で、2005 年に宇宙旅行会社ヴァージン・ギャラクティック社の宇宙旅行に申し込んだから 19 年、ようやく 2024 年に宇宙へ飛び立ちたいと思っています。その間宇宙ビジネスを展開する INAMI Space Laboratory 社を 2022 年に立ち上げ、今まで誰も考えていなかったような重さを宇宙に打ち上げるユニークな取り組みなど、様々な業界に宇宙を用いた企業の価値創造を促しています。



また、スペース X と取引し、安いコストで宇宙に物を運ぶというビジネスなども展開。NASA や JAXA をはじめオールドベースの企業が独占している宇宙ビジネスを INAMI Space Laboratory が新しいマーケットと可能性を示していると、本日講師を務める堀波紀明氏を紹介しました。

講演では、日本初サリマン宇宙旅行者として TV 放映された映画ヴァージン・ギャラクティック社の宇宙旅行の様子をはじめ、中国の宇宙開発の広がり、宇宙旅行に挑むための訓練などの映像と共に解説されました。

直前に打ち上げられたスペース X の「スターシップ」ロケットシステムの話題では、軌道上で燃料を満載した別の Starship と合体することで、さらに推進力が強くなり、遠くまで行くことが出来る新たなロケットシステムについて説明されました。

世界の宇宙開発の状況は中国が非常に進んでおり、一国で宇宙ステーションを持っている唯一の国

- 1 -

となっています。月の裏側にも着陸して基地を作っており、そう考えると日本の宇宙開発はまだ遅れていると話されました。

宇宙旅行の話では、まず母船に釣り上げられ離陸。上空 15 km 時点で母船から分離、地上 80 km 地点の宇宙空間で約 4 分間の無重力を体験し、その後宇宙へ帰還します。その時間は 90 分です。それに耐えるための訓練は非常に重要で、重力訓練と無重力訓練の 2 種類あり、重力訓練は小さい部屋が回転し、6 G まで重力加速度を上げていきます。重力が加わると血圧より重力の方が強く、人によって血圧が行かなくなって意識が飛んだり、眼球が歪んで視野が暗くなったり狭くなったりし、呼吸もしづらくなることもあるといいます。

90 分と(当時の値段)2300 万円の費用が高いが安いかなどと思いますが、宇宙旅行に申し込むという行為は、奥様も宇宙旅行に申し込んだら切っ掛けが合えば会いに繋がったと語ります。実はこの旅行をキャンセルすると全額が返金され、今は円安なので 1000 万円ほど増えて戻ってくるという事です。

最後に今後の宇宙ビジネスの展開として、アメリカの宇宙ベンチャーと提携し、月面や深宇宙までの輸送として、「自分自身の DNA を月面に」「宇宙葬」「メッセージカード」「神社を分社化し、月面へ」をビジネスとして展開できないかとされ、「経営には目先のことにとらわれず、客観的に眺める宇宙視点が重要!」と締めくくられました。

次回の講座は 12 月 17 日(13:00~14:30、読売京都ビル)、「宇宙前在中の人体への影響」をテーマに京都大学宇部総合教育研究推進センター宇宙総合研究ユニット特任准教授の寺田昌弘氏が講師を務めます。

申し込みはよみりカルチャースAKA の HP (<https://www.ync.ne.jp/osaka/mananto/>)から。(今井文雄 記)

横浜未来機構宇宙プロジェクト 第 2 回ミートアップ

第 7 回国際ムーン・ビレッジワークショップシンポジウム(2023 年 12 月 6 日~10 日 倉敷・鳥取)がまもなく開催されます。国際ムーン・ビレッジワークショップには、多くの魅力的なイベント、講演、発表がご用意されています。タイムテーブルやプログラム内容の詳細は MVA2023 のウェブサイト(URL: <https://mva2023.jp/>)でご確認いただけます!ぜひご覧ください。

本記事では、その中からアウトリーチイベントを抽出して、ご紹介いたします。イベントテーマが魅力的であることはもちろん、登録者の方々にも豪華な方々ばかりです。ぜひ会場へお越しください。

アウトリーチイベント①: 宇宙探査と月での居住を実現しよう ~MVA 国際ワークショップ・シンポジウム 2023 アウトリーチイベント会場~

<開催日> 2023 年 12 月 9 日(土) 10:00-13:00 入場料無料/予約不要

<開催会場> ムービー・ホールセンター | 岡山県倉敷市倉敷町前田 40-1

特別講演①: はやぶさ 2 の冒険と太陽系の資源

- 2 -

<登壇者>

津田 雄一 氏 JAXA 宇宙科学研究所

特別講演②: 月に行ってみませんか

<登壇者>

金井 昌茂 氏 JAXA 宇宙飛行士

講演

<登壇者>

JOHN MANKINS 氏(MVA 副会長): ムーン・ビレッジアソシエーションの活動

山中浩二 氏(JAXA 宇宙探査センター長): JAXA の月探査計画

内田 敦 氏(三菱総合研究所): 人類の生活圏・生産圏拡大のための月の水の利活用

朝妻 太郎 氏(Ispace): 月の輸送サービスから月面都市構想

坂ノ上 博史 氏(MASC): 最速での航空宇宙産業の推進

アウトリーチイベント②: 月に杜を創ろう〜木と野鳥から生まれる自給自足エコシステム〜

<開催日> 2023 年 12 月 9 日(土) 9:00(開場) - 17:00(終了) | 入場無料

<開催会場> 村のちぐら〜スオフィススクエア(岡山市)

<タイムテーブル・登壇者>

09:30~ 那須 保友 氏(岡山大学大学院) 開会のご挨拶

小嶋 光福 氏(商標グループ代表) ご挨拶

鈴木 完治 氏(一般社団法人日本宇宙フォーラム理事長) ご挨拶

10:00~ 中村 典三 氏(岡山大学) 基調講演「月面でササガを食べよう」

10:50~ 土井 隆雄 氏(京都大学・元宇宙飛行士) 「月と火星の森」

13:00~ 吉川 真 氏(宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所) 「小惑星を捕まえよう」

13:50~ 香山 純一 氏(宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所) 「月着陸トンネルの待機と活用」

14:30~ 庄司 研 氏(大成建設(株)技術センター都市基盤技術研究所)

「溶岩トンネル内でのエコシステム概念とアーキテクチャ」

15:00~16:00 公開フォーラム「フロンティアへ人は月の杜で夢を見る〜」

<展示>「見てみよう、ユウウツと月の砂」

●小惑星ユウウツの試料を電子顕微鏡で遠隔操作・観察しよう(9:00 より受付にて準備券を配布)

●月の砂(ルナ 16, 20, 24 号)より採取

●水素人工衛星複製

●科学機器展示・体験

アウトリーチイベント③: 世界の研究者と交流する特別な 1 日 鳥取で月の未来を語る。

<開催日> 2023 年 12 月 10 日(日) 16:30-18:30 | 無料(食事付き)

- 3 -

<開催会場> 鳥取砂丘砂丘センター

<特別ゲスト>

黒田 有彩 氏 | 宇宙クレント

<トークイベント登壇者>

堀波 紀明 氏(INAMI Space Laboratory CEO) 宇宙旅行者が考える、鳥取県が目指す宇宙ビジネスの可能性

堀本 繁 氏(スズキ女子 副代表) | 女性が活躍できる月社会

森 裕和 氏(WARPSPACE CEO) | 「光」が変える宇宙の通信ネットワーク

大野 輝也 氏(鹿島建設イノベーション推進室 宇宙担当) | 宇宙を広がる、地球人の輸

山崎 南亮 氏(京都大学大学院総合生命学専攻 SIC 有人宇宙学研究センター) | コアパイオ

ムとテラフンド

三浦 政司 氏(JAXA/JASS 准教授) | 鳥取と宇宙とシステムデザイン

田中 亮司 氏(amulapo CEO) AR の力で鳥取砂丘が月面に

井田 広之 氏(鳥取県庁 産業未来創造課) 鳥取県は「星取県」

<ビデオメッセージ>

山崎 直子 氏(元宇宙飛行士 鳥取県宇宙部長)

参加者豪華特典(先着 100 名様)

食事無料提供 | 研究者との交流会 トークイベント

無料ご招待 | 鳥取砂丘 砂の博物館 プロジェクションマッピング

<ムーン・ビレッジ協会(MVA)とは>

ムーン・ビレッジ協会(MVA)は、2017 年にオーストリアのウィーンに拠点を置く研究組織(NGO)として設立されました。MVA は、政府、産業界、学術界、およびムーン・ビレッジの開発に興味を持つ一般市民など、様々なステークホルダーに対する持続的な国際的な非公式フォーラムとして機能しています。MVA は、既存または計画中的地球外探査プログラムに關与する公約または私的な国際的な協力を促進しています。600 人以上の参加者と 65 か国以上からの 33 の機関メンバーで構成され、技術、科学、文化、学際的な分野にわたる多様な専門分野を代表しています。

MVA は他の組織と協力して国際的な議論を促進し、ムーン・ビレッジの実現を支援する計画の策定を推進しています。また、国際、国内、地域ネットワークを構築し、世界中の市民社会を巻き込むための取り組みを行っています。

<開催期間>

2023 年 12 月 6 日~10 日 倉敷・鳥取

<イベント会場>

メイン会場: 倉敷市立美術館

鳥取会場: 鳥取県立博物館

(大森 尚典 記)

- 4 -

LignoSat 紹介 MISSION 班

今日は LignoSat の MISSION 班の活動をご紹介します。現在行っている業務は大きく 2 つあります。衛星から受信した MISSION データを解析するためのプログラム作成、2 号機に向けた地磁気センサと磁気トルカの基礎実験です。

まず、1 号機について、衛星が打ち上げられた後、衛星は、京都大学に設置されている地上局との通信が始まります。MISSION 班では、衛星が測定する温度、地磁気、衛星に使用されている木材のひずみのデータを解析します。地上局に向けて送られる CW データは 0 と 1 の 2 進数、このデータから、MISSION 班が使用するデータを絞り出し、解析のために意味のある値に変換します。さらに、温度、ひずみ値、時間のデータから熱膨張率を計算し、グラフを用いて視覚化します。その他、以前の実験での解析手法を自動化していく予定です。

次に、2 号機に向けた磁気関係の基礎実験について、2 号機において、衛星の姿勢制御が最大の目的であり、課題です。衛星軌道上に存在する地磁気に対して、衛星から磁気を発することで、衛星に力を働かせます。ISS からの打ち上げでは、衛星放出時に衛星が回転してしまします。そこで、方位磁石のように衛星の回転を止め、さらに、地球の方向に送受信アンテナを向けることで、円滑に地上局と通信できるようになることを目標としています。現段階では、使用する磁気センサと磁気を発する磁気トルカの性能を調べます。また、衛星の内部でのような構造にするのが、設計しています。1 号機打ち上げ後は、1 号機で測定した地磁気データの解析結果をもとにより詳細な設計をしていく予定です。(長谷真穂 記)



低圧下樹木育成プロジェクト紹介 樹木育成学生チーム

11 月 19 日、宇宙木材研究室の有志が集り京都市植物園の見学を行いました。京都市植物園は 1923 年に開園し、本年で 100 周年を迎える伝統ある植物園であり、開園当初からある歴史の深い樹木を多く保有しています。この見学会では、樹木育成プロジェクトで指導をされている京都府立大学名誉教授の池田武文先生に展示物の解説をしていただきながら、植物園を一周して様々な植物・樹木を観察しました。植物の観賞上、見守り植物の知見の全てを共有することはできませんが、その中から我々の園とつながりあるような話を聞けましたと思います。

まず一つ目は、11 月が見頃の「ロハバシロ」についてです。皆さんは、紅葉のメカニズムをご存知でしょうか。落葉樹の葉っぱには基本的クロロフィル（緑色）とカロチノイド（黄色）が含まれており鮮やかな

～

緑色に見えます。しかし冬にかけて気温が下がると葉の根元に糊層という組織ができることで、葉で作られた糖が植物全体に運ばれやすくなることで、それが日光と化学反応を起こすことでアントシアニン（葉緑体を保護すると言われている）という赤い色素が生成されることで、葉が赤く染まるように見えるのです。紅葉は日本では見慣れた光景ではありますが、こうした科学的に考察してみると見え方が変わるとともに、今まで以上に観賞価値が高くなるのではないでしょうか。

二つ目は、（藻）です。海藻はその巨大な葉っぱが特徴的ですが、この藻は水で覆われていることがありません。その理由は、藻の表面がワックスで覆われていることで、表面に無数の微細な凹凸があり、水の接触角が大きくなることで高い撥水性を備えていることにあります。これを「海藻の lotus からロース効果と呼びます。ロース効果は人間社会にも応用されており、特定のプラスチック製品の蓋やビルの壁面などがその一例です。生物が自然を生き抜くために獲得した独自の形質からヒントを得て人工物に応用されるのは、非常に興味深いですし、生命の神秘を感じます。

今日の見学会の中には植物学を専攻する学生や普段植物とは縁のない方など色々な知識レベルの参加者がいらしたのが、みなそれぞれ学びがあり、実りのある見学となりました。どんなに楽しかったので、また訪れたらいい方は一度足を運んでみてはいかがでしょうか。(岸 広盛 記)

研究紹介

有人宇宙学—宇宙移住のための 3 つのコアコンセプト 内容紹介 第二回 有人宇宙学 土井隆雄

「有人宇宙学」は、人類の有人宇宙活動を科学的に記述する新しい学問です。「有人宇宙学」はどのように創られ、何をめざし、そして何を生み出すのでしょうか。

1. 有人宇宙学の創出

有人宇宙学は人類が宇宙に進出するための学問と定義できます。さらに有人宇宙学を人間—時間—宇宙を繋ぐ学問であると再定義してみることしましょう。そうすると人間—時間—宇宙を繋ぐ 3 本の矢印ができます。この 3 本の矢印の中心に月から見た地球を配置させると図 1 ができると思います。有人宇宙学の定義の中に時間が入っていますので、有人宇宙学は何かの時間変化或いは進化を内包する学問であると考えることができます。ここでは、まず、それぞれの矢印が何を意味するのか考えてみることにしましょう。

宇宙と時間を繋ぐ矢印は、138 億年前にビッグバンから宇宙が生まれて現在まで進化してきた宇宙、即ち、宇宙の進化を表しています。人間と時間を繋ぐ矢印は、地球に生命が生まれて人間まで進化してきた過程、即ち、生命の進化、また、考えることのできる人間が村や町や都市を作り、文化を作ってきたこと、即ち、文明の進化という、二つの進化過程を表していると考えられます。人間と宇宙を繋ぐ矢印からは、ライト兄弟が飛行機を作り、それがロケットとなり、そして月着陸宇宙ステーションに人間が登るようになるまで、即ち、宇宙開発の進化を表しています。このように 3 本の矢印からは、4 つの進化過程：宇

～

宙の進化、生命の進化、文明の進化、そして宇宙開発の進化が出てくることになります。



図 1 有人宇宙学の定義

以上の議論により、有人宇宙学は 4 つの進化過程を扱う学問であると定義することもできることが分りました。しかしながら、4 つの進化過程はどのひとつをとっても膨大な知識の集合体であり、それらをひとつの学問に含めし込むのは不可能に近いと思われます。それ故、私たちはそれぞれの進化過程に由来した人間の活動でその進化過程を記述してはどうでしょうか。例えば、宇宙の進化を宇宙活動、即ち、「宇宙を知る」活動と置き換えます。既知が置き換えを実行すると、生命の進化は「宇宙を生かす」であり、文明の進化は「宇宙を考える」になります。そして、宇宙開発の進化は「宇宙を作る」と置き換えることができます。結果として、有人宇宙学の定義は、人間による「宇宙を知る」「宇宙を生かす」「宇宙を作る」「宇宙を作る」活動を記述する学問であると言い換えることができるのです。

さてここで私たちは、「月探査、月開発を持っているのか」という命題について考えてみることにしましょう。私たちは、生まれてから死ぬまで、学問が常に新しい知識を学び、それらの知識を使い、そしてまた、新しい知識を作り、学問を深めて行きます。それらの学問は、数から子へ、世代から世代へ引き継がれていきます。私たちは、何故、学問を持っているのでしょうか。それは、私たちが、そして、私たちの子供が、地球で生き残るためではないのでしょうか。学問がなければ、私たちは、今の暮らに満足していたことでしょう。

ここでもうひとつ質問をしましょう。今、私たちの持っている学問は、私たちの月や火星、そしてはるか宇宙に行つたとしても、私たちを助けてくれるでしょうか。その答えは、直ぐに「No」であることがわかります。数学や物理学など自然を記述する学問を除いて、ほとんどの他の学問は私たちの地球で生き残るために作ってきた物だからです。それ故、私たちの月で生活するためには月の学問が、火星で生活するためには火星の学問が必要になるでしょう。私たちが宇宙のあらゆる環境で生き残るためには、新しいその環境に適した学問が必要になるのです。

有人宇宙学は私たちが宇宙に展開するための学問であると最初に定義しました。そうすると、有人宇宙学は私たちが宇宙のどんな環境においても生き残るための知識を提供できればなりません。また

～

にこれが有人宇宙学の本質です。これが意味するのは、有人宇宙学を地球に適用すれば、私たちはいま地球で持っている学問になります。月に適用すれば、私たちは月で生き残るための学問になり、火星に適用すれば、火星で生き残るための学問になるということです。

この理由のために、図 1 では月から見た地球の姿が画面中央に描かれています。即ち、有人宇宙学を作ろうとしている私たちの足元はもはや地球ではないのです。私たちの足元は宇宙であり、その中で私たちは人間が生き残るための学問を作ろうとしているのです。それが有人宇宙学なのです。

2. 宇宙における「人間社会の存在可能条件」の探究

人類が宇宙に進出するために何が必要でしょうか。それを考える前に、まず人類はどのように地球上で生き残り、現在の文明を築き上げてきたのかを考えてみることにしましょう。

霊長類学によれば、人間もチンパンジーも含めたすべての霊長類の祖先は同じで、アフリカの森に住んでいました。約 500 万年前に何故か何人か人間になる霊長類の祖先がリバパンナに降り、2 足歩行を模倣し、道具や火を使うことを覚え、今人類に進化したのです。森に突如と霊長類の祖先は、チンパンジーやゴリラになりました。即ち、人間とチンパンジーやゴリラの進化の方向性を分けたのは、「森から出てリバパンナに降りた」ということだからです。「森から出てリバパンナに降りた」というのは、即ち、環境の変化です。今、私たちは地球を離れて宇宙に出ようとしています。これもまた環境の変化です。宇宙へ進出しようとしている人類は、500 万年前に森からリバパンナに降りようとした私たちの祖先と同じ進化の分岐点にいます。人間が宇宙に進出しようとする人類が生き残るためには、人類が宇宙に社会を作れるかどうかの鍵はここにあります。有人宇宙学が進化を司る学問であるという意味が少しわかってきたのではないのでしょうか。

さて、森のように降りることのできるリバパンナに降りた私たちの祖先は、どのように生き延びることができたのでしょうか。彼らは、鋭い牙も歯が生えるための早い足を持っていたわけでもなかったのです。リバパンナに降りた人類の祖先が生き延びることができたのは、彼らが集団で生活し、お互いを支えあっていたからに他なりません。私たちの祖先は小さな社会を作ることができたからこそ生き延びることができたのです。そうであるならば、宇宙に進出しようとする人類が生き残るためには、人類が宇宙に社会を作れるかどうかの鍵はここにあります。

では、「人類が宇宙に社会を作れる条件」、即ち宇宙における「人間社会の存在可能条件」はどういう条件で良いのでしょうか。質問を変えて、「人類が宇宙に社会を作れるか」という質問にすると、その答えは 2 つしかありません。「はい、作れます」という答えと「はい、作れません」という答えです。ここでは、「はい、作れます」という答えができる条件を探ることになります。そもそも、何を「社会」と定義するかという問題から始まりますが、残念ながら現在の人類には、この質問に答えるための十分な知識がありません。ただし、知識をもっていないからと言って諦めることもできません。何故なら、その答えに人類の未来が掛かっているかもしれないからです。

現代天文学のホットトピックのひとつに太陽系外惑星の発見があります。世界で初めての系外惑星が 1995 年にスイスの天文観測チームによって発見されました。それ以来、現在まで約 5000 個以上の系外惑星が発見されています。系外惑星の発見が非常に重要なのは、地球型の惑星が発見されれば、ひょっとするとそこに生命がいるかもしれないからです。そのため、系外惑星の発見以後、惑星に生命が存在する条件を明らかにすることが非常に重要になってきました。宇宙に存在する生命で私たちが知っている

～

るの、地球にいる生命体だけです。即ち、「液体の水」を必要とする生命体です。ですから、天文学者たちは「液体の水」が存在する惑星の存在可能領域を「ハビタブルゾーン（生存可能領域）」を名付けました。私たちの宇宙における人間社会の存在可能条件「（ソーシャル・ナビリティ）」の探索は、まず、この「液体の水」が存在する条件から始めることとして、少しずつ最終目標である宇宙における「人間社会の存在可能条件」に近づいて行くことにしましょう。その探索の過程を図示したのが、図 2 にあります。

「液体の水」が存在する領域はどのような領域でしょう。もちろん、地球には海があるので地球は太陽系の「液体の水」が存在する領域にあります。もし、地球を太陽の方向に近づけていくと、段々と表面温度が上がりてくるでしょう。もし、地球表面の温度が 100℃を超えると、もはや地球には「液体の水」は存在できないことがわかります。逆に地球を太陽から離れる方向に動いていくと、地球表面の温度は少しずつ下がっていき、ついに 0℃になり、水はすべて氷になるでしょう。もはや「液体の水」は存在できません。このことから、「液体の水」が存在する領域は太陽から適度良距離が保たれている領域になることがわかります。地球はこれの、最適な距離が保たれている領域に存在しているのです。ここではさらに議論を進めるために、「液体の水」が存在する条件を「水条件」と呼び名を変えて進めることにします。

次に私たちが保ちたいのは、宇宙に「生命が存在する条件」です。それを「生命条件」と呼ぶことにしましょう。地球は水条件を満たし、かつ、生命条件を満たします。実はこの太陽系には水条件を満たすところひとつの天体があります。その天体は地球から見える月です。それで月には生命が存在するでしょうか。皆さんもよく知っているように、月には「生命」は存在しません。このことは、「水条件」は「生命条件」とは等価にならないことがわかります。



図 2 水条件・生命条件・人間条件・社会条件とは何か

「液体の水」が存在し、その次に「生命」の存在が確認できたら、次に私たちが探するのは宇宙に「人間が活動できる」条件です。今度はそれを「人間条件」と名付けることにしましょう。では、ここで再び疑問です。太陽系に地球以外に「人間が活動できる条件」を満たす天体はあるでしょうか。その答えは、「はい、存在します」です。それは国際宇宙ステーションです。国際宇宙ステーションは2000年から宇宙

飛行士が滞在を開始し、すでに20年以上にわたって常に人間が活動してきました。即ち、国際宇宙ステーションは「人間条件」を満たしているのです。このことは、何を意味するのでしょうか。それは、人間が科学技術を使うことによって、宇宙に「人間条件」を満たす天体を作ることができるということです。私たちは少しずつ宇宙における「人間社会の存在可能条件」に近づいてきました。

次に進む前に宇宙における「人間社会の存在可能条件」3条件を「社会条件」と名付けることにしましょう。今まで定義してきた「水条件」「生命条件」「人間条件」として「社会条件」はお互いに関連していることは明らかです。すなわち、「社会条件」を満たすためには、まず、「人間条件」を満たすことが必要です。「人間条件」を満たすためには「生命条件」を満たし、「生命条件」を満たすためには「水条件」を満たさなければなりません。つまり「水条件」は「生命条件」の、「生命条件」は「人間条件」の、そして「人間条件」は「社会条件」の必要条件になっていることがわかります。

3. 宇宙社会の構成員数

私たちは「人間が宇宙に社会を作れる条件（社会条件）」を探しています。その答えを考える時に、まず、私たちは「社会」とは何かを考える必要があります。特に、人間が何人集まれば、それを「社会」と考えて良いのでしょうか。この問いに答えるために、私たちは再び霊長類学を使うことにしましょう。霊長類学は、人間（ヒト）に近い霊長類を研究することによって、より詳しく人間を理解しようとする学問です。

イギリス人の霊長類学者ロビン・ダンバーは1993年に霊長類の群れを構成する個体数と群れの大きさ（ネオコルックス比）との関係性を発表しました（図3）。これを見れば群れの大きさが大きくなるにつれて群れを構成する個体数が増えることがわかります。ここで言う群れは意図的に組織された群れではなく、本能的に作られる群れを意味しています。これは何を意味しているのでしょうか。群れが大きくなるにつれて、自分が覚えておかない（あるいは）相手の顔が増えます。自分が人々になるにつれて、覚えておける相手の数が増えることを意味しているようです。すなわち、相手のコミュニケーションによって、相手に覚えておける個体数が増え、それが群れを構成する個体数の上限を決めているようです。



図3 ダンバー数と霊長類の群れを構成する個体数（参考文献1）

この関係を延長して、人間の脳の大きさに群れの個体数がいくつになるかを考えてみることにしましょう。ダンバーの発表した霊長類の場合を書き加えたのが図3に示される赤丸の位置です。その数は150人です。この150人という数は、現在ではダンバー数と呼ばれています。ダンバー数が意味するのは、ひとりの人間が覚えておける相手の数を意味していると考えられます。また、ダンバー数では、人間が150人程度の群れでも平和を維持できるグループの最大個体数とも考えられます。しかし、私たちの社会はもっと多くの人が参加しています。村や町であれば100人から1000人程度、市であれば10,000人から100,000人程度、県であれば1,000,000人程度、国であれば10,000,000人から100,000,000人程度まで、どんどん人々が増えていきます。ダンバー数は現代に当てはまらなものでしょうか。私たちは、現代でダンバー数は当てはまると考えています。ダンバー数は、速度、村や町を構成している個体数になっています。市や県や国になると、社会に議員制などの社会制度が導入されるので、より多くの人がグループに参加できるのです。村や町の構成員数がダンバー数になっているので、それ以上小さな組織に分裂する必要はないとも言えます。

私たちが宇宙に恒久的な社会を作ろうとすると、まず切実に挙げられる事は、宇宙に社会を維持するために必要な仕事を果たす様々な人々が必要だということです。またその人々は緊急事態にも各々が自発的に対応できることが求められます。これはダンバー数が規定する誰もが相手のことを考えて行動できる社会に繋がっていると考えられます。そこで、これから考える宇宙社会はダンバー数で決まる150人が住む社会と仮定することにしましょう。

4. 有人宇宙学の展望

ヒトの祖先がかつて森林からサバンナに進出したことが人類進化を誘発したように、地球を離れ宇宙をめざす有人宇宙活動は進化の形態と考えられます。そう遠くない未来、人類は宇宙空間をも居住空間とし、そこに新たな社会を創造することでしょう。私たちは、宇宙を切り拓く有人宇宙活動のための新しい総合科学を「有人宇宙学」と名付けました。それは、人間が宇宙に展開していくことを記述できる学問です。有人宇宙学は、宇宙における「人間社会の存在可能条件」（ソーシャル・ナビリティ）という宇宙に持続可能な人間社会を構築するための新しい指標の確立・体系化をめざしています。宇宙における「人間社会の存在可能条件」は、物理的・生化学的・条件のみでなく、技術やそこに居住する人類の「コミュニティ的」条件によって左右される宇宙社会の存在境界を定量的に決定する新たな指標と考えることができます。宇宙における「人間社会の存在可能条件」が確立されれば、それは宇宙に持続可能な人間社会が誕生することを意味し、まさに人類進化そのものに他なりません。

京都大学で行われている講義「有人宇宙学」では講義と同時に演習が必須とされることで、学生は議論と研究を行いつつ有人宇宙学の設計を進めていきます。この過程において、学生は宇宙について学ぶと同時に人間と社会について深く考察する機会を持つことになります。これによって学生の設計した宇宙社会は静的なものですが、少しずつその世界に適合した人間の文化的活動にも意識が及ぶようになって来ている。将来的には宇宙に設計した社会の動的な変化も取り入れることが可能になれば、宇宙における「人間社会の存在可能条件」（ソーシャル・ナビリティ）の構築も可能になるのではないかと期待しています。

参考文献

1. Dunbar, R. I. M., "Coevolution of neocortical size, group size and language in humans," BEHAVIORAL AND BRAIN SCIENCES, 1993, 16, 681-735.

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 吉田キャンパス本館4階 総合研究 16 号館 208 号室
 関係人：宇宙人材育成室 三木尚典、豊岡裕太、山本雄大
 Tel&Fax: 075-753-5129 Email: spacevoas@mail2.adm.kyoto-u.ac.jp
 SIC 有人宇宙学研究センター Newsletter No.24
 2023 年 12 月 1 日発行

参考資料 8-10

Spaceology Newsletter: 2024 年 1 月号

SIC 有人宇宙学研究センター NewsLetter 2024 年 1 月号 No.25

2024 年を迎えて

大学院総合生存学館教授 SIC 有人宇宙学研究センター長
山敷庸亮

新年あけましておめでとうございます。

さて、SIC 有人宇宙学研究センターは、2021 年 6 月の正式な独立記者会見から 3 年目を迎えることとなりました。その間、当初から掲げていた、「宇宙木材研究」「宇宙居住研究」「宇宙放射線影響研究」「宇宙教育研究」そして「宇宙・地球惑星探査研究」の五つの領域において、それぞれ具体的な成果が見出せる状況になりました。「宇宙木材研究」では、住友林業株式会社と併発中の世界初の木造人工衛星 Lignosat 1 号機の打ち上げに向けた最終的な調整に入っています。また、昨年年度にはクラウドファンディングも実施させていただき、目標額を達成し、2 号機製作フェイズにまで進むことができております。「宇宙居住研究」では、東京建設株式会社との月・火星での人工重力施設である Lunar Glass / Mars Glass のデザイン、VR 作成とともに、宇宙特異環境である HEXATRACK の具体的なデザインの提示や、それぞれの放射線影響評価などを進めてまいりました。「宇宙放射線影響研究」においては、JAXA や JAMSS、アクセンチュア株式会社と協力し、2021 年に Scientific Reports に掲載された航空機機体（影響研究 1）の他、木材への放射線影響評価、月面基地への被ばく影響評価を行ってまいりました。「宇宙教育研究」では、4 回のスペースキャンプ at Biosphere 2 (SCB2) を実施し、さまざまなセミナーを行ってまいりました。さらに文部科学省宇宙航空技術推進委託費の支援を受け「有人宇宙活動のための総合科学研究教育プログラムの開発と実施」の報告書をまとめました。また、「宇宙・地球惑星探査研究」では、DMG 森重機の協力のもと、リモートセンシングに関する研究や、AI を用いた水中動画からの自動判別フェイル研究、水に関する防災関連研究 2) などを進めてまいりました。また昨年は、岡山大学・鳥取大学・JAXA とともに 7th Global MVA Workshop & Symposium 2023 を開催してまいりました。また、長年の目標であった「有人宇宙学—宇宙移住のための二つのコアコンセプト」を京都大学学術出版会から出版させていただき、横浜未来機構の協力で記念シンポジウムも開催させていただきました。

2024 年からは「宇宙木材研究」「宇宙居住研究」において新たなプロジェクトフェイズが立ち上がり、また、2 月 3 日・4 日には横浜での YOYO FESTIVAL 2024 に出張・講演を行います。その上週



- 1 -

間後には宇宙総合研究ユニットとともに「宇宙ユニットシンポジウム」の開催をさせていただきます。木造人工衛星の打ち上げや、3 月に京都大学に見えらる予定の Vladimir Airapetian SIC 特任教授とともに NASA/GSFC との協定についても具体的なステージに動かせていただきます。

最後に航空半島地震や羽田空港事故でお亡くなりになられた方々へのご冥福をお祈り申し上げ、被害に遭われた方々にお見舞いを申し上げますと共に、一刻も早い復興をお祈り申し上げます。同時に、燃え上がる機体から短時間で奇跡的な乗客の全員脱出を成し遂げた乗務員・CA の方々のご尽力を称賛させていただきます。有人宇宙学を研究するにあたって、非常に重要な目標事例として学ばせていただきたいと思います。

参考文献

1) <https://www.nature.com/articles/s41598-021-95235-9>

2) <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frsus.2022.908822/full>

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frsus.2023.1335990/full>

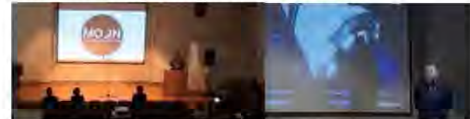
<https://www.nature.com/articles/s41598-023-50133-0>

第 7 回 Global Moon Village Workshop Symposium

2023 年 12 月 7 日から 10 日の日程で、7th Global MVA Workshop & Symposium 2023 が開催されました。本シンポジウムは、岡山大学惑星空間研究所、鳥取大学防災圏域研究センター、京都大学 SIC 有人宇宙学研究センターの三つの大学機関によりホストされました。

開会挨拶では、LOC の岡山大学中村栄三教授の挨拶、MVA 副総裁の John Mankins 氏の挨拶のあと、鳥取市長、岡山大学の学長の挨拶が続きました。

そして、CO-HOST の一人として山敷庸亮センター長が挨拶をし、本シンポジウム紹介ビデオとともに、本セッションの開催機軸の上に鳥取でのシンポジウムについて紹介しました。



これらの内容については、Yahoo ニュースや岡山放送でも紹介されました。

<https://news.yahoo.co.jp/articles/23800f7d2e26cd197d2f5874e650a69f2f1326d>

<https://www-ohkweb.ohk.co.jp/data/26-20231207-00000010/pages/>

- 2 -

初日・2 日目のセッションについては、シンポジウムの成果がまとめた来月にご紹介する予定です。今月からは、当センターが主に関わったアウトリーチおよび、4 日目の鳥取セッションについて報告します。

岡山でのアウトリーチイベントの報告

12 月 9 日に岡山市内で行われた第 7 回 Global Moon Village Workshop & Symposium 連動のアウトリーチイベントに参加しました。12 月には様々な分野の専門家や企業、企業の方々や一般の方々など活発な議論を交わすことができました。このイベントは「月面に住む」と銘打っており、将来人類が地球外の環境で社会を築き上げることを想定したシンポジウムでした。その中で私は、木造人工衛星 Lignosat の開発を通して得られた知見を「超小型木造人工衛星の基礎設計」という題目で、また低圧下で樹木を育成する実験で得られた知見を「低大気圧下での樹木の育成実験」という題目でポスター発表いたしました。ここでは発表内容とその議論の一部をご紹介します。

これらの二つのプロジェクトを行うきっかけとなったのは、人類が地球外の環境で社会を作っていることを想像することからでした。その社会には大気があり水があり、そして確実に森林も存在していることによります。

では、そのような社会をつくるのに必要不可欠なことは何か。それは植物を育てることです。我々は近い将来人類が居住することになるであろう火星環境を想定して、火星のような低大気圧下で植物を育成するという実験を行っています。現在、0.1 気圧まで大気圧を下げて実験を行っており、その圧力での植物の生長具合を解析中となっております。

また、そのような社会で人工衛星を造ることになったときに、問題となるのは資源です。現在、一般的な人工衛星には主にアルミニウムといった金属が使われています。しかし、その社会にこのような金属が存在しているかどうかは不透明です。そこで、確実に存在しているであろう、かつ長期的な資源として見込める木材を使用して人工衛星を造ることになるだろう、と我々は考えました。そのような人工衛星の先駆けとして現在我々は世界で初めて木造の人工衛星を開発しています。

今回の発表では樹木育成については低大気圧下でどのような成長変化があるのか、木造人工衛星については木材を利用する理由などについて質問が続き、木材の利用に対して非常に興味を持っていただけたようでした。一般の方々にも認知していただき、これからの中道開発分野で木材が注目されることへの一端に携わることができているのではないかと考えております。（倉谷 剛樹 記）



- 3 -

また、12 月 9 日には、真備ふれあいセンターでも MASC および鳥取市によるアウトリーチイベントが開催されました。まず、John Mankins 副総裁より、MVA のイベントを急いで行えることの感謝が述べられました。Mankins 先生は今回も来日されているようですが、急遽に訪れるのは初めてで、天体望遠鏡が全く設置されていないこと、急遽でイベントを行うことができて光栄だと言っていました。

次に、JAXA の山中先生より、JAXA が取り組んでいる月面探査計画について講演がありました。本講演に入る前に、現在唯一人類が持続的に宇宙で生活を送ることができる場所、ISS についての説明がありました。ISS は様々な国の作った複数のモジュールから構成されていること、また移動 7.7km で周回していることなどがわかりやすく説明されました。次に、JAXA が取り組んでいる、月面着陸実証機 SLIM や月極域探査機 LUPEX の紹介がありました。月の南極に起伏に富み、谷には大量の氷が存在しているかもしれないと、谷を少し上にあると適度な温度帯があることを示され、月極域の重要性を強調されていました。また、月面上での交通手段として JAXA が計画と共同開発している有人月面ローバーについての説明がありました。

最後に、日本は輸送機・バッテリー・建設の技術に長けており、これらの強みを活かすことによって世界の宇宙産業（Gateway など）で覇権を示していくと話されていました。加えて、地球・火星間の往復実証や火星の南極探査などを目的とした MMX の開発についても言及がありました。

続いて、Lunar Business Consortium の内田先生より、月面での水の利活用についてお話をいただきました。まず、宇宙活動についての今後の道のりについて詳しく説明がありました。これまでは宇宙活動は政府が決めており、民間がそれを受託していましたが、現在は NASA、タカノミ、ローググループ、鹿島などの民間企業の宇宙産業への参画が著しく、特に ispace について、政府とは完全独立で資金を集めて月面着陸に挑戦した民間企業と紹介されていました。また、ispace は完全に民間で活動しているのではなく、政府の支援のもとで行っている活動もある（スターダストプロジェクト）ことも言及されていました。

次に本題である月面での水の利活用について話されました。月に存在するかもしれない水は活用方法として、水素と酸素に電気分解をしてロケットの推進剤などに利用することを述べられていました。また、水素と酸素に電気分解する具体的な方法について、レプリスから抽出し、精製し、電気分解し、液化して貯蔵するプロセスでどこまでの効率を高く、パイプラインはどうするかという補加なども考慮されていました。

続いて、ispace の柳澤先生より、ispace での土壌採取計画である HAKUTO-R についての説明がありました。HAKUTO-R は高緯度かつ低コストの定常軌道を想定した交通手段を実現するまで毎週の Mission に分割されており、Mission 1 は荷物を荷降機した状態で月面まで荷物を運搬することを目標としています。昨年打ち上げが失敗した実証機は失敗してしまいましたが、着陸の時に失敗してしまっただけで、それまでは何の問題もなく飛行しており、ほぼ成功に近かった、また打ち上げに再挑戦すると話されていました。

続いて、空飛ぶクルマを開発された MASC の反上先生より、空飛ぶクルマのポジションがありました。ここまでの講演は宇宙を舞台にするものが多かったですが、MASC の空飛ぶクルマは地上近くで飛行するものであり、「地上近く」の観点からの講演でした。現在は空飛ぶクルマ専用の道路を具体的にどこに敷くかを検討しているということです。

- 4 -

後半の部は JAXA の津田先生・金井宇宙飛行士による講演でした。

JAXA の津田先生による講演では、まず、リュウグウについての導入がありました。リュウグウは炭素が多い小惑星であり、メディアでよく見られる画像よりも本来はもっと黒く見えることや、凹凸の激しい小惑星であると語られていました。

次に、はやぶさ 2 の成功までの過程についてです。予想よりも凹凸があることがわかったため、できるだけ平らなところに正確に着陸しなければならなかったことを語られていました。本来、目標着陸地点より 100 m 以内に着陸すれば良いところが、凹凸のため目標着陸地点より 3m 以内に着陸しなければならなかったそうです。結果はたった 60cm の誤差となり、これは世界に誇るべき高精度な操作技術とおっしゃっていました。また、リュウグウの表面は 100℃くらいと熱いため、タッチダウンは一瞬でも瞬間に弾丸を出してバを避け、リュウグウの地下の物質を採取したとおっしゃっていました。小惑星の地下物質は表面の物質と異なり巨爆けしていないため、何億年前もの情報を保存しており、非常に貴重なとおっしゃっていました。

金井宇宙飛行士は宇宙服姿で登場され、宇宙飛行士になったきっかけや宇宙飛行士にどんな職業の人がいるのかなど、宇宙飛行士の実態を詳しくお話しされました。ISS の姿のぞけば大きな円い地球が見えて、地球化しても頼もしく見えた、だから宇宙にもっと頼もしいんだとおっしゃっていたのが印象的でした。



鳥取でのコアバイオームセッションおよび 鳥取アウトリーチイベントの報告

12 月 10 日、鳥取大学の Arid Land Research Center にて、第 7 回 Global Moon Village Workshop & Symposium 第 4 日目のレクチャーが開催されました。まず、Arid Land Research Center の辻本先生より、開演の挨拶がありました。辻本先生は挨拶の中で鳥取砂丘と研究施設の歴史について紹介されました。昔は海岸一帯が砂丘だったそうで、順いでも耐えられる砂丘の増進が盛んでした。現在では、植林などの研究活動によりその面積を大きく増やすことに成功し、研究施設の移動をしなければならなかったとおっしゃっていました。次に、MVA

- 5 -

副総裁の John Mankins 氏より、MVA のシンポジウムを鳥取で行えることの感謝が述べられました。Mankins 氏は何回も来日されているようですが、鳥取に訪れるのは初めてだそうです。「鳥取県」である鳥取で講演が開催できて光栄だとおっしゃっていました。次に、Amulaplo の田中亮明さまより、鳥取砂丘でのアクティビティの紹介がありました。鳥取砂丘は、その砂の形状や砂丘の起伏が月面のシラカバに似ていると科学的にも証明されているそうです。実際、鳥取砂丘には「ルナテラス」という施設があり、ここでは鳥取砂丘の地盤上で、作成したローバーの試運転をすることができます。また、Amulaplo では、AR を駆使した体験を提供しており、鳥取砂丘を月面と見立てたさまざまなミッションを体験できるアクティビティの紹介がありました。

続いて、CO-HOST の一人として、山教センター長による本「コアバイオーム」セッションの導入紹介がありました。本セッションでは、宇宙移住の求めの二つのコアコンセプトである「コアバイオーム・コアテクノロジー・コアサステイナブル」の中で、特に「コアバイオーム」に焦点をあて、前半ではその中でも海洋バイオーム、すなわち「コアオーシャン」について、後半では森林や土壌、すなわち「コアフォレスト」についての焦点をあてて、そして、惑星全体をモデリングするのではなく、惑星の一部に地球環境をつくる「テラフラインクス」構想についての説明がありました。

「コアバイオーム」セッションは、アリゾナ大学 Biosphere2 の John Adams 先生による、Biosphere2 の旅行と課題についての講演から始まりました（ビデオ）。Biosphere2 は地上の生態系を模倣させた施設であり、そのような閉鎖的生態系において何が実現できるのか検証されているそうです。Adams 先生は例として一つの失敗結果を提示されました。3 人の被験者が Biosphere2 で生活できるか検証したところ、被験者 3 人は非常に低炭素となり、大体の時間を農業に使うようになったそうです。また、被験者が Biosphere2 に入ってから酸素濃度が低下し始め、14%まで低下したことも示されました。この対策のため、二酸化炭素を取り除く水酸化カルシウムの購入が強制されたことや、Lung 施設によって湿度や温度を保つことの重要性を語られていました。最後に Biosphere2 の海洋バイオームにおけるサンゴ礁の現在の課題について紹介されていました。

次に、京大大学無機化学実務所の益田氏より、海の生態系の構造と回復力の高さについて説明がありました。益田教授はよく舞鶴海岸沿いで遊ばれているようで、舞鶴海岸沿いで観察結果についてお話しされました。クロダイ・メジナ・クマノイ等の個体数は増加している一方で、アサギなど少ない種に住む魚種が個体数低下していることや、海藻の減少と海藻をよく食べる魚種の侵入により海藻に住む魚種が減少していることが懸念されているそうです。海藻の平均水温が少し上昇しているなどの環境変化が原因だと考えられています。また、環境変化によりフリン・クボシエタイや海藻の center of distribution (COD) の緯度が上がってきている一方で、benthos の COD は下がってきていることを示されました。

次に、海洋生態系の構造と回復力の高さについてお話しされました。具体的には、原発事故後の海の生態系は地震直後と大きく変わり、COD も大きく変化したと言います。また、津波後の海の生態系につい

- 6 -

て長期に渡り定期的に観測し続け、最初は死んだ魚がたくさん海面に沈んでいたが、そのうち海藻、小魚が育ち、次に大きな魚が育ち、およそ 2 年で生態系が復活したことが分かりました。これらの観測結果は、海洋生態系の構造と回復力の高さを示しています。

次に、東京海洋大学の藤澤教授より、テラピアの宇宙養殖の可能性について講演がありました。宇宙で持続的に生活していくためには、リサイクルによって食物の無駄を減らすことが重要ですが、藤澤教授は、宇宙でのタンパク源としてテラピアを提唱し、テラピアの飼料としてクロレラを用いるモデルを発表されました。クロレラはテラピアの排泄物で増殖するので、うまく循環するようになっています。また、廃棄物の養殖に水質を改善することで、水質による水質浄化も期待されるとおっしゃっていました。

次に、テラピアの微小重力下での泳ぎ方・餌取り方法の変化についてお話しされました。テラピアは数 μg ほどの微小重力になるような環境に耐えて生きていくことができません。また、赤外線でもよく回転してしまったり餌が食べにくくなります。つまり、うまく食事をするためには、可視光と重力が大事だとおっしゃっていました。階層を調べたところ、0.1G 以上の微小重力であればテラピアは生き延び、繁殖することが可能ということがわかったそうです。月 1/6G の中で、テラピアを月面で育成することは可能だとお話しされていました。

次に、JAXA の野村正人教授より、ISS 内部環境と ECSS の紹介がありました。ISS には CO₂ 除去・二酸化炭素をさまざまな装置で各所に存在していることや、二酸化炭素除去の仕組み（サバエ反応）などをお話しされ、次に温度管理や水の確保について、尿から水を産生する仕組みなどを簡単に説明されていました。

また、リサイクルすることで Mass の増加量を抑えられるため、長期ミッションにおいては特にリサイクルが大事であると話しされました。ECSS のリサイクル率は改善されており、Gateway の iHAB でも用いられる予定だとおっしゃられています。

次に、AquaNaut-JAUS の藤本さまが水泳装置で登場され、「Simulated Moon Exploration Recreation Program Underwater」という新規の PADI コースについての説明がありました。ダイビングと宇宙遊泳は類似点が多く（ダイビング中は 0 G に感じるなど）、月面の類似体験としてのダイビングの可能性について述べられていました。

次に、京都大学の市村氏による、宇宙空間における物質循環の確立の重要性や、ISS におけるリサイクルシステムの現状評価、人類の宇宙居住に向けた課題についての説明がありました（ビデオ）。今のリサイクルシステムはマイナス面も無味も多く、持続可能な居住できる可能性は担保されていません。また、月に行かためには ISS で生活するために必要なコストの約 10 倍のコストが必要という試算があります。このためにも、リサイクルシステムの改善は非常に重要だとおっしゃっていました。現在のところ、空気・水のリサイクル率は上昇していますが、衣食住に関してはまだまだリサイクル率が低減しているところだそうです。服に関しては着替えの仕方がリサイクル率は上がりますが、その代わり QOL が低下します。Life Support System (LSS) に関しては改善が求められているが、QOL 面が保証されていないのが現状の状況です。

午前の部の最後に、John Mankins 先生より、「PromoMoon」についての宣伝がありました。PromoMoon は、月面への人類移住に貢献すると考えられるアイデアを募り、当選すれば実際に Moon Village Association の方々と開発を進めていくことができる、という企画です。

- 7 -

昼食はルナテラスで取れました。ルナテラスでは火星ローバー開発を行う学生団体 CURARA と ARES が月面体の説明とローバー走行を実演されました。



午後の部は、乾燥地や海岸での生態系や炭素循環・温室効果ガスの循環・地球気候変化について研究している寺本教授による講演から始まりました。まず、炭素循環についての説明があり、特に marginal land での炭素循環を理解することは現在の気候変動の観点から重要です。将来地球で生態系を構築する際にも重要となるとおっしゃっていました。炭素循環の中で特に大切なのが Soil Respiration です。Soil Respiration は Root Respiration（根が呼吸により排出した CO₂）と Heterotrophic Respiration（地中に存在する細菌等によって地中の有機炭素から生成された CO₂）の総和です。Soil Respiration は 68 ~ 109 GtC / year で非常に大きく、気候変動を理解する上で重要だと考えられます。

しかし、乾燥地での Soil Respiration の観測データは少ないため、寺本教授はモンゴルで観測を行い、closed chamber を用いて実験を行いました。結果、2 地点では、季節により草がなくなった方の土地で Soil Respiration が減少しましたが、1 地点ではコントロールと草がなくなった土地で Soil Respiration の差がなかったため、更なる研究が必要、ということでした。

次に、鳥取大学の黒田教授より、コンクリート建築の観点について講演がありました。建物が増える原因として、carbonation, salt attack, frost damage, chemical attack, alkali silica reaction の 4 つが挙げられます。これらの劣化からコンクリートを守る方法として cathodic protection がありますが、alkali silica reactive aggregate がある場合、cathodic protection は劣化を加速させてしまいます。研究を行ったところ、cathodic protection を行う前に高い電流密度の電流を流すことで alkali silica reaction による劣化を防ぐ可能性があるとわかりました。

※alkali silica reaction には、コンクリート内のアルカリと alkali silica reactive aggregate が反応することで Alkali silica gel ができ、Alkali silica gel が水を吸収することで膨張し、コンクリートがひび割れる現象。

次に、鳥取大学の谷口教授より、乾燥地での微生物についての講演がありました。まず高度な乾燥地でも生物が存在することや乾燥の程度によってそこに住む微生物も異なってくることを説明されました。次に、地中の微生物と植物の関係について説明されました。植物が放出した litter s や root exudates は地中の微生物により分解され、栄養素になります。特に根の周辺にいる微生物は Rhizosphere microbes と呼ばれ、栄養固定や栄養素への分解を行います。これにより栄養素は地中にストックされるか、あるいは根の周りに存在する Endophytic microbes によって吸収されます。Rhizosphere には多量に微生物がおり、乾燥地でも Rhizosphere は微生物によって生きやすい環境

- 8 -

であると言えます。また、Endophytic microbes の内訳は環境によって生存に有利になるように変わります。例えば、夏には乾燥に耐えるため乾燥に強い菌の一種が優位になります。乾燥地帯での土壌環境と土壌の微生物と植物の関係性を理解することで、月面での農業に活かせるかもしれません。

次に、砂漠化についてです。一旦砂漠化してしまうと、復活はできません。そこで一旦砂漠化してしまった土地にカビの一種が入った土壌を移植すると土壌の栄養状態が回復しました。つまり、微生物を土壌に加えること (microbial inoculation) は土壌の回復に効果的だということです。現在、この微生物をどのような割合で混ぜるの最も効果的が研究しているところだそうです。

最後に、CERA の村木 CEO より、ECLSS の CO₂ 除去システム開発に向けた教育用小型 DAC デバイスの開発と、DAC デバイスの普及により二酸化炭素の脱炭素を削減する低コスト・高性能化による ECLSS の認知度向上の試みについて紹介がありました。



その後、外国から来てくださった方には鳥取砂丘の鳥の育アリアや、砂の美術館を訪れていただきました。その後、砂丘センターで閉会のお食事会が開始されました。砂丘センターでは経験者の方にも講習することができました。

また、砂丘センターにて、日本人向けにアウトリーチイベントが開催されました。まず、INAMI Space Laboratory CEO の稲波氏より、鳥取県の白兔神社にちなんで宇宙ビジネスの可能性について講演がありました。

稲波氏には白兔神社で参拝すると事業が成功するというジンクスがあるらしく、月面での精神面での支えになる、ということで月面に白兔神社にちなんで神社を建てるという奇抜な構想を発表されました。また、白兔神社は縁結びの神社としても有名で、その月面に建てた神社を縁結びの神社としても機能させようという構想や、地上からオンラインでお参りができるシステムを構築するという構想など、実に様々なビジネスの可能性を示唆されました。最後に、稲波氏が現在取り組まれている、月面にメッセージを送るというビジネスについて、宣伝がありました。

次に、コスモ女子の堀本氏より、コスモ女子での活動について講演がありました。初めに、コスモ女子設立のきっかけについて、宇宙業界では男性が多く、現在の社長が働きづらさを感じたのが設立の動機だったとの説明がありました。その次コスモ女子での活動についての紹介がありました。コスモ女子は定期的に

- 9 -

に勉強会を開いているだけでなく、各々が「部」に所属し、やりたいことを追求するというスタイルだそうです。最後に、コスモ女子の鳥取支部を作りたい、という話になりましたが、会場の参加者の中から鳥取支部部長を募ったところすぐに手が上がり、会場は大盛り上がりを見せました。

次に、WARPSPACE USA の森氏より、WARPSPACE の事業概要についての簡単に説明がありました。現在運用されている通信衛星よりも高い高度で周回させることで、より広い範囲をカバーしようというものでした。また、より遠い通信を実現するため、レーザーを用いた通信も開発しているそうです。また、月や火星など宇宙に送出していく上で、通信円滑化は非常に重要であるため、このような開発を続けているのだという話もされていました。

次に鹿島建設の大野氏より、人工重力施設の話がありました。幼少期より、「宇宙に行ってしまったら地球には戻れない体になる。それは人類の分断だ」ということで人工重力施設についてずっと考えられていたそうです。また、月面で 1G を実現する「ルナグラス」や、火星面で 1G を実現する「マーズグラス」、ルナグラス間をつなぐ交通手段の構想などを軽く説明されていました。

前半の講演が終わったところで、「宇宙タレント」という職名を自ら付られ、宇宙好き YouTuber として活躍中の黒田有彩氏にご登壇いただき、稲波・堀本・森・大野氏と共にディスカッションを行いました。宇宙に興味を持ったきっかけや宇宙開発のこれからについて楽しく議論を交わっていました。



後半は山教教授の司会のもと JAXA の三浦洋教授、amulapo の田中さま、鳥取県産業未来創造課の井田氏の自己紹介がありました。三浦先生はロケットのエンジンについて研究されており、昨今起こった爆発事件で苦労されていると語られていました。井田氏は「星取県」の名付け親であり、地域おこしの実際や苦労話を面白く話されていました。

最後に、再び宇宙タレントの黒田有彩氏を交えて、全員でディスカッションを行いました。

アウトリーチイベントの締めくくりの際には、因幡・但馬の伝統芸術である鹿嶋舞の舞を披露していただきました。



- 10 -

その後、有志の方々に限り、鳥取砂丘ごとの国にて、amulapo さの「月面探査実験 A」の体験がありました。

なお、鳥取でのシンポジウムとアウトリーチの様子は、「宇宙タレント 黒田有彩 ワークシート」に掲載されていますので、ぜひご覧ください。【鳥取 1 日旅】国際的な学会に潜入したら 宇宙を感じて遊ばずは 1【月面】 <https://www.youtube.com/watch?v=F9Se6oNGpKQ> (白樺聖夢・清水海羽 記)

UNISEC ワークショップにおける J-CUBE 進捗報告について

12 月 9、10 日に行われた UNISEC ワークショップに参加しました。私は J-CUBE 探査衛星の進捗報告として LignoSat のシステムと安全審査について説明を行いました。その発表内容や他大学の方との交流などについて報告いたします。

LignoSat は、世界初の木材で作られた構造物をもつ人工衛星であり、その特徴として木造構造物は運用終了後大気圏再突入時に完全燃焼し、水蒸気と二酸化炭素のみを生成するため、環境汚染を軽減する効果があると考えられています。こうした試みを通して宇宙における木材利用の可能性を探るとともに、宇宙開発におけるカーボンニュートラルを提案することも目的としています。他の衛星とはかなり毛色の異なるプロジェクトであるため、発表の後に開催された懇談会では数多くの質問をいただきました。それだけ注目度の高いプロジェクトであるということが実感できたため、今後の安全審査と FM 開発をさらに引き継いでいくことが重要であると感じました。

私の担当する MISSION 部門は宇宙における木材物性を調べるためには不可欠なシステムを開発しています。その一つとして木造構造物におけるひずみ測定システムの開発があります。宇宙環境においてひずみを測定することにより、その熱膨張率を算出します。木材の熱膨張率は木材のミクロの構造を強く反映した値になるため、宇宙での構造変化を考察する一つの材料になります。他にも木材は高周波電磁場を透過するとともにアルミニウムと同等の磁気透過性があるため、木造構造物内部に地磁気センサを搭載し、データを得ることによって 2 号機以降での姿勢制御の実現や、パチアンテナの搭載につなげていく予定です。

今回のワークショップでは様々な人工衛星やロケットを開発しているチームと交流することができ、それぞれのシステムやミッションについて深いお話をすることができました。2 号機以降で予定しているミッションシステムと同様のものを更に開発していたチームの方とのコミュニケーションを通して今やるべきことなどを再確認することができました。今回得ることができた知見を今後も共有し、LignoSat の開発をより良いものにしていきたいと思います。(豊田 悟夫 記)

- 11 -

2024 年 2 月・3 月のイベント

日時	内容	開催場所
2024 年 2 月 10 日・11 日	第 17 回宇宙ユニットシンポジウム (詳細は下のポスターを参照)	京都大学 国際科学イノベーション棟 5 階 (吉田キャンパス本部構内)
2024 年 3 月 21 日	第 2 回宇宙木材利用シンポジウム	京都大学小・中・高・大 4 階 (吉田キャンパス本部構内)

(※宇宙ユニットの情報は最新 Web ページ (<http://www.unss.kyoto-u.ac.jp/seminar/>) で公開いたします。)

第 17 回宇宙ユニットシンポジウム「人類、火星に向かう」



第 2 回宇宙木材利用シンポジウムの開催

第 2 回宇宙木材利用シンポジウムが 2024 年 3 月 21 日 (木) に京都大学小・中・高・大 4 階で開催されます。宇宙での木材利用と樹木の育成に焦点を当てたシンポジウムです。昨年のクラウドファンディングで寄付して頂いた方々も招待する予定です。

10:00-10:05 開会の辞

10:05-12:00 第 1 部 宇宙における木材の利用

木造人工衛星: EXBAS 実験返報

13:30-15:00 第 2 部 宇宙における (植物・) 樹木の育成

- 12 -

低圧下での植物・樹木の育成・微小重力下における植物・樹木の育成

15:30-17:30 第3部 宇宙木材利用の展望

樹木環境における木材利用・宇宙木材産業の展望：パネルディスカッション

17:30-17:35 閉会の辞

参加希望者は、次のメールアドレスに「宇宙木材利用シンポジウム参加希望」と書いてお送りください：
spacewood@mail2.adm.kyoto-u.ac.jp（土井隆雄 記）

YOXO FESTIVAL2024 YOKOHAMA 宇宙 Days の開催

2024年2月3日（土）4日（日）に、横浜みなとみらいで開催されるYOXOフェスティバル2024、そしてYOKOHAMA 宇宙 Daysにて、SIC 有人宇宙学研究センターは出展および関係者による講演を行います。

詳しいプログラムは下記リンクに示しておりますが、山敷センター長をはじめ、稲谷 SIC 特任教授、大野 SIC 特任准教授の他、JAXA 桜井教授、Warpspace 森氏、Aquanaut 森永氏、Inami Space Laboratory 稲波氏、Spaceport Japan 片山氏の登壇が予定されています。また、VR や太陽系外惑星データベース EXOKYOTO の展示も予定しています。

<https://yoxo-o.jp/yoxofestival/>

<https://yoxo-o.jp/yoxofestival/event/>

名称	YOXO FESTIVAL 2024 ～横浜でみらい体験～
実施主体	主催：横浜未来機構、共催：横浜 Bay
日時	令和6年2月3日（土）11:00～17:00 / 4日（日）11:00～17:00
会場	金沢や大学等のイノベーションによる「未来」をテーマとした展示（ロボット、VR など）、展示、観望、ワークショップイベントなど。
入場料	無料
ウェブサイト	詳細は、下記のイベント情報サイトにご覧ください https://yoxo-o.jp/yoxofestival/

お申し込みは以下の Peatix にてお願ひします。皆様のご参加をお待ちしております。

◆SIC 有人宇宙学研究センターから登壇予定の講演（2月3日・4日）

YOXO フェスティバル YOKOHAMA 宇宙 DAYS トークセッション

場所：横浜ランドマークタワー1 階のメインステージ（サカサタのタネ ガーデンスクエア）

2月3日 11:30～12:50

[A-02]宇宙生命～宇宙における地球生態系と生命の維持～

本セッションでは、宇宙における地球生態系、宇宙における生命維持について考えていきます。宇宙移住のための二つのアプローチ（「ロババイオーム」「テラロジック・アグロシステム」）について紹介し、チャッ

- 18 -

オーニングとテラウィンドウの概念について説明します。また、宇宙での生命維持・環境制御技術（ECLSS）について解説します。

登壇者

山敷 康亮（京都大学 SIC 有人宇宙学研究センター長）

桜井 誠人（宇宙航空研究開発機構（JAXA）研究開発部門 第二研究ユニット 研究領域主幹）

<https://yokohamauchudays2024a02.peatix.com/>

2月3日 16:00～17:00

[A-04][パネル・ディスカッション]月・火星に「地球」を持っていく？

本セッションでは、将来の月面・火星での人類の暮らしについて考えてみます。火星は楽く、温暖化を起こす必要があり、地球では温室効果ガスである CO2 によって環境変動が起こるとしています。これらを両方解決する方法はないでしょうか？また、地球生命が月・火星に住むためにはどんな仕組みが必要でしょうか？みなさんと一緒に考えてみましょう！

登壇者

村本 風海（一般社団法人 炭素回収技術研究機構（CERR）代表理事・機構長）

黒田 有彩（株式会社アンスレス代表取締役・宇宙サレント）

山敷 康亮（京都大学 SIC 有人宇宙学研究センター長）

桜井 誠人（宇宙航空研究開発機構（JAXA）研究開発部門 第二研究ユニット 研究領域主幹）

大野 琢也（広島建設株式会社 インノベーション推進室 担当部長）

稲谷 芳文（宇宙航空研究開発機構（JAXA）名誉教授・一般社団法人「宇宙旅客輸送推進協議会」代表理事・ムーンビレッジアソシエーション理事）

<https://yokohamauchudays2024a04.peatix.com/>

2月4日 13:50～14:30

[A-07]月に開始した宇宙旅行の裏側をお伝えします

2005 年にバースン・エヴァレッジ社の宇宙旅行に申し込みました。2023 年は6月から毎月宇宙旅行が成り、民間人が宇宙に行く時代が来ました。本セッションでは、20 年にわたって宇宙旅行に持ち続ける宇宙旅行者が語る、宇宙旅行の裏側をお伝えします。また、将社のビジネスもご紹介させて頂きます。

登壇者

稲波 紀明（INAMI Space Laboratory 株式会社 代表取締役）

<https://yokohamauchudays2024a07.peatix.com/>

2月4日 16:00～17:00

[A-09][パネルディスカッション]宇宙への旅 YOKOHAMA

- 19 -

本セッションでは、日本における宇宙の未来について語ります。現在、人工衛星を用いた世界中での地球環境観測、そして、地方においてスペースポート（宇宙港）の開発が進められています。これらによって、世界はどのように変わっていくのでしょうか？そして、海防ロケットは？宇宙への展開と、ロケットの未来を皆で考えてみましょう。

登壇者

山敷 康亮（京都大学 SIC 有人宇宙学研究センター長）

稲谷 芳文（株式会社アンスレススペース 代表取締役 CEO）

片山 秀樹（清水建設株式会社 宇宙開発部長）

片山 俊大（超速でわかる！宇宙ビジネス）

富田 キオナ（京都大学宇宙総合生命科学部土壌工）

<https://yokohamauchudays2024a09.peatix.com/>

YOXO フェスティバル YOKOHAMA 宇宙 DAYS トークセッション

場所：横浜ランドマークタワー 1 階 NANA Lv.横浜国立大学みなとみらいキャンパス

2月3日 13:00～14:20

[D-02]宇宙居住～月と火星に住むために必要なもの～

本セッションでは、イーロンマスク氏が火星移住計画を公言するなど、宇宙に住むことが現実的な課題になっている昨今、このセッションでは、宇宙居住について広く考えます。月面および火星における人工重力施設、建設、そして月面および他の惑星での居住を考慮する国際探検ムーンビレッジアソシエーションについて解説します。

登壇者

大野 琢也（広島建設株式会社 インノベーション推進室 担当部長）

稲谷 芳文（宇宙航空研究開発機構（JAXA）名誉教授・一般社団法人「宇宙旅客輸送推進協議会」代表理事・ムーンビレッジアソシエーション理事）

<https://yokohamauchudays2024d02.peatix.com/>

2月3日 14:40～15:20

[D-03]「宇宙大冒険」Space Diving～水中疑似月面プログラム 1/6 重力を体験する～

本セッションでは、地球にいたが、月面宇宙飛行士となりリアルに近い疑似 1/6 重力を体験する、水中の自然物理作用を活用した日本初の水中疑似月面プログラムについて解説します。語り聞かされる宇宙ではなく、自分の身体で感じる。言葉では表現できない経験が皆さんを待っています。

登壇者

森永 貴秋氏（Aquanaut 代表・日本水中科学協会（JAUS）正会員・PADI マスタースクーバダイバー・トレーナー）

<https://yokohamauchudays2024d03.peatix.com/>

- 18 -

2月3日 15:30～16:00

[D-04]観測衛星データを活用した持続可能な地上社会の実現と業界の課題

本セッションでは、気象衛星データと環境問題への対策を強化するための手段として、地球観測技術の歴史と現在起きている市場課題、それに対する当社の解決策をご紹介します。人の目には見えない視点から地球を見えるとし、適切な行動を促すことで、持続可能な社会の実現に貢献します。

登壇者

森 裕和（宇宙ビジネスコンサルタント・プロバイダー Blue Abyss Diving Ltd. Co-founder & VP of Business Development・株式会社ワースベース CSO・Warpspace USA Inc. CEO・大分県 宇宙開発振興 技術顧問・一般社団法人宇宙美容機構 理事・一般社団法人

SPACETIDE CXO アドバイザー・宇宙人クラブ ユースリーダー）

<https://yokohamauchudays2024d04.peatix.com/>

2月3日 17:10～19:00

[D-06]横浜×宇宙 大交流会 ～GMS（Great Mobility Suit）開発について語り～

本セッションでは、GMS（Great Mobility Suit）をテーマに参加者の皆さんで未来を語り合います。GMS は、実は「動くスーツ」宇宙大が発表し、通常は非公開で開催されています。今回は特別に、YOKOHAMA 宇宙 DAYS に参加する皆様を交えて実施いたします。私たち人間が宇宙で活動するためには、基本的に機械の力を借りるを得ません。現在のテクノロジーで実現できること、できないことは何なのかといったファクトを押さえて、将来の地球・月における人口ロケットの活躍の可能性について、少人数時代時代のハートに、ディスカッションを楽しみましょう！

登壇者

山敷 康亮（京都大学 SIC 有人宇宙学研究センター長）

大野 琢也（広島建設株式会社 インノベーション推進室 担当部長）

森 裕和（宇宙ビジネスコンサルタント・プロバイダー Blue Abyss Diving Ltd. Co-founder & VP of Business Development・株式会社ワースベース CSO・Warpspace USA Inc. CEO・大分県 宇宙開発振興 技術顧問・一般社団法人宇宙美容機構 理事・一般社団法人

SPACETIDE CXO アドバイザー・宇宙人クラブ ユースリーダー）

片山 俊大（超速でわかる！宇宙ビジネス）

泉 博道（大阪芸術大学 デザイン学部キャラクター造形科 客員教授・大木麗恵先生 機研院 高山直光先生 住職・津土宗 青山梅窓院 秋幸（兼務））

岡村 慎二也（JUNIART DESIGN 代表）

白根 聖夢（京都大学医学部医学科 3 年生）

田尻 智子（フィナンシャルプランナー）

<https://yokohamauchudays2024d06.peatix.com/>

- 18 -

2月3日 15:00~16:00

[D-10]災害と宇宙へ宇宙技術で洪水災害による被害を減らすことはできるか〜

多くの人の命や資産を脅かす洪水災害。地球環境変動により近年その頻度が増加傾向にあります。最新の合成開口レーダーSARや指数の人工衛星を用いて、この洪水被害を高精度で予測・監視する試みがあります。この最新技術によって、現在の洪水災害による被害を減らすことはできるのでしょうか？本セッションでは、人間の行動学的な洪水災害解析とともに、この宇宙技術の活用性について議論してゆきます。

▶ 登壇者

山根 南亮 (京都大学 SIC 有人宇宙学研究センター)

金本 成生氏 (株式会社スペースソフト 代表取締役)

畠田 キアナ (京都大学大学院総合生命学博士課程)

<https://yokohamauchudays2024d10.peatix.com/>

LignoSat 紹介 COMM 班

今回は COMM 班から通信系の開発状況および京大地上局で成功した Clark sat-1 の発信について紹介します。

【通信系の開発状況】

EM(Engineering Model)で行った、これまでのアンテナ展開試験や電波増強試験などの結果を踏まえ現在は FM (Flight Model) を用いたアンテナ長決定試験などの最終調整を行っています。EM も FM も設計上大きな変更点はありませんが、通信システムの漏石性を確保するために改めてアンテナ長決定試験を実施します。LignoSat では木材の x 面の内側にアンテナ基板が接着されており、衛星表面にあるダイポールアンテナと全編成で電氣的接続に接続しています(図 1)。



図 1:LignoSat の x 面とアンテナ長決定試験の様子

- 17 -

このアンテナ基板とダイポールアンテナのマッチングが取れていない、最悪の場合通信が成立しない可能性があるので S パラメータの値を参考に調整を行います。

S パラメータを考えると図 2 のようなモデルを用いようと思います。

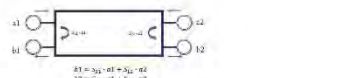


図 2 : S パラメータの概念図

左側のポート 1 から a1 が入力され、b1 が反射で戻ってきたとします。ここで a2=0 の時 S11 は

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1}$$

で求められます。これは入力のうちこの位の信号が反射して戻ってきてしまうのを表しているといえます。ゆえに通信を行う上で S パラメータの小さいほうがよく、-10 dB 以下が一つの基準とされています。12 月に九州工業大学で行われた試験で FM を測定した結果前述の基準を満たすデータを得ることができました。

これらの試験で調整されたダイポールアンテナはアグスと呼ばれる釣り糸を用いてコンパクトに結ばれます。そして ISS からの放出後約 30 分後にそのアグスにクロム線が加熱により焼き切られ、誘いはく展開したダイポールアンテナは地球にむけて電波を届けることになります。しかしながら、この機構は故障や失敗の可能性も孕んでいます。そこで COMM 班では 2 号機にむけて新たな通信システムの開発に着手しました。

電波を透過する木材を利用している LignoSat の特徴を踏かし、低周波の必要がない形状のパッチアンテナを衛星内部に組み込むことで他基板との電氣的な接続をシンプルにし、展開失敗のリスクも排除します。アンテナを衛星内部に組み込まれた前例がない上に、ダイポールアンテナよりもパッチアンテナは指向性が高く密な姿勢制御が要求されるなど容易な道ではありませんが、木材の可能性をできるだけ試行錯誤を続けていく所存です。早速来春には自作したパッチアンテナと木造機体を用いた電波増強試験が行われる予定なのでニュースレターでまたご報告できるのを楽しみにしております。

【衛星と LignoSat】

人工衛星の場所は、米国立アメリカ航空宇宙局(NASA)の衛星により監視され、TLE という形式でその軌道情報が公開されています。LignoSat と同じ Birds プラットフォームを採用している MAYA-5、MAYA-6 の TLE も随時最新バージョンに更新されているので COMM 班では 1 日に 1 回 TLE を自動取得しています。このデータを解析することで、空気抵抗により徐々に高度を下げゆく MAYA の動きをとらえることができます。これと LignoSat の軌道変化を比較することで金属と木材で大気圏で燃え尽きるタイミングに有意な差が生じるのかなどを考察することができると考えています。

- 18 -

GC0M-C											
1	430450	170829	08332	22107755	00000000	00000-0	21232-4	0	8994		
2	43045	170829	08332	22107755	00000000	00000-0	21232-4	0	8994		
3	43045	170829	08332	22107755	00000000	00000-0	21232-4	0	8994		
4	43045	170829	08332	22107755	00000000	00000-0	21232-4	0	8994		
5	43045	170829	08332	22107755	00000000	00000-0	21232-4	0	8994		
6	43045	170829	08332	22107755	00000000	00000-0	21232-4	0	8994		
7	43045	170829	08332	22107755	00000000	00000-0	21232-4	0	8994		
8	43045	170829	08332	22107755	00000000	00000-0	21232-4	0	8994		
9	43045	170829	08332	22107755	00000000	00000-0	21232-4	0	8994		
10	43045	170829	08332	22107755	00000000	00000-0	21232-4	0	8994		
11	43045	170829	08332	22107755	00000000	00000-0	21232-4	0	8994		
12	43045	170829	08332	22107755	00000000	00000-0	21232-4	0	8994		

図 3 : TLE のフォーマット(JAXA より引用¹⁾)

12/18 の方方には、同じく Birds プラットフォームを採用している Clark sat-1 が ISS より無事放出されました。京都大学に整備された地上局でも CW の強い信号を受信し一同が満ち上がりました。次はいよいよ LignoSat の番です。一連の試験を 1 年に行い、早く宇宙に木材の可能性を証明した種を届けたいと思います。

【参考文献】

[1] Two Line Element(TLE)の説明

(https://gportal.jaxa.jp/gpr/assets/mng_upload/GCOM-C/TLE_ja.pdf)

(野間隆寛 記)

2023 年度 Arduino 講習会実施報告

樹木育成学生チーム

昨年度に引き続き、今年度も 10 月から 12 月にかけて松下樹木育成実験チームの新メンバー向けに、Arduino 講習会を実施しました。この講習会の目的は、実験装置を司っている Arduino の仕組みを理解し、実験中に必要であれば自分の方で操作、修正、修理ができるようにすることです。この講習会は大まかに、以下の 5 つの段階からなります。

第 1 回 Arduino のインストール・LED 点灯・点滅・プログラムの基礎構文の解説

第 2 回 Arduino による温度・時間計測とモニタ表示

第 3 回 Arduino による CO2 計測と SD カード記録

第 4 回 Arduino による計測と制御

第 5 回 樹木育成実験装置の詳細説明(真室 記)

第 1 回から第 4 回までは、Arduino 講習会用のキット(図 1)を用いて電子回路の基礎や、計測

- 19 -

系、プログラミングを学びます。第 5 回では、実際に実験で用いている装置を使って、回路や装置の詳細を確認します。

この樹木育成チームには、基本的に電子回路を初めて学ぶメンバーが多く在籍していますが、それぞれのベースでみな積極的に講習会を受講してくださいました。実際の実験装置は、Arduino 講習会用キットに比べて、配線が多いことや、真空室があることで、やや複雑に見えます。ただ、電子回路の基礎の基礎を理解していれば、問題なく操作できるものです。これから実験を多く経験することで実験装置の内容に習熟していただければと思います。

実験装置・電子回路・プログラミングは、実験自体や試料の解析と比較して分野が大きく異なるものです。それでも、この実験装置に習熟することは、実験の全体像を掴むために重要です。今後、低下樹木育成実験チーム全体で実験装置に習熟し、さらにはより発展した実験系の作成を目指して、日々取り組んでいます。

(清田 勝和 記)

研究紹介

LignoSat EPS 班研究紹介

京都大学工学部物理工学科 2 年生 鳥谷陽樹

LignoSat の EPS 班が行っている活動を紹介します。一般的に EPS 班は人工衛星における電力回線を統べる役割を担っています。具体的には、バッテリーの作成や、各基板での電力消費量のマネジメントなどを行います。私たちの LignoSat ではこれに加えて、木造人工衛星の電子基盤駆動用の太陽光パネルの接着を行っています。一般的に小型人工衛星では、PCB と呼ばれる電子基盤が表面にむき出しになっており、そこに太陽光パネルを張り付けて電気ができる状態となります。しかし、私たちは機体である木材に PCB を張り付けているため、そこに太陽光パネルを張り付けても電気ができません。そのため表面の木材に PCB を張り付けてその PCB に太陽光パネルを張り付けるというところでの問題に対処しています(図 1)。木材に PCB を張り付けることは世界初の試みであり、最適な接着剤の選定や接着条件の検討、接着後の測定を行うというのが私たちの LignoSat EPS 班の最大の特徴です。



図 1 LignoSat 独自の太陽光パネル接着方法模式図

- 20 -

直近の活動では、実際に宇宙に打ち上げる FM (Flight Model) の太陽光パネル接合と、その接着力を評価するせん断接着力試験とその解析を完了しました。図 2 は EPS 製のメンバーがソーラセルを電子基板に接合している作業中の写真です。図 3 はソーラセルの接合が完了したホオノキ面の様子です。各面に 2 枚のソーラセルが接合されます。



図 2 FM 太陽光パネル接合作業



図 3 FM 太陽光パネル接合済みホオノキ面

太陽光パネルの接合では、接合面積に対する接合剤塗布面積が 90%以上になるように接合面に付加する圧着力を調整するようにしました。圧着力が大き過ぎると接合剤が接合面からはみ出して来てしまいます。最適な圧着力は圧着用錐の重さを変えた実験より求めました。せん断接着力試験では、接合剤に付与する圧着力に関係なく一定以上の接着力が発生することが確認できました。このことより FM でも接合剤がはがれる恐れのない圧着力を使用できるという十分な証明がなされました (図 4)。

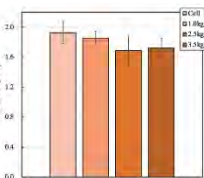


図 4 せん断接着力試験解析結果

今後の活動としては、FM 太陽光パネルの接合済み木造構体を真空引きして気泡確認を行い、九州工業大学の太陽光シミュレーターを使って発電試験を行い、LignoSat 用ソーラパネルの性能を確認する予定です。それに伴って、FM 用のバッテリーの製作も行っています。FM 完成直前のラストパート頑張ってまいります！

京都大学 SIC 有人宇宙学研究センター
<https://space.innovationkyoto.org/>
 〒606-8501 京都市左京区南田本町 南田キャンパス本館構内 総合研究 16 号館 208 号室
 構成人：牛掛木 6 研 成瀬 三木 奥田 高田 山本 山本
 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.25
 2024 年 1 月 1 日発行

参考資料 8-11
Spaceology Newsletter: 2024 年 2 月号

SIC 有人宇宙学研究センター NewsLetter 2024 年 2 月号 No.26

「朝日宇宙フォーラム 2024」にて土井隆雄特定教授が講演

朝日新聞社が主催する「朝日宇宙フォーラム 2024」が 1 月 22 日に大塚梅田のハピネスホールで開催されました。現在、2026 年を目標に宇宙飛行士の月への帰還を目指す国際プロジェクト「アルテミス計画」が進められています。月を訪問する新しい宇宙ステーション「ゲートウェイ」には日本人宇宙飛行士が参加することが正式に決まり、宇宙に長期滞在する時代が近づいています。今まさに有人月・惑星探査時代を迎えようとしています。

まず、土井隆雄特定教授より「有人宇宙活動は何をめざすのか」と題して基調講演が行われました。講演では、宇宙開発に取り組む国々がこれまで行ってきた有人宇宙活動の歴史。1997 年と 2008 年に行った自身の 2 度の宇宙ミッションについての解説や臨場感あふれるチームワークのあり方、「有人宇宙学」研究や水産・人工衛星の開発など現在京都大学で行っている活動の説明を通じ、これからの宇宙開発のあり方を解説しました。

後半は、歌手でタレントの中川翔子さん、JAXA プライタサーजन（宇宙飛行士専門医の医職）樋口陽平さんを迎えての「パネルディスカッション」が行われ、宇宙での生活や健康増進、有人宇宙探査の今後について語り合いました。参加者からは事前に多くの質問が寄せられており、「高齢者が宇宙に行けるのか」「海外旅行のように誰でも宇宙に行けるようになるのか？」「長期滞在をするためには人工的に重力を作るのか？」などの質問が出て大変盛り上がりました。また 1 月 20 日未明に月への軟着陸に成功した SLIM に関する最新の情報を寄せられ、会場からは大きな拍手が上がりました。（辻岡智子 記）



1

YOKO FESTIVAL2024 YOKOHAMA 宇宙 Days の開催

2024 年 2 月 3 日（土）4 日（日）に、横浜みなとみらいで開催される YOKO フェスティバル 2024、そして YOKOHAMA 宇宙 Days にて、SIC 有人宇宙学研究センターは出展および関係者による講演を行います。詳しいプログラムは下記リンクに示しておりますが、山登センター長をはじめ、稲谷 SIC 特任教授、大野 SIC 特任准教授の他、JAXA 特任教授、Warpspace 森氏、Aquanaul 藤永氏、Inami Space Laboratory 稲波氏、Spaceport Japan 片山氏らの登壇が予定されています。VR や太陽系外惑星データベース EXOKYOTO の展示も予定しています。

<https://yoko-o.jp/yokofestival/>

<https://yoko-o.jp/yokofestival/event/>

お申し込みは以下の Peatix にてお願いします。席種の決定をお待ちしております。（山登興亮 記）

SIC 有人宇宙学研究センターから登壇予定の講演（2 月 3 日・4 日）

◆YOKO フェスティバル YOKOHAMA 宇宙 DAYS

トークセッション場所：横浜ランドマークタワー 1 階のメインステージ（サタタタステージ）

2 月 3 日 11:30～12:50[A-02]宇宙生命～宇宙における地球生命と生命の維持～

本セッションでは、宇宙における地球生命系、宇宙における生命維持について考えます。宇宙移住のための二つのコアコンセプト（コアバイオーム・コアテクノロジー・コアサステイ）について紹介し、デフオモニタリングとテラフンドの概念について説明します。また、宇宙での生命維持・環境制御技術(ECLS)について解説します。

登壇者

山登興亮（京都大学 SIC 有人宇宙学研究センター長）

榎井誠人（宇宙航空研究開発機構(JAXA)研究開発部門第二研究ユニット研究領域主幹）

<https://yokohamauchudays2024a02.peatix.com/>

2 月 3 日 16:00～17:00[A-04]「パネルディスカッション」月・火星に「地球」を待っている？

本セッションでは、将来の月面・火星での人類の暮らしについて考えます。火星は寒く、悪環境化を招く必要がある。地球では温室効果ガスである CO2 によって環境変動が起ころうとしています。これらを両方解決する方法はないでしょうか？また、地球生命が月・火星に住むためにはどんな仕組みが必要でしょうか？みなさんと一緒に考えましょう！

登壇者

村木隆典（一般社団法人炭素回収技術研究機構（CRA）代表理事・専務員）

奥田有彩（株式会社アンナリス代表取締役・宇宙外リンク）

山登興亮（京都大学 SIC 有人宇宙学研究センター長）

榎井誠人（宇宙航空研究開発機構(JAXA)研究開発部門第二研究ユニット研究領域主幹）

大野琢也（熊鷹建設株式会社イノベーション推進室担当部長）

稲谷秀文（宇宙航空研究開発機構(JAXA) 名誉教授・一般社団法人「宇宙旅客転送

2

星協協会「代表理事・ムーンレジャアジエンション理事」

<https://yokohamauchudays2024a01.peatix.com/>

2 月 4 日 13:50～14:30[A-07]「パネルディスカッション」宇宙旅行の発展をお伝えします

2005 年にバーン・キャプティビリティ社の宇宙旅行に申し込みました。2023 年は 6 月から毎月宇宙旅行が実現し、民間人が宇宙に行く時代が来ます。本セッションでは、20 年にわたって宇宙旅行に特に関与する宇宙旅行者が語る、宇宙旅行の発展をお伝えします。また、弊社のビジネスもご紹介させていただきます。

登壇者

稲波紀明（INAMI Space Laboratory 株式会社代表取締役）

<https://yokohamauchudays2024a07.peatix.com/>

2 月 4 日 16:00～17:00[A-09]「パネルディスカッション」宇宙への港コハマへ

本セッションでは、日本における「宇宙の未来」について語ります。現在、人工衛星を用いた世界中での地球環境観測、そして、地方においてスペースポート（宇宙港）の開発が進められています。これらによって、世界はどのように変わっていくのでしょうか？そして、港町「コハマ」は？宇宙への選別、コハマの未来を胸で考えましょう。

登壇者

山登興亮（京都大学 SIC 有人宇宙学研究センター長）

福代孝良（株式会社アークエッジ・スペース代表取締役 CEO）

金山秀樹（清水建設株式会社宇宙開発部長）

片山成太（「超速でわかる！宇宙ビジネス」著者）

富田ナヲ（京都大学大学院総合生命科学研究科専任講師）

<https://yokohamauchudays2024a09.peatix.com/>

◆YOKO フェスティバル YOKOHAMA 宇宙 DAYS

トークセッション場所：横浜ランドマークタワー 7 階 NANALV 横浜国立大学みなとみらいキャンパス

2 月 3 日 13:00～14:20[D-02]宇宙居住～月と火星に住むために必要なもの～

本セッションでは、イーロンマスク氏が火星移住計画を公言するなど、宇宙に住むことが現実味を帯びつつある。このセッションでは、宇宙居住について広く考えます。月面および火星における人工重力施設の実現、そして月面および他の惑星での居住を考える国際組織ムーンレジャアジエンションについて解説します。

登壇者

大野琢也（熊鷹建設株式会社イノベーション推進室担当部長）

稲谷秀文（宇宙航空研究開発機構(JAXA) 名誉教授・一般社団法人「宇宙旅客転送

推進協議会「代表理事・ムーンレジャアジエンション理事」

<https://yokohamauchudays2024d02.peatix.com/>

3

2 月 3 日 14:40～15:20[D-03]「宇宙大学特別講演」Space Diving～水中で疑似月面プログラム 1/6 重力を体験する～

本セッションでは、地球にいながら、月面宇宙飛行士となってリアルに近い疑似 1/6 重力を体験する。水中の自然物理作用を活かした日本初の水中疑似月面プログラムについて解説します。疑似月面がされる宇宙だけでなく、自分の身体で感じ取る。言葉では表現できない経験が皆さんを待っています。

登壇者

藤永高秋氏（Aquanaul 代表・日本水中科学協会(JAUS)正会員・PADI マスタースクーバ

ダイバー・トレーナー）

<https://yokohamauchudays2024d03.peatix.com/>

2 月 3 日 15:30～16:00[D-04]観測衛星データを活用した持続可能な地上社会の実現と世界の課題

本セッションでは、気候変動対策や環境問題への対応を強化するための手段として、地球観測技術の進展と現在抱えている市場課題、それに対する当社の解決策をご紹介します。人の目には見えない視点から地球を見える化し、適切な行動を促すことで、持続可能な社会の実現に貢献します。

登壇者

森裕和（宇宙ビジネスコンタクト・プロバイダー・Blue Abyss Diving Ltd. Co-founder& VP of Business Development・株式会社グループスペース CEO・Warpspace USA Inc. CEO・大分県宇宙開発振興財団技術顧問・一般社団法人宇宙美容健康理事・一般社団法人 SPACETIDE CXO アドバイザー・宇宙人クラブユースリーダー）

<https://yokohamauchudays2024d04.peatix.com/>

2 月 3 日 17:10～19:00[D-06]講演×宇宙大交流会～GMS（Great Mobility Suit）開発について語ろう！～

本セッションでは、GMS(Great Mobility Suit)をテーマに参加者の皆さんで未来を語り合います。GMS 計画は「気づき」宇宙大学」が発案し、通常は非公開で開催されています。今回は特別に、YOKOHAMA 宇宙 DAYS に参加する皆様と交流し実現いたします。私たち人間が宇宙で活動するためには、基本的な機械の力を借りるを得ません。現在のテクノロジーで実現できること、できないことは何なのかといったファクトを踏まえつつ、将来の地球・月における人間ロボットの活躍の可能性について「少年少女時代のハート」を高く、ディスカッションを楽しみましょう！

登壇者

山登興亮（京都大学 SIC 有人宇宙学研究センター長）

大野琢也（熊鷹建設株式会社イノベーション推進室担当部長）

森裕和（宇宙ビジネスコンタクト・プロバイダー・Blue Abyss Diving Ltd. Co-founder& VP of Business Development・株式会社グループスペース CEO・Warpspace USA Inc. CEO・大分県宇宙開発振興財団技術顧問・一般社団法人宇宙美容健康理事・

4

一般社団法人 SPACETIDE CXO /アドバイザー・宇宙人クソノスリーダー）
 片山俊大（「超深のむかし」宇宙ビジネス著者）
 泉博道（大阪芸術大学デザイン学部キャラクター造形学科客員教授・大阪難波寺光親泉院
 高山萬光寺住職・浄土宗高山梅窓院執事（兼務））
 阿村樹二也（JUNIART DESIGN 代表）
 白樫聖夢（京都大学医学部医学科3 同生）
 川原智子（ライオンシル・プランナー）
<https://yokohamauchudays2024d06.peatix.com/>

2月3日 15:00~16:00[D-10]災害と宇宙～宇宙技術で洪水災害による被害を減らすことはできるか～

多くの人の命や資産を奪ってしまう洪水災害。地球環境変動による近年その頻度が増加傾向にあります。最新の合成開口レーダーSARや複数の人工衛星を用いて、この洪水被害を高精度で予測・再現する試みがあります。この最新技術によって、現在の洪水災害による被害を減らすことはできるのでしょうか？本セッションでは、人間の行動学的な洪水災害解析とともに、この宇宙技術の活用性について議論してゆきます。

登壇者

金木成生氏（株式会社スペース・システム代表取締役）
 宮田キアナ（京都大学大学院総合生命工学部博士課程）
 山崎開亮（京都大学SIC有人宇宙研究センター長）
<https://yokohamauchudays2024d10.peatix.com/>

集中講義「英語で学ぶ全学共通科目集中講義：Are We Alone in the Universe?」開講予告

NASA/GSFC の研究員とSIC 有人宇宙研究センター 専任教授の Vladimir Airapetian 氏の京都大学共通教育集中講義「英語で学ぶ全学共通科目集中講義：Are We Alone in the Universe?」が以下の日程で開催されます。宇宙生物学について、専門家の立場から非常に広範囲な知識を学ぶチャンスです。ぜひ京大生の友だち登録・参加ください。

◆授業概要・目的

Are we alone? For thousands of years, people have turned their eyes to the stars in the night sky and wondered if there are others like themselves out there. Does life, be it similar to our own or it is unique in the Universe? Each epoch produced speculations about life on the Moon, or on Mars. With the advent of space missions, humans have started exploration of our Solar System to study potential life-bearing worlds on Mars, the moons of Jupiter, Europa, Enceladus and the

～5～

Saturn's moon Titan. Since 1995, astronomers have used powerful ground based and space telescopes to discover over five thousand planets around other stars including planets like our own Earth. Are they habitable? Can they develop life? How can we search for life in the Universe?

自然科学科目群(生物学)

期間：3月5-6日の4-5限、7日の3-5限、8日および11-13日の4-5限

対象：全学、全期生向

教室：東一条館201

定員：35名(先着順)

その他授業内容についてはシラバスをご参照ください。

◆申し込みについて

申込期間：2月27日(火)17時まで

申込方法：各科目への申込は、以下の Google Form を通じて受け付けます。

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSc3PtfybQpbqb7DDko9FA0FhPzTohv_eWQJ7SP7yGjwXayEg/viewform

(日程が一部でも重複する集中講義を複数申し込み込むことはできません)

履修取消：履修許可者が受講を取りやめる場合は、2 日目の授業日の当日中まで履修取消の申し出を受け付けます。手続き方法は、履修許可者に対して個別にお知らせします。

注意事項：2024 年 3 月卒業予定者が履修した場合、成績報告が各年度の卒業判定までに間に合わないことがあります。（山崎開亮 記）

～9～

Intensive Lectures 2024 in Spring

英語で学ぶ全学共通科目

集中講義

Infectious Diseases and Public Health-E2

PAUL, Richard
Institut Pasteur (France)

An introduction to the various that infectious diseases have imposed and continue to place on our society. We will discuss the evolution of our knowledge on infectious diseases from the discovery of microbe through to today and how we have used medicine to fight against their public health impact.

登壇者・講師 (English)
 Infectious Diseases
 Institut Pasteur, France
 Director, Institut Pasteur, France
 Director, Institut Pasteur, France
 Director, Institut Pasteur, France

開講・履修 2024年3月

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	

Are We Alone in the Universe?-E2

AIRAPETIAN, Vladimir
NASA's Goddard Space Flight Center & American University (U.S.A)

Are we alone? For thousands of years, people have turned their eyes to the stars in the night sky and wondered if there are others like themselves out there. Does life, be it similar to our own or it is unique in the Universe? Each epoch produced speculations about life on the Moon, or on Mars. With the advent of space missions, humans have started exploration of our Solar System to study potential life-bearing worlds on Mars, the moons of Jupiter, Europa, Enceladus and the Saturn's moon Titan. Since 1995, astronomers have used powerful ground based and space telescopes to discover over five thousand planets around other stars including planets like our own Earth. Are they habitable? Can they develop life? How can we search for life in the Universe?

登壇者・講師 (English)
 NASA's Goddard Space Flight Center
 NASA's Goddard Space Flight Center
 NASA's Goddard Space Flight Center
 NASA's Goddard Space Flight Center

開講・履修 2024年3月

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	

～7～

2024年2月・3月のイベント

日時	内容	開催場所
2024年2月10日・11日	第17回宇宙ユニットシンポジウム (詳細は下のポスターを参照)	京都大学 国際科学イノベーション棟5 階 (吉田キャンパス本部構内)
2024年3月21日	第2回宇宙木材利用シンポジウム	京都大学 小林・益川ホール (吉田キャンパス北部構内)

※宇宙学センターの登録情報はWeb ページ (<http://www.uscc.kyoto-u.ac.jp/seminar/>) で公開いたします。

第17回宇宙ユニットシンポジウム「人類、火星に向かう」

2024年 京都大学宇宙科学ユニット 第17回シンポジウム

人類、火星に向かう

【会場】 京都大学 国際科学イノベーション棟5 階 (吉田キャンパス本部構内)

2.10± 13:00-17:00
 ポスター発表交流会「宇宙研究の広場2024」

2.11± 13:00-17:00
 講演セッション
 氏名 氏名 (北海道大学)
 氏名 氏名 (京都大学)
 パネルディスカッション

参加無料・事前申込が必要です
 ポスター発表と参加の申し込みはウェブから
<http://www.uscc.kyoto-u.ac.jp/seminar/>

主催：宇宙科学センター
 共催：宇宙科学センター
 後援：宇宙科学センター
 協賛：宇宙科学センター

第2回宇宙木材利用シンポジウムの開催

第2回宇宙木材利用シンポジウムが2024年3月21日(木)に京都大学小林・益川ホールで開催されます。宇宙での木材利用と樹木の育成に当ってシンポジウムです。昨年のクラウドファンディングで寄付して頂いた方々も招待する予定です。

～8～

10:00-10:05 開会の辞

10:05-12:00 第1部 宇宙における木材の利用

木造人工衛星・ExBAS 実験観測

13:30-15:00 第2部 宇宙における(植物・)樹木の育成

低圧下での植物・樹木の育成・微小重力下における植物・樹木の育成

15:30-17:30 第3部 宇宙木材利用の展望

物販コーナーにおける木材利用・宇宙木材産業の展望：パネルドiskusション

17:30-17:35 閉会の辞

参加希望者は、次のメールアドレス「宇宙木材利用シンポジウム参加希望」と書いてお送りください：
spacewood@mail2.adm.kyoto-u.ac.jp (土井隆雄 記)

LignoSat 紹介 EPS 班

今回は EPS 班から太陽光基板発電試験についてご紹介いたします。

【電源システムの開発状況】

人工衛星が活動するためには、外部から常に必要の電源を確保する必要があります。宇宙空間では人間が発電してあげることできないため、太陽光のエネルギーによって発電することになります。そのため、人工衛星の開発には太陽光パネルを取り付ける作業が必要となります。EPS 班では EM (Engineering Model) の試験を踏まえ、FM (Flight Model) での太陽光パネルを電子基板に接合することで、発電能力のある太陽光基板の製作を進め、12 月に全 5 面の太陽光基板の製作が終了しました。また、直近の活動として、製作した太陽光基板が正常に発電することができるかを検証する発電試験を実施しましたので、その試験について詳しく説明いたします。

【発電試験について】

人工衛星の発電試験を実施するには、宇宙空間と同じ太陽光の環境を再現する必要があります。

今回の発電試験では、九州工業大学のソーラーシミュレータをお借りして実施しました。このソーラーシミュレータは宇宙空間での日射量と同じ 1,366 W/m² を再現できるというかなりの優れたものです。では、太陽光基板が正常に発電できていることをどのように確かめるのか、ですが、単にソーラーシミュレータに太陽光基板を照らして電圧を測れば良い、というのでもありません。発電している太陽光基板に、人工衛星の内部を模倣した電子負荷装置と呼ばれる機械から一定の電流 I を流してあげます (図 1)。一般に、太陽光パネル電流 I を増加させると太陽光基板が発電する電圧 V が減少すると同時に、発電電力 $P = IV$ も変化します。発電試験では 0 mA から増加させた電流 I とそのときの電圧 V 、電力 P を計測



図 1. 発電試験の様子

- 9 -

し、電圧 V が 0 V になるまで実施します。そして、それらの関係が問題なければ、正常に発電できると言えることとなります。実際に計測したグラフが図 2 のようになります。電圧 V の増加とともに、電流 I は約 430 mA から 0 A まで減少し、電力 P は 0 W から 1.9 W まで増加して、また 0 W まで減少するという、太陽光基板に特徴的なグラフを得ることができました。これは過去に EM で行った結果からしても問題ないもので、製作した FM の太陽光基板が同様に発電できることが確認できました。(池田悠輝 記)

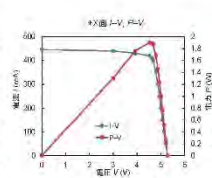


図 2. $I-V$, $P-V$ 曲線

低圧下樹木育成プロジェクト紹介

センサー類校正実験

2023 年 12 月及び 2024 年 1 月の 4 日間で、樹木育成実験で使用する 4 基の低圧下樹木育成実験装置 (通称、低圧チャンバー) に装着したセンサー類の校正実験を行いました。センサー類は CO₂ センサー (K30 EQC, Senserair 社) と湿度センサー (DHT-22, OSOY02 社) (図 1) を使用し、Arduino を用いて PC で低圧チャンバー内の CO₂ 濃度と湿度がほぼ一定になるように制御します。CO₂ センサーは 5000ppm まで ±30ppm の精度で CO₂ 濃度を測定でき、湿度センサーは 0~100% を ±2% の精度で相対湿度を測定できますが、これらセンサー類の低圧環境下での動作は保証されておらず、実験前に校正実験を行う必要があります。

CO₂ 濃度の校正実験で、まず、相対湿度と CO₂ 濃度を測定できる TR-76U (T&D 社) とともに CO₂ センサー (K30 EQC) をチャンバー内に設置し、チャンバー内を大気圧下で約 2000ppm の CO₂ 濃度としました。次にチャンバー内の気圧を 0.1 気圧ずつ下げ、所定気圧に達して 1 分経過後の両センサーの値を読み取りました。この測定を 0.05 気圧まで繰り返し行うことで、チャンバー内の CO₂ 濃度と気圧の関係を両センサーによって確認しました。この一連の測定を各 CO₂

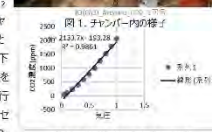


図 2. CO₂ 濃度の測定結果一例

- 10 -

センサーで 2 回繰り返し行いました。

相対湿度の校正実験においても、同様に大気圧で所定の湿度とし、そこからチャンバー内の気圧を下げて湿度センサーおよび TR-76U の値を読み取り、湿度と気圧の関係を両センサーで確認しました。

CO₂ センサーの測定結果の例を図 2、湿度センサーの測定結果の例を図 3 に示します。いずれのセンサーから得られたデータでも、気圧変化に対して線形性を保っていることが確認できました。しかし、図 2 では近似直線から少し離れたポイントになっています。これはセンサーのカバーなどに微小な水滴が残ってしまい、それが蒸発することによってチャンバー内の湿度がそれより上昇したのではないかと考えられます。そのため、初期湿度を少し低くして再測定を行った結果を図 4 に示します。図 4 では図 3 と比較してプロットの離れ具合が小さくなったように見えます。

このようにして得られたデータから樹木育成実験における CO₂ 濃度および湿度の取得データを補正します。さらに、シルニアを用いて酸素分圧を測定するセンサー (LD-450, 東シエンジニアリング ロソリューションズ社) の校正実験も行い、その結果を図 5 に示します。こちらも同じく線形性を保っていることが確認できます。

以上の実験に基づきセンサー類を校正した 4 基の低圧下樹木育成実験装置で引き続き低圧下での樹木育成実験を行い、火星での樹木育成の可能性を検証していきます。(二本勇貴、渡邊新 記)

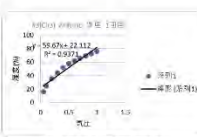


図 3. 湿度の測定結果一例

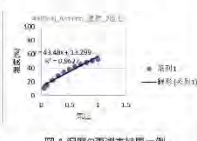


図 4. 湿度の再測定結果一例

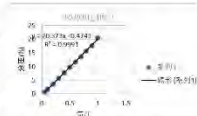


図 5. 酸素分圧の測定結果一例



図 6. 4 基の低圧下樹木育成実験装置

- 11 -

研究紹介

有人宇宙学のそれぞれの執筆者による内容紹介

Chapter 3 「空気再生・水再生・廃棄物処理」

宇宙航空研究開発機構 桜井誠人

はじめに

国際宇宙ステーション(ISS)は高度 400km 上空を飛行しています。ISS 内部は地上と同じ 1 気圧に保たれています。人間の体は酸素分圧 0.2 気圧の空気を呼吸するようにできています。宇宙ステーションでは地上と同じ比率の酸素と酸素が満たされています。本章では生命維持の根幹である空気と水の再生に関して紹介しています。

1. 酸素の供給

酸素は再生水を水電解することにより生成されます。水の重量の 90% は酸素であり、軌道上で日照のある時間帯に太陽電池で発電された電力は水の電気分解に使用されます。水電解により発生した水素は危険なので宇宙へ排気します。水電解以外の酸素供給方法はロシア製のキャンドルと呼ばれる塩化酸素酸化物 (KClO₄) や塩化酸素酸化物 (LiClO₄) のカートリッジを加熱分解することにより酸素を製造します。このカートリッジの寿命は、1 日間 1 人のための十分な酸素 (600 リットル) を発生します。

2. 清浄な空気への補正

宇宙船は閉鎖系のため換気はできません。酸素を消費し二酸化炭素をキャビンへ排出するため二酸化炭素濃度が上昇します。地球では二酸化炭素濃度は 350ppm~400ppm 程度ですが、ISS の内部では 4000ppm 以上あり地上に比べ 10 倍程度濃度が高いです。宇宙では水酸化リチウム LiOH と呼ばれる化学物質を用いて化学式(1)の通り二酸化炭素を除去します。

$2LiOH + CO_2 \rightarrow Li_2CO_3 + H_2O$ (1)

LiOH キャニスターは頻りに交換する必要があり使用済みのキャニスターの量が膨大となるため、CDRA (シードラ) (Carbon Dioxide Removal Assembly) という米国の再生二酸化炭素除去装置を使用しています。二酸化炭素はゼオライトに吸着され、CO₂ で飽和した吸着剤を加熱することにより、吸収されていた二酸化炭素を脱着し船外へ排出します。

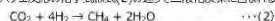
また、人間は二酸化炭素以外に少量のガスを排出します。汗で生成されるメタン、汗に含まれるアンモニア、尿や呼吸に含まれるアセトン、メチルアルコール、一酸化炭素などです。これらは微量有害ガス除去装置 TCCS: Trace Contamination Control Assembly により活性炭や触媒により ISS 内の空気から取り除かれます。

3. CO₂ から水を作る

ISS の初期運用では酸素は水電解により生成し、水素は宇宙に排気していました。一方キャビン

- 12 -

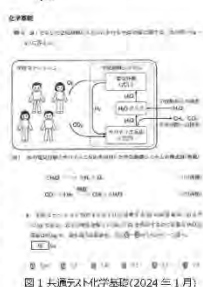
内の二酸化炭素も分離濃縮して宇宙へ捨てています。この捨てた水と二酸化炭素からサバチエ反応で水を生成しています。NASAはサバチエ反応装置を搭載して3人が排出するCO₂を還元して水を生成しています。その水を電気分解することにより酸素をつつCO₂酸素のサイクルの流れを作っています。サバチエ反応の化学式は式(2)の通りで二酸化炭素に含まれる酸素は水に含まれる酸素となります。



地上では植物が二酸化炭素を吸収し、酸素を生成していますが、宇宙船では物理化学的手法により空気を再生します。CO₂からO₂を再生するプロセスは本年度の共通テスト化学基礎にも出題されました(図1)。本書「有人宇宙学」の内容がこれから入試問題として出題されるかもしれません。

4. 水再生

宇宙ステーションのトイレは水洗ではありませんし洗剤もしません。食べ物はヒータで温めるのみで茹でたりしません。宇宙ステーションの搭乗員は一日に3.5リットル程度の水で生活しています。収集された尿を米国の水再生処理システム(WRS)へ送って飲料水として再生しています。



おわりに

1998年より建設が始まった国際宇宙ステーションは30年の運用を想定して設定されており、次世代の宇宙拠点/施設です。月周回軌道に建設される深宇宙深空ゲートウェイ(Deep Space Gateway: DSG)は、月や火星への有人探査・居住のために、極めて大きな役割を果たすと期待されています。JAXAは日本得意の環境技術などで次期国際有人宇宙活動に貢献することために環境制御生命維持システムなどの研究開発を行っています。

参考文献

- 1) Peter Eckart: Spaceflight Life Support and Biospherics, Kluwer Academic Publishers, p.175, 1994.
- 2) 新田 康治、木村勢至朗: 宇宙で生きる、テクニカル漫画、1994.
- 3) Wiley J. Larson, Linda K. Pranke "Human Spaceflight" McGraw Hill Higher Education

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 吉田キャンパス本館内 総合研究1G号館208号室
 協理人: 宇山本村研究室 三本勇貴、菅西世太、山本健大
 Tel: 075-753-5129 Email: spaceinfo@mail2.ndm.kyoto-u.ac.jp
 SIC 有人宇宙学研究センター Newsletter No.26
 2024年2月1日発行

参考資料 8-12
Spaceology Newsletter: 2024 年 3 月号

SIC 有人宇宙学研究センター
NewsLetter 2024 年 3 月号 No.27

YOXO FESTIVAL 2024

開催報告

2024 年 2 月 3 日・4 日、横浜市で開催された YOXO FESTIVAL 2024 が開催されました。本イベントにおいて、京都大学総合生存学館・SIC 有人宇宙学研究センターは、さまざまな講演を行いました。

(1) YOXO フェスティバル YOKOHAMA 宇宙 DAYS トークセッション初日(2024.2.3 開催)

[A-02] 宇宙生命～宇宙における地球生態系と生命の維持～
2 月 3 日、横浜ランドマークタワー 1 階のメインステージ(リカガのタネ ガーデンスクエア)では、YOXO フェスティバル YOKOHAMA 宇宙 DAYS トークセッション[A-02]が開催され、宇宙生命についてのイベントが行われました。このセッションは、京都大学 SIC 有人宇宙学研究センター長である山数胤氏と宇宙航空研究開発機構(JAXA)研究開発部門 第二研究ユニットの研究領域主幹である佐川誠人氏によって主催され、宇宙における地球生態系と生命の維持に関するトークセッションが展開されました。セッションの開始にあたり、両者の代表者として、ペースメーカーの近藤孝氏とともに山数胤氏がサインサイザーで YOXO 宇宙テーマソング[宇宙へのみなと Harboure to the Space]を演奏し、会場に集まった観客たちを引き込むオープニングが始まりました。



<https://www.youtube.com/watch?v=s6dYTimWtH8>

講演において山数胤氏は、「宇宙移住のための三つのコアコンセプト」「コアテクノロジー」「コアサステイナビリティ」、これらの要素が宇宙移住の基盤となる重要な要素であることを強調しました。特に、コアバイオームについて詳しく説明し、これは有人宇宙で規定される地球の生態系を模した人工空間であり、気候、水、日照、酸素濃度、風などを人工的に管理できる状態を指します。このコアバイオームのコンセプトは、地球の生態系を再現した閉鎖空間を意味し、他の天体への宇宙移住におい

- 1 -

て不可欠な要素であることを強調しました。

さらに、山数胤氏は、コアバイオームの選定に必要な核心技術である「コアテクノロジー」、社会基盤である「コアサステイナビリティ」の統合が、宇宙移住の基幹システムとして確立が必要であることを説明しました。彼は映像やイメージを用いて構築し、子どもたちにも理解しやすいように上達しました。その結果、会場にいた子どもたちが真剣に耳を傾け、将来の宇宙移住に対する興味を持つきっかけを作っていました。

続いて、JAXA 佐川氏が登壇し、宇宙船内で酸素を再生・循環させる装置についての興味深い講演を行いました。佐川氏は宇宙船内の二酸化炭素に酸素を混ぜ、メタンと水を得るサバチ反応を用いて水を生成し、その水を電気分解することで、宇宙船内に酸素を生成する仕組みを紹介しました。また、宇宙船内の酸素の循環の仕組みについても詳細に説明しました。この技術の開発は、長期間の宇宙滞在において酸素の供給を確保するために極めて重要であり、佐川氏の講演は会場にいた小学生たちを巻き込みながら行われ、非常に楽しい雰囲気で行われました。

このトークセッションは、宇宙における生命の維持や宇宙移住に関心を持つ人々にとって貴重な機会であり、山数胤氏と佐川氏の情熱的な講演によって、宇宙への未来の冒険に対する新たな理解と興味が生み出されました。未来の宇宙探検家や科学者たちが、これらのコアコンセプトと技術を開発し、宇宙における生命を維持し、新たな世界を開拓することで、人類の進化に大きな影響を与える可能性があることを示唆しています。宇宙への探求心と科学への情熱を鼓舞し、新たな未来に向けて希望を抱かせるものでした。

(高澤剛 記)



[D-02] 宇宙居住～月と火星に住むために必要なもの～

2 月 3 日の 13:00 より、横浜ランドマークタワー 7 階 NANA Lv.横浜市立大学みなとみらいキャンパスにて、宇宙居住～月と火星に住むために必要なもの～として、鹿島建設株式会社 イノベーション推進部 宇宙担当部長人野塚也氏と、一般社団法人「宇宙旅客輸送推進協議会」代表理事・ムーンレジェンダアソシエーション理事の稲谷芳文氏の講演が開催されました。まずは、人野氏による月面・火星での人工重力の必要性と仕組み、自ら構築しているルナグラム・マーズグラムの解説がありました。続いて稲谷氏により、JAXA そしてムーンレジェンダアソシエーションにおいて検討されている月面での 1,000 人規模での社会の構築とそれに必要な技術や体制についての話が行われました。月面社会を構築するために必要な社会的な準備と、多くの人口を支えるためのインフラ構築、経済システム構築の必要性と、そのために社会全体が変容しようという現在において、どのように



- 2 -

して我が国や我が国の企業がリーダーシップを取り合う、また国家的な枠組みを構築できるかについて議論が展開されました。

(山数胤 記)

[D-03] [宇宙大学特別講演]Space Diving～水中疑似月面プログラム 1/6 重力を体験する～

2 月 3 日の 14:30 より、横浜ランドマークタワー 7 階 NANA Lv.横浜市立大学みなとみらいキャンパスにて、アクアノート代表の熊永高氏による「Space Diving ～水中疑似月面プログラム 1/6 重力を体験する～」が開催されました。主催は「気づきセミナー 宇宙人学」で、会場はオンラインのところ、今回初めてリアル開催でした。

本セッションでは、NASA ではすでに採用されている宇宙飛行士の水中訓練から学んだ熊永氏が、水中で月面を模した体験ができるスペースダイビングを追求した「疑似月面コース」を開発され、今後普及に取り組みを話されました。

また、本セッションでは、プロダイバーである熊永氏がダイビングウェア姿に兜をお付けして登場。部分の息と口で、参加者にあらかじめ配られた空をぶつけられるというユニークな演出から始まりました。冒頭で参加者に 10 の質問を投げかけ、実はそれは宇宙飛行士に向いているかという質問に答えてもらうものであったと最後に説明がなされる、会場一体型のセッションで盛り上がりました。

(宇佐なつみ 記)



[D-04] 観測衛星データを活用した持続可能な地上社会の実現と業界の課題

2 月 3 日の 15:00 より、横浜ランドマークタワー 7 階 NANA Lv.横浜市立大学みなとみらいキャンパスにて、宇宙ビジネスコンサルタントの森田氏による講演が行われました。宇宙ビジネスコンサルタントの森田氏は、英エジンバラ大学理論宇宙物理学部へ入学し、卒業後、ケンブリッジ大学で修士号を取得し、さらにプロダイバーとして地中海で活躍し宇宙飛行士訓練組織をイギリスに立ち上げ、さらに宇宙ビジネスにおいては 8 つの法人で社長、COO、理事、顧問などしている。講演では衛星通信に光通信を用いることによる技術革新、衛星事業における業界のメインプレイヤーの推移、我が国に求められている未来についての話がありました。

(山数胤 記)

[A-04] [パネルディスカッション] 月・火星に「地球」を持っている？

2 月 3 日、横浜ランドマークタワー 1 階のメインステージであるサカタのタネ ガーデンスクエアにて、YOXO フェスティバル YOKOHAMA 宇宙 DAYS トークセッション[A-04]「月・火星に「地球」を持ってい

- 3 -

ける？」が開催されました。このセッションでは、将来の月面と火星での人類の暮らしに関するディスカッションが行われ、多岐にわたる専門家が登壇しました。

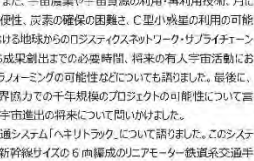
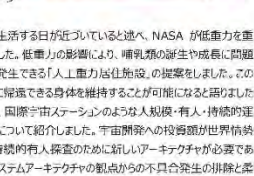
宇宙ファクトの山田有彩氏が司会を務め、SIC 有人宇宙研究センター長の山数胤氏、一般社団法人 炭素回収技術研究機構(CRRA)の代表理事・機構長である村木風海氏、鹿島建設株式会社 イノベーション推進部 宇宙担当部長である人野塚也氏、宇宙航空研究開発機構(JAXA)の名誉教授、稲谷芳文氏がパネリストとして参加しました。

村木氏は、2030 年に月、2045 年には火星に到達する計画について語りました。自身の体調管理を宇宙空間で行うため、現在は医師の勉強もしていることを話されました。また、CO₂回収装置「ひやふし」(写真)の開発についても話されました。この装置は、空気から CO₂を回収して地球を冷やすことを目的としています。村木氏は、アルカリ性の液体を利用して空気中の二酸化炭素を回収する原理を基に、中学 3 年の時に原型を作り、高校 2 年の時にはボタニックで CO₂を回収できる機械を完成させました。

人野氏は、人類が宇宙空間や月、火星で生活する日が近づいていると述べ、NASA が低重力を重要な課題として位置付けていることを指摘しました。低重力の影響により、哺乳類の誕生や成長に問題が生じる可能性があり、地球と同等の重力を発生できる「人工重力」居住施設、の提案をしました。この施設に住むことで、人類は子供を産み、地球上で生活できる身体を維持することが可能になると語りました。

稲谷氏は、宇宙ミッションの歴史を振り返り、国際宇宙ステーションのような規模・有人・持続的運用・国際協力・長期計画のミッションへの進化について紹介しました。宇宙開発への投資額が世界経済に大きく依存していた歴史や、月や火星への持続的有人探査のために新しいテクノロジーが必要であること、宇宙社会を構築するための条件や、システム・キーテクノロジーの観点からの不具合発生時の排除と柔軟な活用性の必要性についても言及しました。また、宇宙産業や宇宙資源の利用・再利用技術、月における発電・通信・測定の各種衛星の利便性、炭素の確保の困難さ、C 型小惑星の利用の可能性についても触れました。さらに、宇宙基地における地球からのロジスティクスネットワーク・サプライチェーンの重要性や、宇宙プロジェクトの計画立案から成果創出までの必要時間、将来の有人宇宙活動における技術革新や人類の生態的進化、惑星テラフォーミングの可能性などについても語りました。最後に、人類の地球離脱にかかる経費試算や、全世界での千年規模のプロジェクトの可能性について言及し、宇宙開発を進める世界の情勢と人類の宇宙進出の将来について問いかけました。

山数胤氏は、惑星間を移動する人工重力交通システム「ヘリトランック」について語りました。このシステムの核となるのは「スペース・ムスス」(写真)という、新幹線サイズの 6 両編成のリアモーター鉄道系交通手段



- 4 -

段で、さまざまな役割を果たします。このシステムは、人工重力居住施設の垂直方向の移動や、複数の施設間の都市鉄道としての役割を担う Lunar Vehicle から接続されて、月面や火星の遠征の都市間交通網の役割を果たします。山敷氏は、宇宙空間の微小重力や宇宙放射線といった問題を解決し、人類が宇宙へ広がる可能性を高めると述べました。

このセッションを通じて、宇宙開発の現状と未来の可能性が浮き彫りにされ、月や火星での生活実現に向けた具体的な技術やアイデアが提供されました。また、宇宙開発における各専門家の見解が相互に交わり、参加者にとって新たな洞察と知識の獲得の場となりました。このディスカッションは、宇宙開発における多様な視点の融合と、人類の未来への一歩を踏み出すための重要な議論を提供し、参加者に大きな影響を与えました。(高澤剛 記)



[D-06] 横浜×宇宙大交流会～GMS (Great Mobility Suit) 開発について語ろう！～
2月3日の17:10より、横浜ランドマークタワー7階 NANA Lv.横浜市立大学みなとみらいキャンパスにて、「横浜×宇宙 大交流会 ～GMS (Great Mobility Suit) 開発について語ろう！～」が開催されました。

本セッションでは、気浮かせミナー 宇宙大学代表の宇佐なつみ氏・フライングジャンプランナーの田尻 哲子氏の司会のもと、京都大学 SIC 有人宇宙学研究所センター長の山敷 南亮氏、鹿島建設株式会社インバリュー推進室宇宙担当の大野 琢也氏、株式会社タイム CEO の中島 紳一郎氏、宇宙ビジネスサテライトの森 祐和氏、一般社団法人スペースポートジャパン共同創業者理事の片山 俊大氏・大阪芸術大学デザイン学部キャラクター造形学専攻客員教授の泉 博道氏、JUNIART DESIGN 代表の岡村直也氏、INAMI Space Laboratory 株式会社代表取締役の稲波知明氏、京都大学医学部医学科3回生の白根 聖孝氏の9名で、GMS (Great Mobility Suit) をテーマに、「我々の技術で宇宙で活躍する大きなモビリティが実現できるのか?」を議論しました。GMS とは「気浮かせミナー 宇宙大学」が発表し、将来宇宙で活躍する人型ロボットのことです。私たち人間が宇宙で活動するためには、基本的な機械の力を借りるを得ません。そこで GMS プロジェクトメンバーは、建設用・エンターテインメント用など、多様な用途を持った人型ロボット GMS が宇宙で活躍する未来の構想を打ち出し、非公開で議論を重ねてきました。

まず、登壇者の「自分が宇宙に興味を持ったきっかけ・自分が現在取り組んでいること・宇宙への夢」について発表があり、それを基にして、実際 GMS のようなロボットを開発するとなったら予想される苦労や、どのように採算をとるか、素材は何にするか、人型ではなく虫型でもいいのではないかと、そもそも2本足は必要か、など議論を行いました。また同時に、モビリティスーツについても、例えばダイバーが活用するエグゾ・ドブス型の人型宇宙服、あるいは身体に装着し肩の動力を0.6気圧まで耐えられることができる宇宙服についても議論を行いました。

-5-

また、GMS プロジェクトに先立って、山敷氏と岡村氏によってイメージビデオが作成されました。
<https://www.youtube.com/watch?v=JsFnrM5gFU>
会場は満席で、交流会の席では、登壇者と参加者の皆さまを交えた交流の時間は非常に盛り上がりました。



(2) YOXO フェスティバル YOKOHAMA 宇宙 DAYS トークセッション 2 日目(2024.2.4 開催)

[D-10] 災害と宇宙～宇宙技術で自然災害による被害を減らすことはできるか～

2月4日の15:00より、横浜ランドマークタワー7階 NANA Lv.横浜市立大学みなとみらいキャンパスにて、「災害と宇宙～宇宙技術で自然災害による被害を減らすことはできるか～」が開催されました。本セッションでは、株式会社スペースソフト代表取締役の金本成生氏、京都大学大学院総合生命学館博士課程の富田キナ氏、京都大学大学院総合生命学館教授の山敷南亮氏の3名と、「宇宙技術を利用して災害の被害者数を減らすことはできるのか?」について議論が交わられました。

金本氏の発表では洪水から人々を守るためのデータを得るために、合成開口レーダー(SAR)衛星を使用しており、かつ、ヴァーチャル・ジュニタレーション(VC)というコンセプトのもと、複数の人工衛星群(ジュニタレーション)を利用して、時間・空間双方の分解能をあげています。SAR 衛星データの特性として、太陽からの可視光成分の地表面での反射光を主に利用する光学衛星とは違い白ラマイクロ波を発信しその反射成分を受信することにより、雨雪などに遮られず撮像が可能であること、地表面変位の検知精度がセンチ単位であることが挙げられ、光学衛星データとは比較にならない精度での水位計測が可能になることが大きな特徴で、VC を利用することにより高い解像度での浸水深の提供が可能です。スペースソフトではこの技術と、トラグ(秋)との共同開発による自動車通行可能な経路判定を合成することにより、今後は保険会社へ浸水判定の解析サービスを提供する予定です。また、能登半島地震においても、素早く多くのデータの提供を行ってきました。

SAR 衛星の実証実験で鳥取の稲垣を利用していただいた点は大変ユニークに感じました。気象条件に左右されず高精度の画像を撮ることができる SAR 衛星をいえば、正確に把握した範囲や河川の幅の変化を知ることができ、防災に役立てることができそうです。

-6-

次に、富田氏より発表がありました。現在、地球上で様々な自然災害が発生している中、最も死亡者数と発生頻度が多い災害は洪水であることが紹介されました。また実際に被災したケースで、コミュニティの中での情報伝達と、その手段に関し報告がありました。災害発生時、携帯に避難指示が送信されるようになっていて、「今回の避難指示は空振りだ」「慣れた家を離れたくない」「避難所での生活が不安」などの心理が働いています。結局、避難しない場合や避難しても「垂直避難」、すなわち家の上階へ逃げる位なこともあります。そうすると、河川氾濫時の洪水発生時に孤立し、最悪の場合死亡してしまうケースもあるとの報告がありました。また避難するかどうかの判断を「聴覚情報」に頼っている現状があるとの報告がありました。

ディスカッションでは、山敷氏の司会のもと、(1) VC を実際に利用の際のハードル(2) 水平避難を促すためのコミュニティの働きかけの方法、また、(3) 防災情報を民間企業が提供し、それをビジネスとして運用するために必要なこと、などに焦点が当てられ、また、(4) 正常化バイアスなどにより避難したくない人々をどのように説得するかに関しさまざまな議論が行われ、(5) 最終的には、富田氏より、防災におけるタイムラインにおいて、SAR による浸水深情報の「基準」を策定したのち、それをタイムラインに組み込むことが解決への道となる可能性に関する提案がありました。

また、参加されていた稲波スペースラボラトリー代表 CEO からのビジネスに関する提案や、AB Lab 佐久間氏による地域防災の提案もあり、実りの大きい議論となりました。(白根聖孝 記 写真・村井香)



[A-04] 「パネルディスカッション」宇宙への港 ヨコハマ

2024年2月3日、横浜ランドマークタワー1階のサカタタネ アークデンスクエアで YOXO フェスティバル YOKOHAMA 宇宙 DAYS トークセッション [A-04] 「パネルディスカッション」宇宙への港 ヨコハマ」が開催されました。このセッションでは、宇宙開発とヨコハマの未来に関する熱い議論が交わられました。登壇者は、京都大学 SIC 有人宇宙学研究所センター長の山敷南亮氏、アークエッジスペースの代表取締役 CEO 稲代孝良氏、清水建設株式会社宇宙開発部部長の金山秀樹氏、一般社団法人スペースポートジャパン共同創業者の片山俊大氏、そして京都大学大学院総合生命学館博士課程の富田キナ氏です。



-7-

稲代氏は、超小型衛星の星座化を中心に宇宙利用の新たな形を提案しました。彼は、宇宙が最も役立つのは地上の基礎インフラが機能しない場所であると説明し、災害時や遠隔地での超小型衛星による情報網の重要性を強調しました。また、海上情報のデジタル化を目的とした衛星 VDES コンソーシアムの設立にも言及しました。

金山氏は、清水建設がスペースポートの研究から始め、宇宙ロボット、宇宙太陽発電、宇宙旅行や宇宙ホテル、月や惑星上の建設など、多岐にわたる宇宙開発のテーマについて研究を進めていることを紹介しました。彼は、「シミズドリーム」を打ち上げ、宇宙での暮らしを支えるための技術開発に取り組んでいることを説明しました。

片山氏は、ブランディングやエンタテインメント等さまざまな宇宙ビジネスに関わり、スピード感を持って取り組むことが重要であると述べました。また、スペースポートは宇宙と地球をつなぐ地上の拠点であること、不動産開発や各エリア同士の関係性や、官民連携の必要性についても話しました。

山敷氏は、星間を移動する人工重力交通システム「ヘキサトラック」について語り、このシステムの中心になるのは「スペースエクスプレス」という新幹線サイズのリアモーター軌道交差点で、人工重力居住施設間の移動や都市間鉄道の役割を担います。彼のプレゼンテーションは、宇宙空間の微小重力や宇宙放射線といった問題を解決し、人類が宇宙へ広がる可能性を高めるものでした。

富田氏は、豊富な海外経験からのグローバルな視点から、海外旅行における都市型宇宙ポートの利用や実現性について「ネリスト」へ質問を投げかけ、ディスカッションの活性化に貢献しました。彼女はまた、宇宙基地の実現可能性や将来の有人宇宙活動の視点を含めた宇宙開発のビジョンについても話しました。

このセッションは、宇宙開発の多様な側面に焦点を当て、ヨコハマが宇宙産業にどのように貢献できるかを追求する貴重な機会でした。専門家による深い洞察と革新的なアイデアが、参加者に宇宙開発への興味と理解を深めるきっかけを提供しました。(高澤剛 記)

2月3日・4日の2日間、横浜ランドマークタワー5階の展示スペースにて、SIC 有人宇宙学研究所センターからは、鹿島建設と京都大学が共同で研究している人工重力居住施設「ルナグラス」の内部を体験できる VR と、系外惑星データベース ExoKyoto を展示させていただきました。VR は子供たちに非常に人気で、毎 hour に 2、3 人は待っている状況でした。子供たちは「なんで地面が傾くのかな?」「船が生えてる!」「船があるよ!」「上に太陽が見える!」と大盛り上がりでした。ExoKyoto の展示は、少し物知りな子どもたちや大人が来場され、太陽系外惑星データベースを見ていただいただけでなく、ExoKyoto 独自のテキストや写真にも興味を持っていただけたました。(白根聖孝 記)



-8-

第17回京都大学宇宙ユニットシンポジウム開催報告

2月10日(土)、11日(日)に第17回宇宙ユニットシンポジウム「人類、火星に向かう。」が開催され、有人宇宙研究センターも共催として参加しました。

10日午前には、稲波紀明氏の特別講演「民間による宇宙旅行と宇宙ビジネス〜ついに開始した宇宙旅行の裏側をお伝えします〜」が開催され、2005年にバース・ギラクティック社の宇宙旅行に申し込み、20年にわたって宇宙旅行に待ち続ける宇宙旅行者による宇宙旅行の裏側、また自身の取り組む宇宙ビジネスに関する講演をしていただきました。

午後からはポスター展示交流会が開催され、高校生、大学生、研究者、社会人から50件のポスターを出展していただき、それぞれの発表テーマについて100名以上の参加者が活発な意見交換を行いました。特に優れたポスターには最優秀賞・優秀賞(高校生以下の部・一般の部)、宇宙ユニット長賞が授与されました。また、有人宇宙研究センターからはSIC特別賞、稲波特別賞の二つの賞が授与されました。

【ポスター受賞者】

●最優秀賞：

橋本一光、永田利正、橋本七帆、伊藤留子(子ども宇宙アカデミー)
「水リットル打ち上げ条件(角度・気圧・水質)の研究」

●優秀賞(一般の部)：

小松淳平、山本可成、山本真樹、池田幸次、山崎剛亮(京都大学)
「地球からの移住者たちによる火星文化の構築」

●優秀賞(高校生以下の部)：

①若松祐弥(岡山理科大学附属中学)
「宇宙開発における電波の必要性」
②刈野龍哉、伊藤留子(子ども宇宙アカデミー)
「ロケットの正確に落ちる(パラシュート)の研究」

●ユニット長賞

加出悠希(関西大学)、加出久子(名城大学)、青 賢典(福井大学)、
山崎龍紀(関西大学)
「蓄熱蓄熱材を活用した電源温度安定化デバイス軌道上実験のための1Uキューブリック
DENDEX-01の開発」

【SIC 有人宇宙研究センターからのポスター受賞者】

●SIC 特別賞：

川瀬祥己(名古屋工業大学)、高岸航平、山本大樹(名古屋大学)、
久保麻子(京都市立芸術大学)、松岡智隆(東京大学)、岡本真樹(名古屋大学)、
佐藤真希、榎野日向子(京都市立芸術大学)、大島美奈(京都市立芸術大学)、
大崎シュア(名古屋大学)、堀部洋樹(京都市立芸術大学・教員)
「宇宙プロジェクト：なぜ宇宙とつながるか」

- 9 -

●稲波特別賞：

稲波紀明、横山恵美、民門友彰(滋賀県立守山高等学校)
「ExoKyoto へ行く太陽系外惑星」

11日には、北海道大学教授庵本圭先生(惑星科学)、宇宙航空研究開発機構フライトサーजन遠水聡先生(宇宙医学)、広島大学岡本慎平先生(倫理学)による講演が行われました。「生命居住可能惑星の成り立ちを探る火星衛星探査計画MMX」、「宇宙飛行士の健康を地上から見守るフライトサーजनと医学運用チームについて」、「守るべき自然環境に火星の大地は含まれるのか? 環境倫理学の(文字通りの)ジレンマ」といった宇宙開発・火星探査をめぐる最新のテーマと倫理問題に関する講演とディスカッションが行われ、活発な意見交換が行われました。また、3人の先生方と交えたパネルディスカッションでは、異なる観点から火星ミッションをめぐる今後の展望について意見交換が行われました。会場からは学生や一般参加者からの質問が多く寄せられ、大変有意義なシンポジウムとなりました。

本年はコロナの規制もなく、例年より多くの方にご来場いただきました。参加いただいた皆様には、本イベントに貴重なお時間を割いていただき心より感謝申し上げます。来年度も、皆様のご参加をお待ちしております。(辻廣智子記)



- 10 -

稲波紀明氏

特別講演報告

第17回宇宙ユニットシンポジウムの2日目午前中に、稲波紀明特別講演「民間による宇宙旅行と宇宙ビジネス〜ついに開始した宇宙旅行の裏側をお伝えします〜」が、2024年2月11日(日)11:00より、多数の参加者のもと開催されました。稲波氏は2005年にバース・ギラクティック(VG)社の宇宙旅行に申し込み、世界初の民間宇宙飛行士100人に選ばれました。昨年2023年には6月からVGにより毎月宇宙旅行が成功し、民間人が宇宙に行く時代が到来しています。セッションでは、政府公営の宇宙飛行士と、民間宇宙飛行士のコンセプトの違い、今後に展開する幅広い市場と解決すべき課題などについて広く議論されました。特に、南が北として宇宙にいかにとの意義では、宇宙という環境がもたらす、健康や教育ではない利便性のほうが、さまざまな過渡能力が備わっているかもしれない、地上でさまざまな問題を抱えた方々が宇宙で新たな人生の可能性に遭遇することがありと、宇宙開発に新たな価値を見出す発言の示唆がありました。

講演者の稲波氏は、INAMI Space Laboratory 代表取締役で、2005年日本IBM在籍中、ヴァージン・ギラクティック社の宇宙旅行に申し込み、20万ドルを支払い、日本人で初めて、また障がい者として世界で初めて宇宙旅行者100人に選ばれた。その後船井総合研究所にて宇宙ビジネスサロンを運営。2022年にはINAMI Space Laboratoryを設立し代表取締役就任。現在は、宇宙旅行の訓練を行いながら、宇宙進出を目指す人や企業をサポートしている。2024年に宇宙旅行を予定しています。

(山崎剛亮 記)

NASA/JPL・アリゾナ大学 LPL/Biosphere2 訪問記

2024年2月、センター長の山崎剛亮氏は、大野輝也(惑星建設イノベーション推進室・SIC 特任准教授)氏および大沢大(惑星建設イノベーション推進室長)氏とともに、NASA/JPL および、アリゾナ大学を訪問しました。

訪問初日は、日本勢としては唯一米DARPAの月面プロジェクトに選定されているGITAIの工場を見学しました。月面の建設現場で実際に構造物建設を行うことができる、あるいは月面探査において非常に複雑な作業を行うことができるロボットの開発を行っています。創業者らは東京大学関係者が中心となったロボティクス関係者ですが、自社で宇宙対応の部品やモーターを開発し、月面を想定したさまざまな実験を自社で行い、これからの月面開発をリードするさまざまな活動を行っています。



- 11 -

翌日は、NASA/JPLにて、人工重力施設とネットワークについての講演を、JPL 職員の小野雅裕氏のホストで行いました。講演にはオンラインで40名近くの職員が聴講し、いくつかの質問が交わされました。その後JPL訪問を行い、ボイジャーミッションから最新のパーシヴァランスミッション、さらに今後予定されているエンケラドスなどのミッションに関する最新の探査機やロボティクスについての見学を行いました。



翌日はアリゾナ大学において、月惑星研究所(LPL)の見学と、バイオスフィア2の見学、さらに最新のSAM(Space Analog for the Moon and Mars)での隔離実験やその準備状況、バイオスフィア2でのラング育成実験、新型鉛直式宇宙農場(写真)についての解説がありました。

(山崎剛亮 記)



- 12 -

第2回宇宙木材利用シンポジウム 2024年3月21日(木)

京都大学益川ホール

第2回宇宙木材利用シンポジウムは、世界で初めて宇宙での木材利用と樹木の育成に焦点を当てたシンポジウムです。皆さんの参加をお待ちしています。

10:00-10:05 開会の辞 上井雅彦(京都大学)

10:05-12:00 第1部 宇宙における木材の利用 司会：村田功二(京都大学)

A. 木造人工衛星の構築

※鳥嶋(京都大学)：超小型木造人工衛星 LignoSat の衛星全体システム

小泉壮平(京都大学)：超小型木造人工衛星 LignoSat の通信システム

加藤千晶(京都大学)：超小型木造人工衛星 LignoSat の電力システム

水野寛理(京都大学)：超小型木造人工衛星 LignoSat のシステム系開発の現状と展望

三浦清(京都大学)：超小型木造人工衛星 LignoSat の構造

B. 木材の宇宙機器試験 (ExBAS) 実験連携

村田功二(京都大学)：宇宙空間での木材の物性変化—宇宙機器試験(ExBAS)と地上試験

山崎陽亮(京都大学)：宇宙放射線と木造人工衛星—木材の特性を考慮して

中村栄三(岡山大学)：ExBAS 結果の予報と地球化学分析結果

12:00-13:30 昼食休憩

13:30-15:00 第2部 宇宙における樹木の育成 司会：津田龍文(京都府立大学)

A. 低圧下における樹木の育成

池田武文・遠藤早織里・満川朋和・三本貴青(京都大学)：火星における樹木の電界—水分生理の観点から

相木直乃・前田拓人(京都大学)：低圧下におけるポプリの成長特性

三本貴青・遠藤早織里(京都大学)：低圧下におけるポプリの成長特性

B. 微小重力下における樹木の育成

馬場啓一(京都大学)：疑似微小重力下における樹木の成長と形態形成

15:00-15:30 休憩

15:30-17:30 第3部 宇宙木材利用の展望 司会：齊台祥司(佐友林業)

A. 産地現場における木材利用

中略一朗(佐友林業)：森林木の価値を最大限に活かす研究—社会の脱炭素化への貢献

宮城久士(京都府立大学) 山田麻彦(森林技術)：バイオベース CFRP と貴木対応型フェニルリノール技術の開発

B. 宇宙木材産業の展望：パネルディスカッション 司会：村田功二(佐友林業)

山崎陽亮、中村栄三、中略一朗、宮城久士、高部 圭也

17:30-17:35 閉会の辞：根本孝明(佐友林業)

参加希望者は、次のメールアドレスに宇宙木材利用シンポジウム参加希望と書いてお送りください：

spacewood@mail2.adm.kyoto-u.ac.jp




LignoSat 紹介 STRUC 班

今回は LignoSat の構造を担当する STRUC 班の活動を紹介いたします。つい先日(2月7日)、LignoSat のフライトモデル (FM) の完全組立が完了しました。FM の製作開始から約 1 年、様々な問題を乗り越えてここまでようやくたどり着きました。残るは打ち上げまで走りきるのみです。これから 2、3 月かけて組み上げた衛星の試験を実施していきます。ぜひご覧ください。今回は衛星の組立についてお話しします。

FM は打ち上げ後の再組み立てはもちろん、再組み立てできないため、組立は確実かつ様々な規則に則り行われます。

まず、組立は必ず温度、湿度、清浄度が管理されたクリーンブース内で行われます。これはフライト品への汚染の侵入や静電気による故障などを防ぐためです。次に組立は手順書に則り、トルクやコネクタの接続などを 1 つずつチェックして確実に行います。特に打ち上げ前の最終組み立てではボルトに締め止めの接着剤を施すため、それ以降の再組み立ては原則認められません。安全審査などでも組立記録の提出が求められます。

そして、FM では各面に太陽光セルが貼られ付けられています。計 5 面ですので、1 面でも破損すれば電力供給量が大きく減少してしまうことになるため、傷つけないよう細心の注意を払って組立を行う必要があります。少しでも破損リスクを下げるため、組立には家人で作成した組立補助治具を使用します。この治具を使用することで太陽光セルが破損することなく組立を行うことが可能になるのです。

(木村拓人 記)

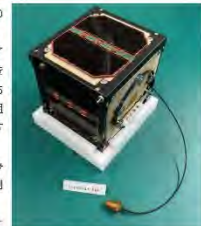


図 1 FM 完成図



図 2 組立補助治具

低圧下樹木育成プロジェクト紹介 宇宙ユニットシンポジウムポスター発表

2024年2月10日に行われた宇宙ユニットシンポジウムにて、低圧下での樹木の育成実験というタイトルでポスター発表を行いました。ポスター発表の会場では、小学生から一般人までの幅広い世代で、文筆史料を踏えた宇宙に関連する研究が多数発表されており、非常に活発な議論が行われていました。樹木育成学生チームからは、3名が発表に参加しました。

火星や月面など地球外地点で人類が居住する際に樹木を育成すること、持続的に木材や酸素などの資源が得られる可能性があります。しかし、植物生産域は人間居住域よりもコストの観点から低気圧にする必要があり、地上での模擬的な低圧下樹木育成装置を構築し、低圧下での樹木の成長特性を解明することを目的として、私たち学生チームは日々実験を重ねています。今回のシンポジウムでは、以上のような低圧下で樹木を育成する意義や、装置・試料の概要、これまで 18 回の育成実験から得られた低圧下での樹木の成長量や成長特性の結果について発表しました。たくさんの方から発表に御礼を頂いていただき、成長特性についての詳細や、植物の中でも樹木に焦点を当てた理由、検討課題に対して質問やコメントをしていただきました。「地上で育ちにくい樹木を低圧下で育てることで促成栽培が出来ないか」というような、これまで意識していなかった視点でのコメントや、他の植物で低圧下での栽培実験を行っている方との意見交換もでき、大変有意義な時間となりました。

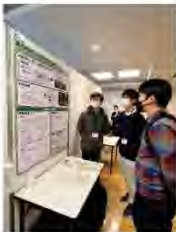


図 1 バスター・ボクセル中の様子
(はつ賀智子氏 提供)

3月に実施される第二回宇宙木材利用シンポジウムや、5月に開催される日本地球惑星科学連合大会 2024 での発表も予定しており、今後も育成実験ならびに結果の解析を進めていきます。
(三本勇貴、岸広彦、楠木香乃 記)

研究紹介 超小型木造人工衛星「LignoSat」のひずみ測定と地磁気測定 ミッションの現状と展望 豊西悟大 京都大学農学部森林科学科 3 年

1. 目的および背景

宇宙航空科学技術の発展により各国が積極的宇宙開発を行っている。さらに現在の人類による宇宙進出は、宇宙において人類が持続的に資源の自給自足を実現し、定住できる環境構築の実現が一つの目標として掲げられている。資源の自給自足や環境への負担を考慮した際に非常に重要な役割を果たすのが植物、ひいては樹木、木材である。また日本においても 2010 年に木材利用促進法が制定され、化石資源と比較して温室効果ガスの排出を低減しやすい木材の利用が推進され、カーボンニュートラル社会の実現に向けて活動が行われている。

京都大学大学院総合生命学専攻人文学研究センターは宇宙における樹木や木材の利用に着目して研究を行ってきた¹⁾²⁾³⁾。その活動の一つとして世界初の超小型木造人工衛星「LignoSat」の開発を行っている¹⁾³⁾。現在宇宙産業の多くの領域でアルミニウムなどの金属が用いられているが、これ

- 17 -

と材料と比較して木材は加工などの際に化石燃料をあまり使わないため二酸化炭素排出を抑えることができ、船材なども組み合わせた実用性使用することで与える環境への負荷が小さいといえる。また有機材料であるため衛星運用後大気圏突入時に燃え尽き、大気汚染の発生を抑えられるという点や⁴⁾、日本国内における林業活性化につながるということが大きなメリットとなる。

我々の研究チームはこの LignoSat 運用を通して宇宙空間において木材の温度とひずみの変化を継続的に測定し、宇宙環境が木材に与える影響を明らかにしようとしている²⁾。木材は異方性材料であるため湿度変化に伴って特徴的な寸法変化の挙動を示す。また宇宙空間では極端な湿度変化に加え、真空条件や放射線、原子状酸素などの影響が考えられるため、地球上での湿度変化とは異なるひずみ変化を起こす可能性がある。そうした宇宙空間での木材の変化を明らかにすることによって得られたデータは今後宇宙で木材を使用する際に非常に重要なものとなるだろう。

また LignoSat は 1U 規模の CubeSat であり、機体のほぼすべてが木材でおおわれている。その特徴を利用した試みとして地磁気の測定を行う。木材は金属とは異なり、地磁気への干渉が小さいため、非常に正確に測定を実施できる。我々は地磁気センサーを LignoSat に搭載し、継続的な測定を通してデータを入手する。そのデータから観測点を洗い出し、LignoSat 2 号機以降での本格的な地磁気測定を基盤とした姿勢制御につなげることを計画している。

本プロジェクトは LignoSat を運用することで得られるデータにより宇宙での木材利用方法を探ることができると同時に、宇宙開発における環境への影響を世界に向けて発信することで今後の宇宙開発に対する国際協力が可能になり、非常に大きな意義を持つと考えている。

本稿では LignoSat のミッション系に関連して、ひずみ測定と地磁気測定のこれまでの開発状況と今後の展望について報告する。

2. ミッション定義

前述の通り LignoSat は宇宙環境が木材の物性に与える影響を継続的に測定することを目的とした衛星であり、それにより得られるデータを用いて宇宙における木材の利用可能性を探索することを目指している。そのため我々の研究チームは LignoSat に木材物性に沿ったミッションに加え、運搬などに沿ったミッションなども設定しており、大きく分けて LignoSat のミッションは 4 つに分けられる。

① 2 軸 3 自由度ひずみゲージを用いた木造機体のひずみを継続的に測定するとともに湿度を測定することで宇宙におけるひずみと湿度の関係性を明らかにする。

② 地磁気センサーを用いて木造機体内部における地磁気を測定する。地磁気への干渉が小さい木材を主要構成材料とする LignoSat において正確に地磁気が測定されることを証明することで今後の LignoSat2 号機以降での磁気ドリルや姿勢制御機構の実装の基礎研究とする。

③ アマチュア無線の周波数帯である UHF 帯で地上局から LignoSat にパケットを送信し、LignoSat から地上局のコールサインを同一周波数帯でモース信号(CW 通信)により送信する。つまり単一周波数帯での地上局と LignoSat、アマチュア無線家の双方間通信を実現する。

④ Single Event Upset : SEU は衛星内基板に重イオン粒子や陽子などの高エネルギー粒子が当たり、ビット反転が起こるという現象であるが、このビット反転を 1 秒ごとに監視してそのデータを地上局に送信するミッションを行う。この結果より木材の宇宙放射線耐性に関する知見が得られると期待される。

- 18 -

各ミッションのサブセクティバリティは以下のようになる。

・ヒューマンウェア

国際宇宙ステーションから放出された LignoSat のバースビーキングデータを受信する。

・フルウェア

LignoSat から発信される CW 信号及び FM パケット通信信号の受信を 6 か月継続して行うことができ、木造機体のひずみ及び温度、地磁気データを得ることができる。またアマチュア無線家との単一周波数帯での相互通信に成功する。

・エクストラウェア

6 か月以上 LignoSat からの CW 信号及び FM パケット通信信号を継続的に受信できるとともにアマチュア無線家との単一周波数帯での相互通信を継続する。

ひずみ測定ミッション

LignoSat において 2 軸 3 自由度ひずみゲージを使用してひずみ測定を行うが、宇宙で安全に使用するために各種試験が必要である。そうした試験などに関して開発状況を説明する。

ひずみを測定するためには木造機体に接着剤で固定する必要があるとともにその接着剤の接着強度や安全性が必要になる。衛星運用中にひずみゲージが木造機体から外れた場合ひずみ測定が不可能になることが基板などに物理的衝撃を与え、衛星全体のシステム障害につながる可能性がある。そうした問題を事前に防止するために接着試験を行った。LignoSatFM (Flight Model) 完成が運用終了までに経緯する考えられる真空、極端な温度変化、強い振動を模した環境にひずみゲージ貼り付け試料を曝し、その接着力を使用した。使用する試料は図 1 のような木材片にひずみゲージを貼り付けたものであり、常温常圧ではひずみゲージは簡単に外れない。また使用している木材はポプラノキとヤマザクラである。

これらの試料を真空に近い条件である高真空条件を形成することでできる真空チャンバに入れ (図 2)、72 時間曝露した。高真空曝露後の試料でもひずみゲージの剥離は見られず、その耐久性は高いと判断した。またこの実験の追加検証として 2023 年 1 月より長期的に木材へのひずみゲージ貼り付け試料を真空を覆った条件に曝し、定期的に貼り付け状況とひずみゲージの機能の確認をおこなっているが、今のところ問題なくひずみゲージが使用できる状況になっている。



図 1 試験体の様子



図 2 高真空曝露の様子

- 19 -

また次に極端な湿度変化をチャンバ内で再現し、その環境内に試料を曝した。この実験ではひずみゲージの剥離を避けるだけでなく、ローを用いて定期的なひずみ値の測定を行った。湿度変化範囲は -40℃ ~ 60℃であり、測定されたひずみ値から熱膨張率は図 3 のようにひずみ値が変化した。これから求められる熱膨張係数の平均値はおよそ 19.5 ppm/K であった。

熱膨張係率に関してポプラノキの既知の文献値はないが、組織構造で類似していると考えられるポプラノキと同じセレン科に属する Yellow poplar の熱膨張率は 27.8 ppm/K とあるため、近い値だと推定した。そのため極端な湿度変化に曝されてもひずみゲージは一定の精度は保証されていると考えることができる。

さらにひずみゲージを貼り付けた木造機体を用いて九州工業大学の振動試験装置で振動を与え、ひずみゲージの剥離の有無を確認した。実際の LignoSat では木造パネル 2 面の内側にひずみゲージを貼り付ける。図 4 はそのうち X 面 (アンテナ取り付け面) に貼られたひずみゲージを示す。ひずみゲージは宇宙用接着剤を使って貼り付けられている。

振動試験では実際のワット打ち上げの際に想定される振動より大きい振動を与え、ひずみゲージの剥離の有無を確認した (図 5)。この試験でもひずみゲージが剥離することなく、これにより実際の衛星運用でもひずみゲージを安全に使用できると判断した。

こうしたひずみゲージの試験を通じて LignoSat 木材パネルへのひずみゲージの接着性を評価し、十分な接着特性が認められた。ミッションシステムを扱う基板を図 6 に示す。この基板にはブリッジ回路及びひずみゲージを增幅させる回路が設けられている。我々が独自に開発した基板であるため、引き続き入念に試験を行っていく。今後はひずみ測定精度を上げるためソフトウェアの側面にも力を入れて開発を行うべく予定である。

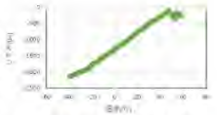


図 3 湿度変化とポプラノキのひずみの関係



図 4 LignoSat のひずみゲージ貼り付け面
アンテナ基板が取り付けられている。

- 20 -



図 6 ミッションボードの外観

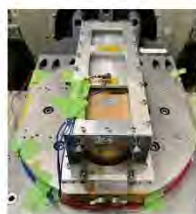


図 5 ひずみゲージ接着剤剥離の様子
九州工業大学超小型衛星試験センターに

地磁気測定ミッション

地磁気測定ミッションを実施するにあたってその精度を検証する必要がある。これまでに行った地磁気ミッションに関連する試験について報告する。

1 つ目の実験項目として地磁気センサ搭載基板単体の測定結果の線形性と連続性の検証を行った。LignoSat に搭載する地磁気センサにヘルムホルツコイルを用いて外部磁場をかけた場合正常な測定ができ、その測定値に線形性と連続性があるかを検証した。磁場の範囲は-600 mG~600 mG であり、1 秒あたり 1 mG 変化させた。これにより得られた結果は、X 軸（図 7）を例に挙げると図 8 のようになる。



図 7 LignoSat の検証装置



図 8 X 軸方向に磁場を変化させた時の測定値

Y 軸、Z 軸方向でも同様の線形性と連続性がみられており、地磁気が正確に測れていると結論付けられた。また追加試験として外部磁場を +200,+400,+600 mG にそれぞれ固定し、LignoSat 各面を回転させた場合の測定値は XY 平面を例にとると図 9 のようになる。

同心円状の結果がえられ、各軸の直交性が正確に保たれていることがわかる。

LignoSat と同じ地磁気センサが使われている九州工業大学が打ち上げた BIRDS-3 衛星では地磁気の測定値にノイズが発生する現象が報告されていたため⁶⁾、地磁気センサ搭載基板 (Rear Access Board : RAB) 単体に加えて LignoSat で使用する全基板を合わせて外部磁場を遮断することのできる磁気シールド内で磁気測定を行い、ノイズ評価を行った。それにより得られた結果は図 10-11 のようになる。

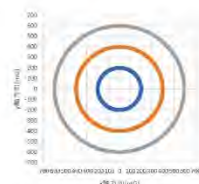


図 9 XY 平面上で回転させた時の磁気測定値



図 10 RAB 単体の磁場絶対値

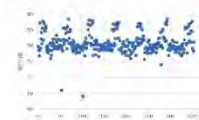


図 11 全基板を動かした時の磁場絶対値

この結果より磁場の絶対値におけるノイズは全基板を動かした時の方が RAB 単体と比較して大きい値となっている。しかしながらデータ結果に周期性が見られるため、このノイズ分をオフセットに組み込んで修正することが可能であると考えている。

今後 LignoSat 開発プロジェクトでは磁気トルカや姿勢制御機構など地磁気測定を伴いたるシステム開発を行っていくと今後も地磁気測定の精度を高めるべく工夫を行っていく。

おわりに

LignoSat プロジェクトでは木材の宇宙利用可能性を探究すべく世界初の木造人工衛星の開発を続けてきた。今後は人工衛星としての性能を向上させ、より宇宙での木材の挙動を明らかにできるように研究を深めていく所存である。カーボンニュートラルであり持続可能な宇宙進出に向けて木材の利用が必要不可欠になると我々は考えている。少しでも宇宙開発における木材の利用可能性を明らかにし、宇宙開発の発展に貢献していきたい。

謝辞

BIRDS バスプラットフォームについて指導して頂いた九州工業大学に感謝いたします。

参考文献

- 1) 三木健司, 村田功二, 清水幸夫, 稲谷芳文, 土井隆雄: 宇宙における木材資源の実用性に関する基礎的研究, 第 34 回宇宙構造・材料シンポジウム, 講演集録, SA6000137022.
- 2) 三木健司, 土井隆雄, 村田功二, 仲村匡司, 平田和也, 増田航斗, 伊藤祥, 苗来元吉, 清水幸夫, 稲谷芳文, 白井浩明: 宇宙における木材資源の実用性に関する基礎的研究, 第 37 回日本木材加工技術協会年次大会, 2018 年 9 月.
- 3) 平田和也, 村田功二, 仲村匡司, 三木健司, 土井隆雄: 宇宙空間での木材利用を想定した経路壁機構得造と含水率の関係, 第 70 回日本木材学会大会, C17-P1-02, 2021.
- 4) 苗来元吉, 三木健司, 仲村匡司, 村田功二, 白井浩明, 稲谷芳文, 清水幸夫, 土井隆雄: 木造キューバットの概念設計, 第 63 回宇宙科学技術連合講演会, JSASS-2019-4161, 2019.
- 5) 福工悠星, 他: 超小型木造人工衛星「LignoSat」の基礎設計, 第 66 回宇宙科学技術連合講演会, 1C15, 2022.
- 6) 苗来元吉, 三木健司, 土井隆雄: 金属製宇宙機の再突入が中層大気環境に与える影響の考察, 第 64 回宇宙科学技術連合講演会, 2J08, 2020.
- 7) 岡井涼輔, 他: 超小型木造人工衛星「LignoSat」のミッション系開発の現状と展望, 第 66 回宇宙科学技術連合講演会, 1C16, 2022.
- 8) Withanage D. Chamika, Mariko Teramoto, Sangkyun Kim, & Mengqu Chao, Calibration of Magnetic Field Sensor Data Using Flight Results, GLEX-21, 7,1,14,x62750, 2021.

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

〒606-8501 京都市左京区山田本町 京大イノベーション本部内 総合研究 16 号館 206 号室

関係人: 宇宙材料研究室 三木健司, 菅西哲人, 山本大貴

Tel & Fax: 075-753-5179 (Email: sasawaka@mail2.com.kyoto-u.ac.jp)

SIC 有人宇宙研究センター Newsletter No.27

2024 年 3 月 1 日発行

参考資料 9-1

学会資料：2023/06/06：岸広登他 Development of a Wooden CubeSat-LignoSat

34th ISTS

Development of a Wooden CubeSat-LignoSat

Hiroto Kishi*, Sakutaro Nogi, Yuki Kikukawa, Shunta Takahashi, Haru Mukumoto, Go Abo, Tomokazu Kiyota, Kazuki Kuwabara, Ryuki Hoshikawa, Takahiro Noma, Yusai Fukuo, Koki Ikeda, Haruki Torizane, Taischi Onishi, Ryoukai Tsuboi, Gouda Toyonashi, Shunya Ito, Haruto Yamamoto, Ichi Hosotsuji, Saei Endo, Takumi Nakamura, Hiroto Kimura, Masaji Ishihara, Masashi Nakamura, Koji Murata, Kenji Kariya, Morie Tsuchiya, Kenji Miki, & Takao Doi

LignoStella project 6/6/2023

Chapter

LignoStella project

1. Introduction
2. Mission Definition
3. LignoSat Systems
4. Mission Design
5. Thermal Vacuum Test
6. Current Development Status
7. Conclusions

Introduction

LignoStella project

- SDGs ♻️ Woods getting attention
(Ex) Green Strategy for Carbon Neutrality(Forestry Agency, 2020)
- We have been researched space development with wooden materials
- Woods are beneficial for space development:
Carbon neutral, resistance against space rays
+ we need only to carry seeds to other planets etc.
- We are making a wooden CubeSat "LignoSat"

Crythoneia japonica (Sugi)
Melaleuca ericoides (Serden)
Chamaecyparis obtusa (Hinoki)
Magnolia obovata (Shimada)

Introduction

LignoStella project

- LignoSat is designed to be almost entirely made of wood for its structure
- Preliminary study shows wooden structure will be able to work well
- Woods are combustible in atmosphere
→ environmentally friendly
- Investigate properties and potential of wood materials in space

Chapter

LignoStella project

1. Introduction
2. Mission Definition
3. LignoSat Systems
4. Mission Design
5. Thermal Vacuum Test
6. Current Development Status
7. Conclusions

Mission Definition

LignoStella project

Five Missions

- (1) Measurement of strain
- (2) Multi-point temperature measurement
- (3) Geomagnetic field measurement
- (4) Analysis of effects of cosmic radiation on internal systems
- (5) Amateur two-way radio communication

Mission Definition

LignoStella project

Success Criteria

Minimum Success	Full Success	Extra Success
-LignoSat is released from ISS -Receive CW(HK)	-Receive CW and FM packet for six months -Intercommunicate with amateur radio operators successfully	-Keep Satisfying Full Success for more than six months

Chapter

LignoStella project

1. Introduction
2. Mission Definition
3. LignoSat Systems
4. Mission Design
5. Thermal Vacuum Test
6. Current Development Status
7. Conclusions

参考資料 9-2

学会資料：2023/06/08：遠藤早織里他 The Utilization of Wood for a CubeSat Structure

ISTS 34th

The Utilization of Wood for a CubeSat Structure

2022/06/08 @Kurumie

Osaori ENDO, Ichi HOSOTSUJI, Hiroto KIMURA, Takumi NAKAMURA, Hiroto KISHI, Sakutaro NOGI, Yuki KIKUKAWA, Shunta TAKAHASHI, Haru MUKUMOTO, Go ADO, Tomokazu KIYOTA, Kazuki KUWABARA, Ryuki HOSHIKAWA, Takahiro NOMA, Yusai FUKUJO, Koki IKEDA, Haruki TORITANI, Taichi ONISHI, Ryohei TSUTSU, Godai TOYONISHI, Shunya ITO, Haruto YAMAMOTO, Masashi NAKAMURA, Koji MURATA, Masaji ISHIHARA, Kenji MIKI, (Kyoto University)

Kenji KARIYA, Morio TSUCHIYA, (Sumitomo Forestry, Co., Ltd.) and Takao DOI (Kyoto University)

LignoStella project

Table

LignoStella project

1. Structural Design of LignoSat
 - 1.1. Wooden Structure
 - 1.2. Metal Parts
2. Discussion on the use of Wood for CubeSat
 - 2.1. Adhesive Test
 - 2.2. Vibration Test
 - 2.3. Thermal Expansion (LignoSat's Mission)
3. Conclusion

2023/06/08 Saori ENDO / Kyoto Univ. 3

1. Structural Design

LignoStella project

1.1. Wooden Structure



2023/06/08 Saori ENDO / Kyoto Univ. 5

1. Structural Design

LignoStella project

1.2. Metal frames and other parts

- Aluminum "frame" parts to tightly fix the wooden structure and owe the role of "rail" to meet the requirement of JAXA's accommodation handbook
- Bear the external load freeing the inner wooden structure from its role as a load-bearing member
- Deployment switches and spring plunger



2023/06/08 Saori ENDO / Kyoto Univ. 7

LignoStella project

Has there ever been a "wooden box" in space?

Advantage of wood as a space material

- Plant-derived and carbon-neutral
- not emitting harmful substances when re-entering
- Electromagnetically transparent
- High specific strength and low thermal conductivity

2023/06/08 Saori ENDO / Kyoto Univ. 2

1. Structural Design

LignoStella project

1.1. Wooden Structure

- A Japanese traditional wood joining method "Tomegata-kakushi-ari-kumitsugi"
- Dimensional accuracy: ± 0.5 mm
- 4mm thick wooden board (enough volume to hold internal electronic boards of BIRDs (KIT))



2023/06/08 Saori ENDO / Kyoto Univ. 4

1. Structural Design

LignoStella project

1.1. Wooden Structure

- 3 years vacuum exposure test
→ Magnolia obovate (Hoonoki), and Prunus jamasakura (Yamazakura) are suitable
- Diffuse-porous woods and not significantly vary in physical properties between samples

2023/06/08 Saori ENDO / Kyoto Univ. 6

1. Structural Design

LignoStella project

1.2. Metal frames and other parts

LignoSat EM (Engineering Model)

- 0.988 kg
- 1U size



2023/06/08 Saori ENDO / Kyoto Univ. 8

参考資料 9-3

学会資料抜粋：2023/7/9：仲村匡司

たかが木材、されど木材 ～どうなる？ 木造人工衛星～

学生 火星に住もう！ Season 3
Jul. 09, 2023

たかが木材、されど木材
～どうなる？ 木造人工衛星～

仲村匡司
(京都大学大学院農学研究科)

たかが木材、されど木材 ～どうなる？ 木造人工衛星～

- 本日お話しすることから
 - 仲村の研究領域
 - 木造人工衛星のはじまり
 - 木材で人工衛星を作ることのメリット
 - 人工衛星の開発、打ち上げ費用をどうするか
 - LignoSatの開発スタート
 - 誰が木造構体を作るのか
 - フライト・モデルの完成を目指して

仲村の研究領域

人・住・木

居ること (短期) ↔ 住むこと (長期)

木材はハードにもソフトにも使える希少な材料！

盛生利産性能
色・光沢
木目模様
手触り
におい

ソフトウェア的 ↔ ハードウェア的

調湿性
保温性
断熱性
遮音性
耐震性

材料特性の何が人の心理と生理に影響するのか？

木

材料特性の何が居住空間の構築に使えるのか？

仲村の研究領域

前貼りと横貼りの木質壁面を鑑賞する人の脳活動の違い

大型ディスプレイ
近赤外分光センサ
被験者
実験風景

濃度 [μM]
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
-0.1
-0.2

灰色 横貼り 縦貼り

濃度 [μM]
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0.0
-0.1
-0.2

横貼り 縦貼り

右前頭前野 左前頭前野

仲村匡司 (2023) 木材と脳 - アジアバイオ, vol. 5, No. 12, 13-17

仲村の研究領域

SF映画の描く未来の空間はなぜ無機質なのか？

2038 A Space Odyssey
(課題) 2017年 卒業制作

この環境で人は生活できるのか？
極限環境で生きる人類には木材が必要ではないか？

仲村の研究領域

ロシアの長期閉鎖環境実験施設は木だらけ (MARS-500プロジェクト, SIRIUSプロジェクト)

仲村の研究領域

人類に木材は欠かせない？

■ The interior is finished in **natural wood**, but it is unlikely you will find such luxury on a real space station.
(内装は天然木で仕上げられているが、実際の宇宙ステーションでは無理だろう)

■ That is a shame, perhaps: **wood doesn't emit toxins**, it is ecologically safe for humans and also has a **beneficial effect on the emotional state of members of the experimental crew** (at least that is what psychologists believe, and I agree with them).
(木材は有害物質を排出しない。人にとって安全、実験参加者の心理状態に良い影響を与える)

2017年7月1日 東京大学 農学研究科 木造人工衛星プロジェクト
https://www.rob.or.jp/issue/2017/07/01/20170701_woodartificialsatellite/

木造人工衛星のはじまり

土井隆雄宇宙飛行士 (京大特定教授) からのメール (2017年2月21日)

仲村匡司先生 村田功二先生
はじめまして。
宇宙ユニットの土井隆雄です。
現在宇宙ユニットでは、宇宙での木材利用の可能性を探るために、木材の真下下の耐性実験を計画しています。

(中略)

仲村先生、村田先生は木材工学実務及び実験法を講義されておられることから、是非、真空中での木材の強度試験の可能性について、30分ほどご意見を伺えればと思います。
都合の良い時間があれば、こちらから伺いますので、知らせて頂けると幸いです。
土井隆雄

参考資料 9-4

学会資料抜粋：2023/10/18：豊西悟大他

超小型木造人工衛星「LinoSat」のひずみ測定と地磁気測定ミッションの現状と展望

2018 宇宙科学技術連合講演会2023

超小型木造人工衛星「LinoSat」のひずみ測定と地磁気測定ミッションの現状と展望

2023/10/18 @富山

京都大学 ○豊西悟大、菊川祐樹、阿戸豪、池田純輝、伊藤駿治、遠藤早穂里、大西大知、岸広登、木村拓人、清田朋和、桑原和輝、高橋駿太、簡井涼輔、島谷陽樹、中村拓海、野木翔太郎、野間隆寛、福王悠星、星川龍希、細辻一、桃本颯、山本陽大、山敷康亮、仲村匡司、村田功二、清水幸夫、石原正次、土井祥雄

住友林業 菊谷健司、土屋守雄

LignoStella project

目的および背景

LignoSatの開発

- 宇宙における木材利用法の探求
- 宇宙環境が木材に与える影響を評価
- 宇宙開発による環境負荷の対策

↓

世界初の試みであり、人類の宇宙開発において今後非常に重要な知見を得られる

宇宙開発において木材が使用可能かを検証する実証衛星である

ひずみ測定用電子基板

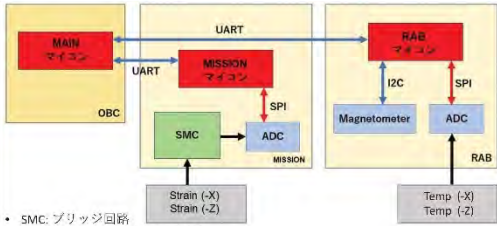
Mission Board



- 測定したひずみ値を処理する基板
- アナログ→デジタルに変換
- ひずみ測定頻度は90秒に1回
- 全体を統括するコンピュータである

On Board Computer (OBC)に接続

計測用ダイアグラム



- SMC: ブリッジ回路
- ADC: アナログ→デジタル変換器
- UART: 512KBシリアル通信
- SPI: 4つの信号線による同期式シリアル通信
- I2C: 2つの信号線による同期式シリアル通信

目次

LignoStella project



1. 目的および背景
2. ひずみ測定ミッションの概要とシステム試験
3. 地磁気測定ミッションの概要とシステム試験
4. まとめ

目的および背景

ミッション

木材の物性に注目したミッション

- 宇宙環境における木材の温度とひずみの関係の解明
- 木造構体内部における地磁気の継続的測定
- 単一周波数帯での地上局とLignoSat、アマチュア無線家の双方向通信の実現
- ビット反転(Single Event Upset: SEU)の回数の測定

温度・地磁気測定用電子基板

RAB: Rear Access Board

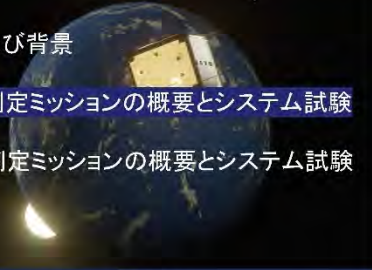


- 測定した地磁気、温度を処理する基板
- 温度のみアナログ→デジタルに変換
- 地磁気、温度測定頻度は90秒に1回
- 全体を統括するコンピュータである

On Board Computer (OBC)に接続

目次

LignoStella project



1. 目的および背景
2. ひずみ測定ミッションの概要とシステム試験
3. 地磁気測定ミッションの概要とシステム試験
4. まとめ

参考資料 9-5
学会資料抜粋：2023/10/19：野木朔太郎他
木造人工衛星の熱応答

第67回宇宙科学技術講演会 3J01

木造人工衛星の熱応答

2023/10/19
発表：京都大学 工学部2年 野木 朔太郎
KYOTO UNIVERSITY

京都大学

目次

- 背景
- 目的
- 熱真空試験
- 熱真空試験のシミュレーション
- 結論
- 総括

KYOTO UNIVERSITY

2

背景

LignoSatとは

- 外側パネルが木製の超小型衛星 (1Uサイズ、1124g)
- 九州工業大学のBIRDS衛星を元に、京都大学で開発、2024年打ち上げ予定
- ISSから放送 (約400kmの軌道)
- 無電機を廃止中

LignoSatのメインミッション

水辺環境の物量変化を随時的に測定
8か月(予定)に渡って衛星の運用を行う



宇宙機構造部材としての
木材の利用可能性を検証

KYOTO UNIVERSITY

3

背景



KYOTO UNIVERSITY

4

目的

熱解析のこれまで

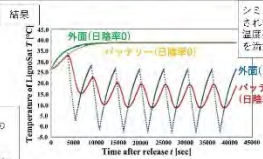
衛星を外面と内部(バッテリー)の2箇所に分割し、軌道上の熱入力(太陽放射)をシミュレーションした熱解析を行った(STM)

設定

- 衛星外面とバッテリーの2箇所に分割
- 日陰率0と0.33の2パターンをシミュレート

課題点

- 衛星内部には基板も含まれており、内部をバッテリーだけで代表させるのは現実的に即していない
- STM時点での熱解析であり、EMで変更された点を反映できていない



シミュレーションされた温度は、温度帯域(-20~60°C)を占めます

KYOTO UNIVERSITY

5

目的

目的

EM段階に当たり、LignoSatの設計が軌道までの運用に耐えるかを検証する

手段

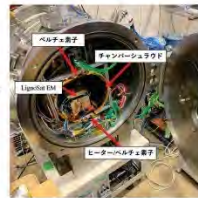
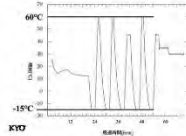
1. 熱真空試験を実施し、熱設計を評価する
2. 熱真空試験時のデータから熱数学モデルを検証する

KYOTO UNIVERSITY

6

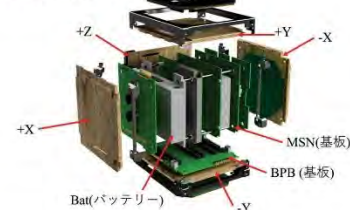
熱真空試験(試験装置)

- 九州工業大学超小型衛星試験センターの熱真空チャンバーで実施
- LignoSat: EMは太陽光パネル貼り付け前の状態
- 上下にペルチェ素子、下部にヒーター
- シュラウドは銅製で、内部は銅色塗装
- ISS放出機軸を想定した温度プロファイル



7

熱真空試験(測定点)



KYOTO UNIVERSITY

8

参考資料 9-6

学会資料抜粋：2023/11/02：村田功二

宇宙木材工学

宇宙木材工学

京都大学大学院農学研究科森林科学専攻
 林産加工学分野 教授 村田功二
 (～2023年9月 生物材料設計学分野 准教授)
 専門：木材工学 (木材物理、木材利用)

1994年 京都大学大学院農学研究科修士課程修了
 1994～1997年 大建工業株式会社
 1997年 京都大学大学院農学研究科 助手

宇宙木材工学

【地球とでの木材】
 なぜ木材を使うのか (再生可能資源)
 木材の強さの秘密 (リグニン、飛行機)

【宇宙での木材】
 宇宙における木材利用 (資源)
 温度環境 (低温と高温、熱膨張率)
 紫外線と原子状酸素 (表面劣化)
 宇宙放射線の影響 (木材の劣化)

【木造人工衛星】
 ISS日本実験棟きぼう両用船外暴露試験 (ExBAS)
 木造人工衛星 (LignoSat)

環境問題：日本の森林が荒廃している

弥生時代～明治期
 建築材料：木材、紙、土
 燃料：薪、炭
 肥料：堆肥 (草、葉)、ほしか (魚)
 たたら製鉄、塩田、陶芸なども

太平洋戦争中
 あらゆる生活資材 (建材、燃料)、兵器 (戦闘機)

戦後、高度経済成長期
 建築資材、製紙原料 (段ボール)
 道路、宅地開発、工場用地開発

過剰伐採 (やりすぎ) による森林の減少
 → 木の伐採は悪？

なぜ人間は木材を使うのか？

【森林は回復】・・・量的には回復

●拡大造林政策

戦争中の森林の荒廃と戦後の復興需要のため木材が不足した。
 広葉樹が中心の天然林を伐採した跡地を針葉樹の人工林にした。
 (スギ・ヒノキ・カラマツ)



●燃料革命 (エネルギー革命)・肥料革命 (緑の革命)

里山の雑木林は家庭用燃料 (薪・炭) や農業に必要な肥料・飼料の採取場所だった。

【エネルギー革命】

化石燃料や電気の利用

【緑の革命】

高収量品種の導入と化学肥料の大量投入で生産性が向上

【新たな森林の荒廃】・・・質的に荒廃

里山の荒廃 (持続的な利用・管理が消滅)

- コナラやクスギが大木化、カンやシイに植生が移行
- 林縁にイバラ類やクズなどのツル性植物が密生
- アカマツ林の衰退と竹林の拡大
- 奥山化の進行 (クマやサル出現)

人工林の荒廃 (林業の衰退)

- 森林資源活用から地下資源利用への変換
- 安価な外国産材の流入

自然林の荒廃 (生物多様性の消失)

- 獣害による下草や灌木の食害
- 大気汚染や登山者踏圧

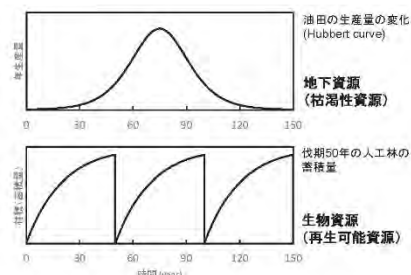
～森林資源の活用と適切な管理が必要～

太田延彦 (2008) 森林の衰退と現代の森林「荒廃」、水利科学

日本は高温多湿で樹木の成長には適した環境である



信簡寺の山頂は、季節ごとの木々の色づきを主とする観光地として、1500年前から山焼きをするなど、人の手を入れたがら守りつづけてきた自然・文化資源である。
https://sato.sogei-nr.jp/?page_id=3241



参考資料 9-7

学会資料抜粋：2024/02/19：村田功二
国産広葉樹の勝つようーあらたなる可能性ー

国産広葉樹の活用 ーあらたなる可能性ー

京都大学大学院農学研究科
森林科学専攻 林産加工学分野
教授 村田功二

CONTENTS

1. 広葉樹資源の動向
2. 国産材ギター
3. 国産材野球バット
2. 宇宙利用

(一社) 国産材振興しるあり財団編纂

2024/02/19

国産広葉樹の活用

- ① 安定した資源供給(資源量)
- ② サステナビリティ (持続可能性)
- ③ トレーサビリティ (追跡可能性)

(一社) 国産材振興しるあり財団編纂

2024/02/19

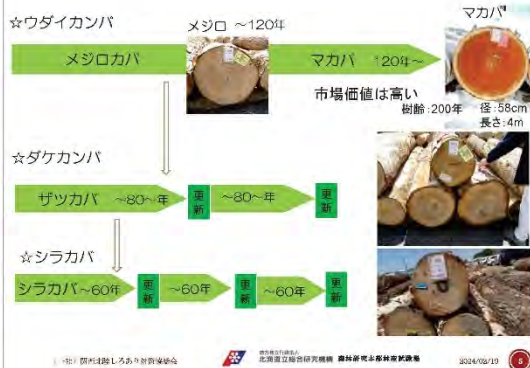
広葉樹材の輸入が減少



- これまで家具や内装材、楽器の材料は良質な輸入原料に依存していた。
- 広葉樹の輸入量は減少し、良質な広葉樹材の入手が難しくなっている。

(一社) 国産材振興しるあり財団編纂

2024/02/19



2024/02/19

シラカバ・ダケカンバ

Betula platyphylla SUKATCHEV var. *japonica* HARA
Betula ermanii CHAMISSE

シラカバ (シラカンバ) :
基本種は東アジア北部に広く分布し、日本では本州北部・中部と北海道に分布する。日本海側では少なく、宮城県・山形県ではほとんど見られない。
ダケカンバ :
大陸東北部、つまりアムール、カムチャツカ、朝鮮、満州から樺太、千島を経て北海道、本州北部・中部、四国に分布しているが、中国地方には見られない。
平澤信二 (木の文化社, 1996)



伐採跡地や山火事跡など擾乱があった場所に、いち早く侵入し成長する先駆樹種 (パイオニアプランツ) である。

(一社) 国産材振興しるあり財団編纂

2024/02/19

持続可能性な林業

【ダケカンバ二次林】掻き起こしによる更新

ブルドーザ等でのかき起こしで更新が可能である
植え付けの軽労化などで造林経費を抑えられる

北海道・渡島総合振興局
<http://www.okima.pref.hokkaido.lg.jp/sc/tsc/kakikoshi.htm>



渡島総合振興局HPより

【北海道には認証林が多い】全国の認証林の6割が北海道にある



例えば
三井物産は74の山林で森林認証を取得
FSC SQ8-FM-COC-00708 (三井物産)
SGEC COC-00708 (三井物産)
SGEP-031 (三井物産)
SGEP-W088 (三井物産フォレスト)

(一社) 国産材振興しるあり財団編纂

2024/02/19

シラカバ材の活用 北海道立総合研究機構 林産試験場

「かき起こし」という施業で森林の再生が比較的容易 (先駆樹種)

広葉樹施業の経験が少なく、輸入材と比較して優良材が少ない。また供給量が安定しないため、9割以上はパルプ用チップになる。

付加価値の高い家具用材としての活用に向けた技術開発を進めている。



(一社) 国産材振興しるあり財団編纂

2024/02/19

参考資料 9-8

学会資料抜粋：2024/03/13：村田功二他

拡張指数関数による低含水率状態の木材の曲げクリープの解析

2024/03/13
第74回日本木材学会
C13-04-1330

拡張指数関数による低含水率状態の木材の曲げクリープの解析

(京大院農) ○三本勇貴、村田功二、仲村匡司

【背景】宇宙環境での木材利用

宇宙技術・産業の進展



宇宙居住

宇宙での木材利用

・地球での社会基盤形成の模倣の期待
(山崎, 2020)

地球外森林の形成

・持続可能な資源になり得る (山崎ら, 2023)
・人間は木の光合成を利用した閉鎖生態系に
仕込まれる必要がある (山崎, 2004)

構造物としての利用

・木材の気味は燃える、湿る、腐るが、
宇宙空間には酸素や水分がない
・木材は酸素環境でのシグナル変化が
ほとんどない (二本村, 2010)

木造人工衛星の開発

・人工衛星：投入する前に、完全に燃え尽き、
大気中燃焼しない (佐野ら, 2019)
・腐敗菌や虫害菌を遮断し、腐敗の遅延が可能

宇宙居住（低含水率）における木材の長期使用（クリープ）

2

【背景】粘弾性測定とKWW関数

Kohlausch-Williams-Watts(KWW)関数

・コンデンサの放電へ導入(Kohlausch, 1854)

・誘電率利に導発式として応用(Williams and Watts, 1970)

・2つの変数で緩和挙動の説明が可能

・線形粘弾性理論への応用(Lindsey and Patterson, 1980)

$$\varphi(t) = \exp \left[- \left(\frac{t}{\tau} \right)^\beta \right]$$

・β：拡張指数パラメータ (0 ~ 1)

→遅延時間の分布、0に近いほど広がる

・τ：特性遅延時間

→KWW関数で求めた遅延時間

粘弾性測定へのKWW関数の導入例	木材	他材料
応力緩和	・ Nakao & Nakano, 2011 ・ Murata et al. 2023	・ Yee et al. 1988 [poly carbonate] ・ Duffrene et al. 1997 [soda-lime-silica glass] ・ Fancey, 2005 [polymeric materials] など
クリープ	・ Nakano, 2022	・ Fytas & Ngai, 1988 [polypropylene] ・ Gueguen et al. 2015 [chalcogenide glass] ・ Reis et al. 2020 [epoxy matrix filled by cork powder] など

木材へのKWW関数の導入例はあまりない

3

【目的】

低含水率状態の木材の
曲げクリープ挙動の解明

&

KWW関数の木材
クリープへの適用

低含水率状態での木材の曲げクリープを
KWW関数により評価・予測を行う

4

【理論】木材のクリープにおけるKWW関数の導入

ばね要素を加えた
一般化フォークトモデル

$$J(t) = J(0) + \int_0^t L(\tau) \left[1 - \exp \left(- \frac{t-\tau}{\tau} \right) \right] d\tau \quad \dots \text{一般化フォークトモデル}$$

ダッシュポット成分(E)

$$J(t) - J(0) = \int_0^t L(\tau) d\tau - \int_0^t L(\tau) \exp \left(- \frac{t-\tau}{\tau} \right) d\tau$$

$$J(t) - J(0) \approx J(\infty) - J(0) - [J(\infty) - J(0)] \exp \left[- \left(\frac{t}{\tau} \right)^\beta \right] \quad \dots \text{KWW関数の導入}$$

$$\ln [J(\infty) - J(0)] - \ln [J(\infty) - J(t)] = \beta \ln t - \beta \ln \tau \quad \dots \text{直線式の導出}$$

$$\frac{J(t) - J(0)}{J(\infty) - J(0)} \approx 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{\tau} \right)^\beta \right] = 6 \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{\tau} \right)^{0.6} \right] \right\} + (1 - 6) \left\{ 1 - \exp \left[- \left(\frac{t}{\tau} \right)^{0.5} \right] \right\}$$

* $\ln [J(\infty) - J(0)]$ と $\ln t$ を軸に取ると直線式が導出可能 *

5

【方法】調湿デシケータ/実験環境



デシケータ内の環境

・温度：25.5 ± 1.1 °C

・相対湿度：66.6 ± 0.5 % (NaCl) → 12%

29.6 ± 0.6 % (MgCl₂) → 6%

16.0 ± 1.3 % (市販乾燥剤CaCl₂) → 4%

*試験体はデシケータ内で3週間調湿

リニアゲージセンサー → アンプ → データロガー

たわみ量 → 電圧

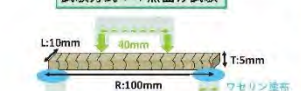
測定装置ごと温度をコントロール

6

【方法】曲げクリープ試験機

・荷重スパン 40 mm
・支点間距離 80 mm
・おもり 1000 g *破壊荷重の16%
[ISO178・JIS K7171] プラスチック変形試験機

試験方式：4点曲げ試験



試料：ホオノキ(Magnolia obovata)

・数枚材で材質が均一、狂いも少なく、
超小型木造人工衛星LignoSatにも使用

・3調湿条件×4.5試験体

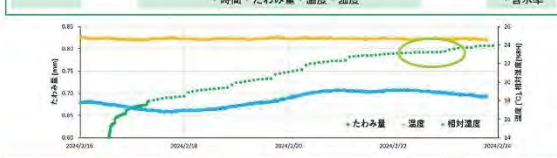
・全断面積 0.40 ± 0.03 g/cm²



外部からの操作により4点曲げで荷重

7

【方法】実験フロー



140時間程度でたわみ量の増加が減減

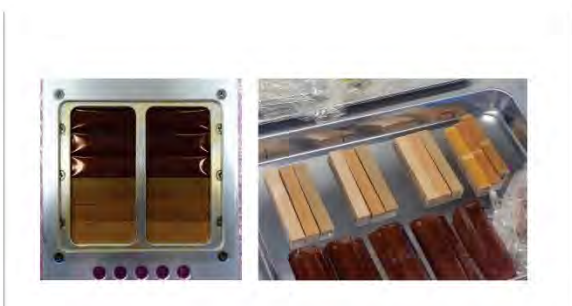
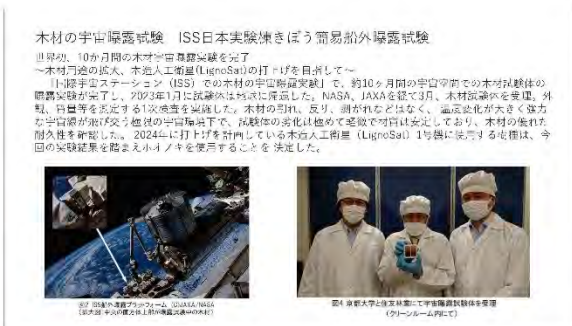
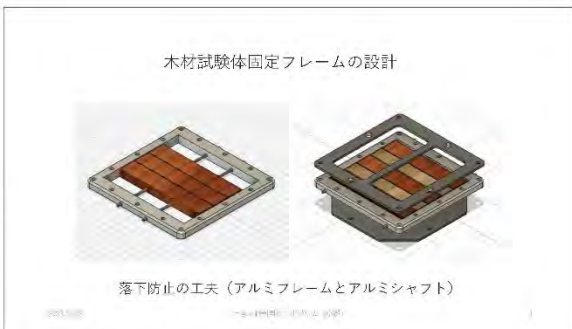
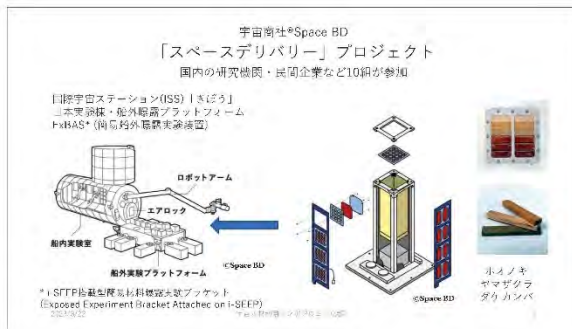
8

参考資料 9-9
学会資料抜粋：2024/03/13：村田功二
宇宙木材工学（宇宙で木材を利用するために）

宇宙木材工学
（宇宙で木材を利用するために）

京都大学大学院農学研究科
 森林科学専攻 林産加工学分野
 村田 功二

1. 木材の宇宙曝露試験
2. 木材の航空機
3. 木材の宇宙利用



第1版
第2版
第3版
第4版
2023年(令和5年)5月24日 水曜日

世界初、京都大の研究センターが計画



1号機の試作機を手にし、木造の人工衛星打ち上げへの意欲を語る土井教授
(京都市左京区・京大)

木造の人工衛星を宇宙に打ち上げる世界初の計画を京都大SIC有人宇宙学研究センターが進めている。新機軸衛星と異なり、運用を終えた後に「みが出ない」のが大きな特徴で、プロジェクトを担当する京大特定教授で宇宙飛行士の土井隆雄さんは「木材が持続的な宇宙開発に生かせることを証明したい」とする。2024年にも国際宇宙ステーション(ISS)から1号機を放つ。

木造の人工衛星 宇宙へ

大気圏で燃え尽きる仕組み 「ごみ減」持続的な開発探る

人工衛星は寿命が尽きると大気圏に再突入させて処分するが、一般的にアルミニウム製の衛星は燃え尽きず、1分(マイクログラフ)は100万分の1ほどの微少なちりとなって大気圏に拡散し、太陽光を反射しながら何十年も滞留するとみられる。民間企業も人工衛星事業に参入する時代を迎え、同センターによくと、衛星の処分量が膨大になれば太陽光を反射する影響が深刻な気候変化をもたらしかねないとの懸念が強まっているという。

そこで土井さんが着目したのは木造の人工衛星だ。大気圏再突入の高温で確実に燃え尽きる。木材は電磁波を通すため、地球との通信アンテナを内部に収容でき、製造コストも削減できる。耐久性さえクリアできれば、人工衛星の新たなモデルを提案できる。

計画は2020年に民間企業との共同事業としてスタートし、10万4千の超小型衛星を開発した。使用する木材は10種類以上を真空環境やISSでの宇宙曝露実験でテストし、版画の板などに使われるボオノキを採用することが決まった。加工性や強度に優れ、宇宙でほとんど劣化しなかったという。

1号機は24年2月にロケットに積んで打ち上げ予定で、地球の周回軌道に約1年ほど投入して宇宙線や紫外線の影響を検証する。土井さんは「今までの実験で木材のポテンシャルの高さが分かってきた。実際に宇宙で確かめたい」と語る。

同センターは26年に2号機の打ち上げを目指し、開発に必要な実験品購入と人件費の資金援助をクラウドファンディング(CF)で募っている。CFサイト「READYFOR」で、31日まで目標額650万円に設定し、返礼品として2号機への氏名掲載権などを用意している。(川辺晋太)

参考資料 10-2

京都新聞 2023年6月29日

日本人の忘れもの 未来を拓く京都の集い 知恵会議
有人宇宙開発で広がる活動領域

2023年(令和5年)6月29日 木曜日 企画特集 8

日本人の忘れもの 知恵会議

②

「日本人の忘れもの」をテーマに、未来を拓く京都の集い「知恵会議」を開催。宇宙開発の分野で活躍する専門家と、京都の企業・団体の代表者が一堂に会し、未来の展望と課題について議論した。

宇宙が拓く近未来

土井 隆雄さん（宇宙飛行士）は、宇宙開発の重要性について語った。宇宙は、人類の未来を拓くための重要な領域であり、宇宙開発を通じて、人類の生活の質を向上させることができる。また、宇宙開発は、地球環境の保護にも貢献する。宇宙は、人類の未来を拓くための重要な領域であり、宇宙開発を通じて、人類の生活の質を向上させることができる。また、宇宙開発は、地球環境の保護にも貢献する。

ダイアログを通じて相互理解を サコさん 有人宇宙開発で広がる活動領域 土井さん

ウズビ・サコさん
教員 空間人権学者

サコさんは、宇宙開発の分野で活躍する専門家と、京都の企業・団体の代表者が一堂に会し、未来の展望と課題について議論した。宇宙は、人類の未来を拓くための重要な領域であり、宇宙開発を通じて、人類の生活の質を向上させることができる。また、宇宙開発は、地球環境の保護にも貢献する。宇宙は、人類の未来を拓くための重要な領域であり、宇宙開発を通じて、人類の生活の質を向上させることができる。また、宇宙開発は、地球環境の保護にも貢献する。

土井 隆雄さん
宇宙飛行士

土井さんは、宇宙開発の重要性について語った。宇宙は、人類の未来を拓くための重要な領域であり、宇宙開発を通じて、人類の生活の質を向上させることができる。また、宇宙開発は、地球環境の保護にも貢献する。宇宙は、人類の未来を拓くための重要な領域であり、宇宙開発を通じて、人類の生活の質を向上させることができる。また、宇宙開発は、地球環境の保護にも貢献する。

「日本人の忘れもの」をテーマに、未来を拓く京都の集い「知恵会議」を開催。宇宙開発の分野で活躍する専門家と、京都の企業・団体の代表者が一堂に会し、未来の展望と課題について議論した。

宇宙は、人類の未来を拓くための重要な領域であり、宇宙開発を通じて、人類の生活の質を向上させることができる。また、宇宙開発は、地球環境の保護にも貢献する。宇宙は、人類の未来を拓くための重要な領域であり、宇宙開発を通じて、人類の生活の質を向上させることができる。また、宇宙開発は、地球環境の保護にも貢献する。

私たちは「日本人の忘れもの 知恵会議2023」に参画しています。

アーキテクチャーリンクライフ株式会社	京都きづ川病院	株式会社 三笑堂	タキイ株式会社	富士フイルムビジネス
アサヒビル株式会社 京田統括支社	学校法人 瓜生山学園 京都芸術大学	サントリ株式会社 京都支社	武田薬品グループ	イノベーションジャパン株式会社 京都支社
石清水八幡宮	学校法人 京都産業大学	ジーク株式会社	株式会社 たけし	佛教大学
上原商事株式会社	京都信用金庫	株式会社 昌律製作所	株式会社 土井志波本舗	株式会社 増田医科器械
裏千家 今川庵	京都精華大学	株式会社 松栄堂	東京海上日動火災保険株式会社	三井不動産株式会社 京都支店
SGホールディングス株式会社	京都生活協同組合	浄土宗	TOWA株式会社	株式会社 ミネルヴァ書房
大川書店グループ	京都中央信用金庫	高宗大菩薩 (東本願寺)	西日本電信電話株式会社 京都支店	山崎 美濃吉本店 竹茂庵
オーシャン貿易株式会社	株式会社 京都東急ホテル	株式会社 SCREENホールディングス	ニチコン株式会社	村田機械株式会社
柿本商事株式会社	京都薬品工業株式会社	成基コミュニティグループ	NISSHA株式会社	株式会社 村田製作所
京都法人 聖母学院	清水寺	学校法人 聖母学院	日新電機株式会社	彌栄自動車株式会社
全国流通本部 北野天満宮	キリンビール株式会社 京滋支社	第一生命保険株式会社	日本たばこ産業株式会社	清和会ヘルスケアシステム
株式会社 京通	株式会社 きんでん 京都支店	株式会社 龍閣寺	株式会社 仁和寺	宇賀田 立命館
学校法人 京都外国語大学	株式会社 公益社	大和ハウス工業株式会社 京都支店	野村證券株式会社 京都支店	株式会社 ロマンライフ
京都郵船株式会社	佐川印刷株式会社		株式会社 日立製作所 京都支店	ワタキューホールディングス株式会社
			株式会社 祖芽園	
			福田金属粉工業株式会社	

参考資料 10-3
読売新聞 2023 年 6 月 11 日
世界初の木造人工衛星、燃え尽きる際に金属粒子の少ないメリット
…伝統工法で くぎ・接着剤不要

世界初の木造人工衛星、燃え尽きる際に金属粒子少な... <https://www.yomiuri.co.jp/science/20230611-OYT1T50122/>

世界初の木造人工衛星、燃え尽きる際に金属粒子少ないメリット...伝統工法で
くぎ・接着剤不要

京都大などは、日本の伝統工法を生かした世界初の木造小型人工衛星を来年3月、米国から打ち上げる。普段は国宝の修復などを行っている開発チームの大津市の工房が、今月末の期限に間に合わせるため、誤差0・01ミリ・メートルの精度で10センチ・メートル角の立方体の組み立てに挑んでいる。〔科学探検部 石川千亜〕



京都大などが開発を進める木造人工衛星のイメージ画像（京大、住友林業提供）

京大など

「宇宙線や真空状態に耐えられるよう、最良の状態に仕上げないと」、開発チームの木工房「黒田工房」（大津市）の白井明代表（51）が、ホノノキの板材（縦45センチ、横10センチ、厚さ17ミリ）に電動カンナを慎重に当てていく。木の反りや水分量を測りながら、半月かけて5・5ミリまで削っていく。

世界初の木造人工衛星、燃え尽きる際に金属粒子少な... <https://www.yomiuri.co.jp/science/20230611-OYT1T50122/>



伝統工法を駆使して木造人工衛星を製作する白井さん（黒田工房提供）

黒田工房は日頃、国宝など文化財の修復や木工作品の製作をしている。開発チームに加わったのは2019年、知人の京都大教授の紹介がきっかけだった。

柱ものは世界的な木造人工衛星。近年、過熱問題の広がりなどの目的で、多数の小型衛星が打ち上げられている。それらの本体に木を使うことで、役目を終えて大気圏で燃え尽きる際に発生する金属粒子を減らし、環境への影響を抑えようという狙いだ。

ホノノキは軽くて加工しやすく、材質が緻密で均一なため狂いが生じにくい特性があり、日本刀の鞘や版木などに使われる。京大と住友林業などが国際宇宙ステーション（ISS）の船外で約300日、板を宇宙線にさらす実験を行ったところ、ほとんど変化しなかった。

しかし実際に人工衛星になると、真空中で木に含まれる水分が完全に抜ける上、地球を90分で1周する間に、太陽光が当たる時は最大でセ氏120度、当たらない時はマイナス150度という過酷な温度差にさらされる。このため板が縮み、接着剤などを扱うと破損する恐れがある。

1 / 2

2024/05/06 18:09

2 / 2

2024/05/06 18:09

世界初の木造人工衛星、燃え尽きる際に金属粒子少な... <https://www.yomiuri.co.jp/science/20230611-OYT1T50122/>

世界初の木造人工衛星、燃え尽きる際に金属粒子少ないメリット...伝統工法で
くぎ・接着剤不要

くぎや接着剤を使わず固定するために彫り込まれた「留形隠し継ぎ」の凹凸（黒田工房提供）



くぎや接着剤を使わず固定するために彫り込まれた「留形隠し継ぎ」の凹凸（黒田工房提供）

ロケットの機体重量の制限や軌道投入時の条件などから板の厚みが決まった。米航空宇宙局（NASA）は寸法の狂いを0・01ミリまでに抑えるよう求めており、ホノノキの採用が決まったのが5月。打ち上げに間に合わせるには、今月内に木工の作業を終える必要がある。

白井さんは「0・01ミリの精度という難も挑戦したことがない職人に苦心している。木材が湿度により収縮しないよう空調管理にも気を使った」と話す。

10月にはNASAと宇宙航空研究開発機構（JAXA）が最終安全審査を実施。軌道なら来年3月、米国のロケットでISSへ運ばれる予定だ。チームを率いる京大特定教授で宇宙飛行士の土井隆雄さん（68）は「雨もなく、虫や細菌が繁殖しない宇宙では木材が腐る心配がなく、将来の宇宙開発の資材としても期待できる」。白井さんは「日本の伝統技術で、最新の木造人工衛星を成功させたい」と意気込みを語る。

1 / 1

2024/05/06 18:10

参考資料 10-4

NHK おはよう日本 2023 年 8 月 1 日

世界初！ 木造人工衛星に挑戦

世界初！ “木造”人工衛星に挑戦

<https://www3.nhk.or.jp/news/contents/ohabiz/articles/...>



人工衛星の打ち上げ競争が活発になっています。世界で初めて、「木造」の人工衛星を作って打ち上げるプロジェクトに、日本の大学と企業が共同で取り組んでいます。

10センチ四方の箱 「木材の可能性」 詰め宇宙へ



木造人工衛星の開発を行っている京都大学の学生たち。10センチ四方の木の箱に電子機器などを詰め込み、人工衛星として打ち上げようとしています。

1 / 6

2023/12/20 13:27

世界初！ “木造”人工衛星に挑戦

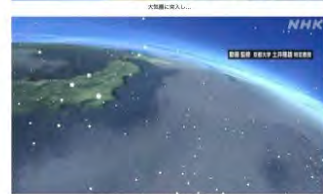
<https://www3.nhk.or.jp/news/contents/ohabiz/articles/...>



宇宙木材プロジェクト 京都大学大学院工学研究科 伊村匡司 教授
「木材というのが一見、時代遅れの材料のように見えるかもしれないが、こんなところにも使える。あんなところにも使えるよと、そういう木材の可能性を言いたい」

環境に配慮した衛星に

人工衛星を木造にすることで環境に配慮した衛星にしたいと、京都大学は考えています。
従来の人工衛星はアルミや鉄で出来ていて、大気圏に突入する時に、ある程度燃やして廃棄し、廃棄物などを引き起こす可能性があるといえます。



それに対して木材を使うと大気圏突入の際に燃え尽きるため、その分、粒子の放出は減るといいます。

2 / 6

2023/12/20 13:27

世界初！ “木造”人工衛星に挑戦

<https://www3.nhk.or.jp/news/contents/ohabiz/articles/...>

分かってきた木材の宇宙での耐久性

このプロジェクトには、木造衛星を手がける大手住宅メーカー「住友林業」も参加しています。メーカーは宇宙での成果をビジネスに活用することも目指しています。
宇宙は地上よりも乾燥などが高く厳しい環境です。しかし宇宙空間で実験を行い、木材を宇宙の環境にさらしてあれこれ、思ったほど変化が見られなことが分かってきました。



大手住宅メーカー 住友林業 伊藤 浩司 チームマネージャー
「宇宙での木材の利用が広がり、地球の林業や木材産業の持続的な発展、活性化につながると思う」

課題克服へ 職人が協力

ただ、木造の人工衛星には課題もあります。宇宙空間は温度変化が激しく木材が膨らむため、くぼみなどが発生すると、衛星が破損するおそれがあります。
そこで職人を呼び込めるのが、くぼみなどを補修する「修繕（きしもの）」の技術を持つ職人で、「無田工務」代表の日井浩樹さんです。

3 / 6

2023/12/20 13:27

世界初！ “木造”人工衛星に挑戦

<https://www3.nhk.or.jp/news/contents/ohabiz/articles/...>



修繕の技術を持つ職人 日井浩樹さん
「（木で）人工衛星と聞いた時は本当にびっくりした。単純に『おもしろそう』」

木材を組み合わせて衛星を作るため、削り具合などには機嫌なほど加減が求められます。「0.1ミリにもいかないくらい」の小さな差ではあるんですけど、と微妙な調整を求める学生たちに対し、日井さんは「フレームと本体をいったん取って、調整して、また取ってくる」などと応じていました。



宇宙木材プロジェクトの学生リーダー 京都大学工学部4年 堀川祐樹さん
「当たり前のように木が宇宙で使われて、そんな未来があってもいいのかなと、絶対に打ち上げる。それ一つ」

2024年上半期の打ち上げを目指す

4 / 6

2023/12/20 13:27

朝日新聞 2023年9月4日
凄腕しごとにん 木の効能を調べた実験
人も犬も心地よく宇宙でも活躍

20年間で約80回

参考資料 10-6

日経新聞 2024 年 2 月 24 日

火星に森を造る 土井宇宙飛行士の挑戦

日本経済新聞 印刷画面

https://www.nikkei.com/news/print-article/7R_FLG-0&sf=...

日本経済新聞 印刷画面

https://www.nikkei.com/news/print-article/7R_FLG-0&sf=...

日本経済新聞

記事利用について

火星に森を造る 土井宇宙飛行士の挑戦

科学記者の目 編集委員 小玉祥司

2024/2/21 2:00 日本経済新聞 電子版

火星で樹木を育てて森を造ろう——。宇宙飛行士で京都大学特定教授の土井隆雄さんたちが、そんな目標を掲げて実験に取り組んでいる。地球に比べて大気が薄い火星で樹木を育て、建物や人工衛星などの材料として利用しようというものだ。火星や月のような地球の外の天体で、資源を育てる試みとして注目される。

京都大学北部構内の実験室には高さ50センチメートルほどの透明なチューブが設置され、内部でポプラの木が育てられていた。チューブ内の気圧は地球よりも低く抑えられ、通常の大気圧で育てているポプラの木と比較している。内部の圧力を下げてどこまで正常に育つかを調べる実験で「火星と同じ100分の1気圧で育てるのが目標」と土井さんは説明する。



1 / 4

2024/02/21 7:20

2 / 4

2024/02/21 7:20

日本経済新聞 印刷画面

https://www.nikkei.com/news/print-article/7R_FLG-0&sf=...

日本経済新聞 印刷画面

https://www.nikkei.com/news/print-article/7R_FLG-0&sf=...

遺伝子が発現するかなどを調べている。現在は押し木で同じ遺伝子形質の木を育てやすいポプラで実験しているが「より能力の高い木があれば選抜していけばいい」（池田さん）。

火星などで樹木を育てられれば、将来、建設する基地などの構造物の材料に利用できる期待がある。月や火星に地球から建築資材などを運ぶには膨大な費用がかかり、現在、月まで1キログラムの荷物を運ぶのに1億円かかるとされる。火星となるとさらに費用がかさみ、現地で調達できる材料を利用できれば宇宙開発のコストは大幅に下げられる。



2024年春に木造人工衛星の打ち上げを予定している

育てた樹木を使って火星で人工衛星を作ることができる期待もある。土井さんは今春、世界初の木造人工衛星を宇宙に送る計画だ。キューブサットと呼ばれる縦横高さが10センチメートルの超小型衛星の外殻をホノキで作り、宇宙でも実用に耐えることを実証する。地球と同様に火星でも多数の超小型衛星をネットワーク化して資源探査や通信などに利用するようになれば、現地で材料を調達できる効果は大きい。

今後はさらに低い気圧での実験をめざすが、樹木を育てる装置がより低い気圧でも使えるようにしなければならない。低い気圧の条件下で二酸化炭素濃度や気温などを測定する計測器の開発も必要だ。

3 / 4

2024/02/21 7:20

気圧を下げた装置の中でポプラの苗を育てる

火星は地球に比べると直径がおおよそ半分で重力が3分の1程度と小さいが、薄いながらも大気を持つ。大気の成分の95％は植物の光合成に欠かせない二酸化炭素（CO2）で占められるのも特徴だ。

現在の実験装置では0.1気圧までしか気圧を下げられないが、これまでの実験では0.3気圧くらいまでは育ち方に目立った差はでなかった。0.2気圧くらいから葉の形が変わり「気圧が低いと水が蒸発しやすくなり、葉が小さく厚くなる」（土井さん）。まだ十分なデータはそろっていないが、育ち方も遅くなる印象があるという。葉の変化を考えると「火星には針葉樹で水が少なくても育つ松が向いているのではないかと共同研究する池田武文 京都府立大学大学院特任教授は話す。



気圧の低い環境で樹木を育てる実験装置と土井さん（左）、池田さん。

月や火星で食料となる野菜を低気圧の条件下で育てる研究は多くされているが、樹木を育てる研究は珍しい。1年で収穫する野菜と違って何年もかけて成長する樹木の研究は未開拓だ。

地球上で樹木が育つ限界は高度2000～3000メートル程度。高度2000メートルだと約0.8気圧でそれほど気圧は低くないが、気温が低いので育ちにくくなる。「火星でも赤道付近の昼は摂氏20度程度になる。ドームで覆えば気圧は低くても十分育つのではないかと」土井さんは期待する。

火星と全く同じ気圧でなくても気圧が低ければ外部との圧力差が小さくなるので、ドームの強度を抑えて建設コストを下げられる。重力が地球より小さい火星や月では樹木がより高い所まで水を吸い上げられるので、地球より高く育つ期待もあるという。

進行中の実験では気圧を変えながらポプラの生育状況を観るほか、気圧の低い中でどの



火星に森林が広がる時代が来る可能性も（火星基地の想像図、NASA提供）

2030年代には宇宙飛行士による火星探査をめざす計画もあり、米起業家のイーロン・マスク氏のように火星への移住をめざす構想もある。「火星や月に木造住宅を造りたい」と土井さんは話す。研究が進めば将来、人類が住むようになった火星に森林が育ち、資源として役に立つ時代が来るかもしれない。

本サービスに関する知的財産権その他一切の権利は、日本経済新聞社またはその情報提供者に帰属します。また、本サービスに掲載の記事・写真等の無断複製・転載を禁じます。

Nikkei Inc. No reproduction without permission.

4 / 4

2024/02/21 7:20

参考資料 11
学会等発表実績

学会等発表実績

委託業務題目「有人宇宙活動のための総合科学研究教育プログラムの開発と実践」
機関名 国立大学法人京都大学

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果(発表題目、口頭・ポスター発表の別)		発表者氏名	発表した場所 (学会名等)	発表した時期	国内・外の別
Development of a Wooden CubeSat-LignoSat	口頭発表	岸広登、野木朝太郎、菊川裕樹、高橋駿太、橋本暉、阿戸豪、清田朋和、桑原和輝、星川龍希、野間隆寛、福王悠星、池田航輝、島谷陽樹、大西大知、筒井涼輔、豊西悟大、伊藤駿治、山本陽大、細辻一、遠藤早緒里、中村拓海、木村拓人、石原正次、仲村匡司、村田功二、苅谷健司、土屋守雄、三木健司、土井隆雄	34th International Symposium on Space Technology and Science	2023年6月6日	国内
The Utilization of Wood for a CubeSat Structure	口頭発表	遠藤早緒里、細辻一、木村拓人、中村拓海、岸広登、野木朝太郎、菊川裕樹、高橋駿太、橋本暉、阿戸豪、清田朋和、桑原和輝、星川龍希、野間隆寛、福王悠星、池田航輝、島谷陽樹、大西大知、筒井涼輔、豊西悟大、伊藤駿治、山本陽大、仲村匡司、村田功二、石原正次、三木健司、苅谷健司、土屋守雄、土井隆雄	34th International Symposium on Space Technology and Science	2023年6月8日	国内
超小型木造人工衛星「LignoSat」のミッションのひずみ測定と地磁気測定ミッションの現状と展望	口頭発表	豊西悟大、菊川裕樹、阿戸豪、池田航輝、伊藤駿治、遠藤早緒里、大西大知、岸広登、木村拓人、清田朋和、桑原和輝、高橋駿太、筒井涼輔、島谷陽樹、中村拓海、野木朝太郎、野間隆寛、福王悠星、星川龍希、細辻一、橋本暉、山本陽大、山数麻亮、仲村匡司、村田功二、清水幸夫、石原正次、土井隆雄、苅谷健司、土屋守雄	第67回宇宙科学技術連合講演会	2023年10月18日	国内
超小型木造人工衛星の熱応答	口頭発表	野木朝太郎、菊川裕樹、阿戸豪、池田航輝、伊藤駿治、遠藤早緒里、大西大知、岸広登、木村拓人、清田朋和、桑原和輝、高橋駿太、筒井涼輔、豊西悟大、島谷陽樹、中村拓海、野間隆寛、福王悠星、星川龍希、細辻一、橋本暉、山本陽大、山数麻亮、仲村匡司、村田功二、清水幸夫、石原正次、土井隆雄、苅谷健司、土屋守雄	第67回宇宙科学技術連合講演会	2023年10月19日	国内
拡張指数関数による低含水率状態の木材の曲げクリープの解析	口頭発表	三木勇貴、村田功二、仲村匡司	第74回日本木材学会大会	2024年3月13日	国内
宇宙木材工学（宇宙で木材を利用するために）	口頭発表	村田功二	第38回木質の利用シンポジウム	2024年3月19日	国内

2. 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載した論文(発表題目)		発表者氏名	発表した場所 (学会誌・雑誌等名)	発表した時期	国内・外の別
超小型木造人工衛星「LignoSat」のミッションのひずみ測定と地磁気測定ミッションの現状と展望	口頭発表	豊西悟大、菊川裕樹、阿戸豪、池田祐輝、伊藤駿治、遠藤早緒里、大西大知、岸広登、木村拓人、清田朋和、桑原和輝、高橋諒太、海井涼輔、豊谷陽樹、中村拓海、野木朔太郎、野間隆寛、福王悠星、星川龍希、細辻一、橋本暖、山本陽大、山敷庸亮、仲村匡司、村田功二、清水幸夫、石原正次、土井隆雄、荻谷健司、土屋守雄	第67回宇宙科学技術連合講演会	2023年10月18日	国内
超小型木造人工衛星の熱応答	口頭発表	野木朔太郎、菊川裕樹、阿戸豪、池田祐輝、伊藤駿治、遠藤早緒里、大西大知、岸広登、木村拓人、清田朋和、桑原和輝、高橋諒太、海井涼輔、豊西悟大、豊谷陽樹、中村拓海、野間隆寛、福王悠星、星川龍希、細辻一、橋本暖、山本陽大、山敷庸亮、仲村匡司、村田功二、清水幸夫、石原正次、土井隆雄、荻谷健司、土屋守雄	第67回宇宙科学技術連合講演会	2023年10月19日	国内

(注1) 発表者氏名は、運名による発表の場合には、筆頭者を先頭にして全員を記載すること。

(注2) 本様式はexcel形式にて作成し、甲が求める場合は別途電子データを納入すること。