# 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。【閉鎖環境実習】・【宇宙森林実習】・【天体観測実習】・【模擬微小重力実験】・【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習得することを目的としています。

有人宇宙学実習は 2017~2019 年度は京都大学花山天文台にて、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 回生が主体で、学部 2 回生から 4 回生までの計 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 週間共同生活をして過ごすことで、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は、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。

							**
	8/19	8/20	8/21	8/22	8/23	8/24	8/25
8:30	(±)	(B)	(月)	(火)	(水)	(木)	(金)
8 : 30		8:45 集合@京都駅	心理検査	心理検査	心理検査	心理検査	心理検査
9:00	集合・自己紹介	園部駅へ移動 (JR・バス) 8:58-9:43京都-園部	9:00-9:45 長治谷へ移動(バス)		調養6 (宇宙科学/佐々木)		実習成果のまとめ
10 : 00	講義1 (有人宇宙学家習/土井)	(JR嵯峨野線) 10:00-11:30 國部-芦生 (バス)	長治谷での実習 等水域全体の植生保護柵へ	模擬微小重力実験1 (種植付け)	小林・益川記念室	模擬微小重力実験4 (観察)	クルーノートブックの完成 小林・益川記念室
11 : 00	小林・益川紀念室	昼食	長治谷へ (徒歩)		模擬微小重力実験2 (観察)		777 20710002
12 : 00	昼食	講義(芦生研究林長 石原先生)	パスで移動 大カツラの木見学	居食	昼食	居食	惡食
13 : 00	講養2 (閉鎖環境実習/篠原) 小林・益川記念室	析上谷登り□へ (バス) 徒歩で移動	昼食	講養4 (宇宙科学/山敷) 小林・益川記念室	模與機小重力実験3 (観察)	天体裁测実習 (軌道解析)	デブリーフィング 小林・益川記念室
14 : 00		析上生態系プロ調査体験	京都駅へ移動 (パス・JR) 14:00-15:30 芦生-園部 (パス・JR) ス) 15:37-16:06 園部-京都 (JR)				
15 : 00	講養3 (微小重力実験/曾我) 小林・益川記念室	枡上から登り口戻る (徒歩)		講義5 (無線通信/石原) 小林・益川記念室			
16 : 00		下山・事務所着 (バス)				実習成果のまとめ クルーノートブックの作成	解散
17 : 00	自由時間	解析方法の解説(石原先生)	16:15 京都駅着	自由時間			
18 : 00	夕食	夕食	夕食	夕食	夕食		
19:00	合同リクリエーション 小林・益川記念室	データ解析	データ解析	天体観測実習・宇宙無線通信実 験・ディスカッション	天体観測実習・宇宙無線通信実 験・ディスカッション	打上交流会	
20 : 00							
21 : 00	心理検査	心理検査	心理検査	心理検査	心理検査	心理検査	
21 : 30	解散	解散	解散	解散	解散	解散	

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おり、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濃密な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をもとに見出していってもらうことが狙いです。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。(鳥谷陽樹 記)

## 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、キックオフでも登壇いただいた京都大学 SIC有人宇宙学研究センター長の山敷先生の新刊「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・山敷庸亮氏
- ・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主幹・桜井誠人氏
- 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·井口恵氏
- ・京都大学大学院総合生存学館博士課程・冨田キアナ氏

開会の挨拶として、冨田氏が宇宙飛行士・山崎直子氏(特任准教授)からのメッセージを読み上げました。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。

各登壇者からの自己紹介の後、山敷氏が「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、コアテクノロジー、コアソサエティ)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、コアテクノロジーは人工重力や資源・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ソサエティが成立します。著書では専門家たちが各概念について考察し執筆しています。

議論は司会者の後藤氏から参加者への「他の惑星に住みたいですか?」という質問から始まり、「月か火星か、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。

桜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空気が必要であり、資源の再利用可能性が 重要であると述べました。

井口氏は宇宙滞在中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振り返りながら、宇宙という環境的制約とそこで必要な栄養を考えながら試行錯誤する過程の楽しさを伝えました。

続いて議論は宇宙と水資源・海に関する話題に移りました。山敷氏は火星に海を作るという夢を語り、

地球型生命体を維持可能な海のようなエリアを火星に持ってい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議論され、プロダイバーの森裕和氏と藤永嵩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、藤井氏はこれまでに多く の宇宙ビジネスを取材した経験から、水・重 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。冨田氏は宇宙での集団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ア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、米国のアルテミス計画(※1)に話題が及び、ロッキード・マーチンやスペース 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話されました。

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 VILLEGE(※2)」のシンポジウムが今年 12 月に倉敷と鳥取で開催される予定で、国家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予見されます。



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、白熱した対話が繰り広げられました。イベントの開始時には、山敷氏のシ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動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クロスオーバ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 アルテミス計画 (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 が契約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、計画自体は NASA が主導しているものの、月面 での持続的な駐留を確立し、民間企業が月面経済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 プが計画を前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。

**X2** Moon Village Association

オーストリアのウィー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、学界、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 日に倉敷と鳥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/ (福井直樹·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、センター長の山敷庸亮 教授をはじめ、大野琢也 SIC 特任准教授、稲谷芳文 SIC 特任教授、山崎直子 特任准教授、稲富裕光 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問題点を統合し、宇宙時代の基幹学問体型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転を見据えた生態系システムを「コアバイオーム複合体」とし、「生命維持」システムの維持に必要な技術体系を「コアテクノロジー」と名づけ、また、これらを備えた「循環型」の社会を「コアソサエティ」と名づけ、「宇宙社会」の実現を精査・検討します。

本宇宙居住学においては、月・火星での千人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を学び、人間が長期間健康的な生活を営むための「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」を提案し、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、基礎的学力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りください。

envhazards@gsais.kyoto-u.ac.jp

(白樫聖夢 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日 5 限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。この講義を受ける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)。



## 日本海洋学会 2023 年秋季大会の紹介

日本海洋学会 2023 年秋季大会(京都大学)にて、9 月 27 日に「全球から沿岸域までの海洋陸水相互作用」をテーマにセッションが開催されます。

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 規模の物質と熱塩循環における海洋と河川の役割の評価や、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転の可能性について議論を深めます。海洋学会において「宇宙海洋」の概念を議論する初のイベントとなりますので海洋学会会員の方や、それ以外の方でもご参加いただける場合はぜひよろしくお願いします。

講演者と各講演内容は以下の通りです。

日本海洋学会の会員の方とともに、大会ホームページは以下の通りです。

https://www.jp-c.jp/jos/2023FM/index.php

## 郭 新宇[生態系]

富山県の水・栄養塩循環解明を目的とした富山湾の物理・低次生態系モデル構築 益田 玲爾 (招待講演) [魚類]

京都府舞鶴湾・高浜町音海・宮城県気仙沼舞根湾での調査結果から示唆される環境の変化宮澤泰正[予測]

海流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

美山 透[河川(領域)]

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、台風の大雨により相模湾沿岸に漂着した流木漂流のシミュレーション

越田 勇気[河川(海盆)]

海氷海洋大循環モデル COCO を利用した北極域の個別の河川が AMOC に与える影響の評価 木戸 晶一郎[河川(全球)]

準全球渦解像海洋再解析プロダクト JCOPE-FGO を利用した、世界の大河川から海洋に流れ込む 淡水が海洋上層の塩分場に与えるインパクトの検証

## 山敷 庸亮[宇宙]

宇宙に必要な地球生態系を移転する「選定コアバイオーム」コンセプト構築に向けた今後あるべき海洋バイオームの考察

23F-16 全球から沿岸域までの海洋陸水相互作用					
山敷庸亮(京大総合生存学館)・宮澤泰正(JAMSTEC)・木田新一郎(九大応力研)・					
	Behera Swadhin (JAMSTEC)				
	<b>★</b> 座長 山敷庸亮(京大総合生存学館)				
23F-16-01*	Impacts of river and groundwater on nutrients and phytoplankton growth in Toyama Ba				
	Menghong Dong(Ehime Univ.)∙○Xinyu Guo(Ehime Univ)∙Takuya Matsuura(Universit				
	Yamanashi)·Taichi Tebakari(Chuo Univ.)·Jing Zhang(University of Toyama)				
23F-16-02*	潜水目視調査から見た魚類群集の温暖化応答				
	○益田玲爾(京大フィールド科学教育研究セ)				
23F-16-03	日本沿海予測可能性実験における沿岸外洋相互作用研究				
	○宮澤泰正(JAMSTEC)·Sergey M. Varlamov(JAMSTEC)·美山透(JAMSTEC)·章若潮				
	(JAMSTEC)·Yu-Lin K. Chang(JAMSTEC)·林田博士(JAMSTEC)·木戸晶一郎(JAMSTEC				
	郭新宇(JAMSTEC・愛媛大沿岸環境科学研究セ)				
	<b>★</b> 座長 木田新一郎(九大応力研)				
23F-16-04	リアルタイム河川流入モデルを組み込んだ海洋予測モデルの応用-2023年台風2号大				
	雨による流木漂流-				
	○美山透(JAMSTEC)·宮澤泰正(JAMSTEC)·石井洋(JAMSTEC)				
<u>23F-16-0</u> 5	大西洋子午面循環に対する北極域河川流出の影響の解析				
	○越田勇気(東大大海研)・川崎高雄(東大大海研)・羽角博康(東大大海研)				
23F-16-06	準全球渦解像海洋再解析プロダクトを用いた河川水が海洋上層にもたらすインパク				
	トの評価				
	○木戸晶一郎(JAMSTEC)・野中正見(JAMSTEC)・宮澤泰正(JAMSTEC)				
23F-16-07	宇宙移住における海洋の役割と沿岸域の重要性				
	〇山敷庸亮(京大院総合生存学館)				
	23F-16-01*  23F-16-02*  23F-16-03  23F-16-04  23F-16-05  23F-16-06				

(森下至子 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」 後期プログラムが始まります

大学コンソーシアム京都主催「2023年度京カレッジリカレント教育プログラム」で開講されております、「宇宙移住に向けた最先端研究と企業技術」後半プログラムのご案内です。

「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1回「宇宙移住のためのコアバイオームコンセプト(山敷庸亮)」を皮切りに、5回にわたる連続講義が開始されました。

後半プログラムでは、「コアバイオーム」を支える基幹技術である「コアテクノロジー」についてや、宇宙での生命存在条件、宇宙木材工学、月面での社会形成、宇宙での水産養殖などについて解説します。

開講方法:オンライン(Zoom)

受講料:計5回合わせて5,000円(税込)

定員:100名

申し込み期限:2023/09/18(月)17:00

上記期日までに、下のパンフレットにこざいます QR コードを読み取りお申し込みください。

見逃し配信は開催日から約2週間ほどご視聴いただけます。

第1回 10月5日(木) 18:30~20:00

「宇宙移住のためのコアテクノロジー」

山敷庸亮・京都大学大学院総合生存学館 教授、SIC 有人宇宙学研究センター センター長第2回 10月19日(木) 18:30~20:00

「宇宙で地球外牛命体の存在を探る」

佐々木貴教・京都大学大学院理学研究科宇宙物理学教室 助教

第3回 11月2日(木) 18:30~20:00

「宇宙木材工学」

村田功二·京都大学大学院農学研究科森林科学専攻 准教授

第4回 11月16日(木) 18:30~20:00

「将来の長期的月面探査に資する研究およびその地上における社会実装し

稲富裕光·宇宙航空研究開発機構(JAXA)宇宙科学研究所 教授

第5回 11月30日(木) 18:30~20:00

「宇宙における水産養殖の研究と地上の先端技術」

遠藤雅人・東京海洋大学学術研究海洋生物資源学部門 准教授

・都合により講座の延期や中止、内容変更等が生じる場合がございます。変更の際には、大学コンソーシアム京都ホームページの「重要なお知らせ」及びお申し込み時のメールアドレス宛にご連絡させていただきます。(白樫聖夢 記)





# 【学ント】「火星に住もう!」 Season4 の紹介

大阪読売文化センター主催の市民講座「学ント」では、SIC 有人宇宙学研究センターの講師陣による人気講座「火星に住もう!」(DMG MORI presents)が 10 月より Season4 に突入します。

今シーズンには、世界最初の宇宙旅行者 100 人に選ばれた稲波紀明らが登場し、人類の宇宙進出に向けた研究開発や課題について、最前線の専門家たちがリレー講座を行います。

今回の計 6 回のテーマは、ECLSS(生命維持・環境制御技術)という宇宙居住のための根幹技術と、宇宙医療の現状、そして宇宙での社会構築のために他の霊長類から学ぶ点はあるのか、宇宙ビジネスの展開、宇宙における社会形成、火星移住実現における最大の障壁について解説します。

受講料:現地・オンデマンドとも各回 1,000 円(税込)

日程:全6回第3日曜日(10月のみ第5週)13:00~14:30

オンデマンド配信は開催日の約1週間後に配信開始いたします。

第1回 10月8日(日) 13:00~14:30

「宇宙で生きる! 宇宙居住と物質循環」

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

第2回 11月19日(日) 13:00~14:30

「宇宙ビジネス最新情報 ーここまで現実的になった宇宙ビジネス!ート

稲波紀明・INAMI Space Laboratory 代表取締役

第3回 12月17日(日) 13:00~14:30

「人は宇宙環境でどうなるのか~宇宙医学研究の紹介~」

寺田昌弘・京都大学学際融合教育研究推進センター、宇宙総合学研究ユニット 特定准教授

第4回 1月21日(日)13:00~14:30 「重力環境がとトの時間認知に与える影響」

足立幾磨・京都大学霊長類研究所言語思考分野 准教授

第5回 2月18日(日)13:00~14:30

「宇宙進出の人類史的意味 -文化人類学の視点から-1

岡田浩樹・神戸大学大学院国際文化学研究科 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・磁場・大気・砂嵐? |

山敷庸亮・京都大学大学院総合生存学館 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.oybc.co.jp/mananto/

(白樫聖夢 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)の登録が始まりました。MVA2023には、岡山大学、鳥取大学らとともに、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定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 回は自然豊かで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・倉敷)・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=9QdehWyIeC4

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、コアバイオ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」

月の計画とミッション、月建築のコンセプトと課題、宇宙資源、採掘、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 筑波研究所 技師長) 宇宙を含めた木材活用における SDGs 他 https://www.crossu.org/event/230907it/	X-NIHONBASHI TOWER(日本橋三井タ ワー)東京都中央区日 本橋室町 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 野木朔太郎 (B2)、豊西悟大(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)	
1 0月1 0日 (火) 13:25 - 14:25	朝日地球会議 2023 DAY2 土井 隆雄(京都大学特定教授)、新井朋子 (千葉工業大学惑星探査研究センター 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	

<sup>※</sup>詳細は随時 Web ページ ( <a href="https://space.innovationkyoto.org/news/">https://space.innovationkyoto.org/news/</a>) で公開します。 (辻廣 智子 記)

## LignoSat紹介 EPS 班

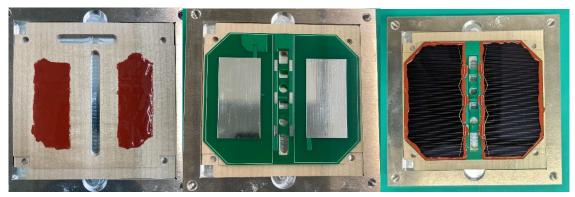
LignoSat 開発チーム EPS 班の活動についてご紹介いたします。

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関門となっており、厳しい基準を満たした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着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)を接着し、その上に太陽光パネルを接着しているのですが、木材に PCB を接着した事例はありませんでした。そこで木材と PCB の接着塗布面やプライマーの有無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。



太陽光パネル接着の様子

現在は主に FM(フライトモデル)用に木材に太陽光パネルを接着する作業や、バッテリーの製作をする作業を行いつつ、5 月から新たに入ってきてくれた新メンバー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着の知識を吸収してもらいながら、実際の製作にも携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るようにサポートを心がけていきたいと思います。

(鳥谷陽樹 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ところですが、光合成研究に 比べて水分生理学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期に十分な水 が得られないなど、水が現状の森林の成立を制限することとなる可能性が増しています。

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ことを前提 に想像してみましょう。私たちは日々生活している日本でまさに「湯水の如く」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。

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養分(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4億7千年前に陸上に進出できました。陸上に進出し 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、萎凋(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・機能の面で次の三つの進化をとげました。

- 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道管(図1)と仮道管(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<sup>2</sup>(図4)を配置し、その孔を開閉することで水の拡散を調整します。 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、植物はこれでしおれを完全 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ています。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。
- <sup>2</sup>: 対になった孔辺細胞が脱水し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、孔辺細胞が給水し拡大すると隙間がなくなり気孔が閉じたとみなします。

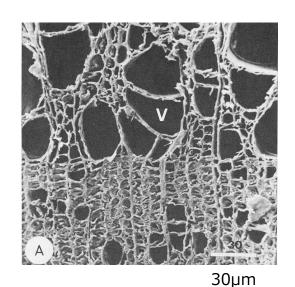
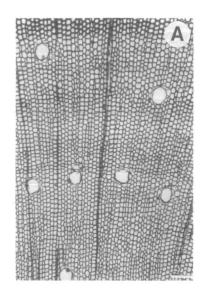


図 1 カロリナポプラの枝の木部横断面 水を通す道管 (V) が発達 (Ikeda and Suzaki, 1986)



100µm

図 2 クロマツ幹の木部断面 ほとんどが仮道管で構成 白い円形は樹脂道で 松ヤニを貯める空間 (Ikeda and Kiyohara, 1995)

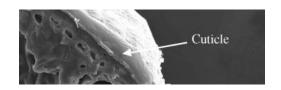
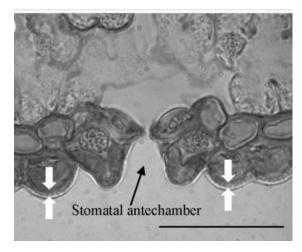


図3 ハイマツ針葉のクチクラ層 (Nakamoto et al, 2012)

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、しばしば見聞きする数値です。植物ではどうでしょうか。例えば葉の含水率は(1)式で求まります。

含水率(%) = (全生重量 - 乾燥重量)/全生重量 × 100 (1)

全生重量は葉を採取した時の重量

全生重量と乾燥重量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常に変動するので、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、データの比較には前提条件がつくことになります。

そこで、相対含水率を使うと((2)式)相互比較が可能となります。

相対含水率(%) = (採取時生重量 - 乾燥重量)/ (飽水時重量 - 乾燥重量)
(2)

葉が含みうる水 100% (飽水時重量) のうち、葉を採取したときに含まれている水 (採取時生重量) の割合が求まります。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。

これら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、無機体に関わらず、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 $\Psi$ で表記し、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はたらき、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をとります。

一般に、水ポテンシャルは(3)式で表される。

$$\Psi w = \Psi s(\pi) + \Psi p + \Psi m + \Psi g \qquad (3)$$

ここで、 $\Psi$ s は浸透ポテンシャル、 $\Psi$ p は圧ポテンシャル、 $\Psi$ m はマトリックポテンシャル、 $\Psi$ g は重力ポテンシャルです。浸透ポテンシャル( $\Psi$ s)は系内に溶けている溶質の濃度で決まり、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 $\Psi$ s は低くなり(浸透圧は上昇)、系内に水を引き込む力が大きくなります。 $\Psi$ g は高さが 1 m 高くなると 0.01 MPa 低下します。 $\Psi$ 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 1 0 0 m の位置では水が落下しないように常に 1 MPa の力で水を保持しなければならなりません。マトリックポテンシャル $\Psi$ 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 $\Psi$ m は無視できるほど十分に小さい値です。細胞内に水が入り細胞質と液胞が膨らむと、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 $\Psi$ p で、膨圧に相当しプラスの値をとり、最低値は 0 です。この圧力がプラスとなることで細胞は拡大し、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首を垂れ、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しましています。圧ポテンシャルがわずかでも正の値を維持していれば、水やりをす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することなく、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 +  $\Psi$  q となります。

$$\Psi w = \Psi s(\Pi) + \Psi p \quad (4)$$

#### 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(水欠差)が生じ、植物細胞の原形質(細胞質)を取り囲む細胞膜とその外側の細胞壁が離れる、つまり原形質分離を起こし、細胞内への水の供給が絶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 $\Psi p$  をプラスに保つことが必須である。 そのためのメカニズムとして、1.浸透調節と2.細胞壁体積弾性率の変化があります(図5)。

1.浸透調節: (4)式のうち $\Psi p$ は細胞内の水の多少によって受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 $\Psi w$ はさらに低下するので、 $\Psi p>0$ を維持するには $\Psi s$ 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濃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なり、結果的に溶質濃度が濃くなることです。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。様々な場面で浸透ポテンシャル $\Psi$ 

s は種間に差異があるとともに、1 本の樹木でも季節よって大きく変動します。例えば、スギの $\Psi s$  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、針葉の成熟と盛夏にかけて、 $\Psi s$  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る。

2.細胞壁の体積弾性率の変化:細胞壁の弾性率は細胞膜の弾性率に比べて大きい、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、細胞膜は柔軟性があるため、細胞膜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随できなくなり、細胞壁と細胞膜の間に隙間が生じ、細胞膜と細胞壁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、細胞膜の収縮に細胞壁の収縮が追随できれば両者の間に隙間が生じることはなく、原形質分離は起きないのです。ここで注意すべきこととして、原形質分離は起きていないけれども、細胞の水分が極度に低下していることには変わりありません。

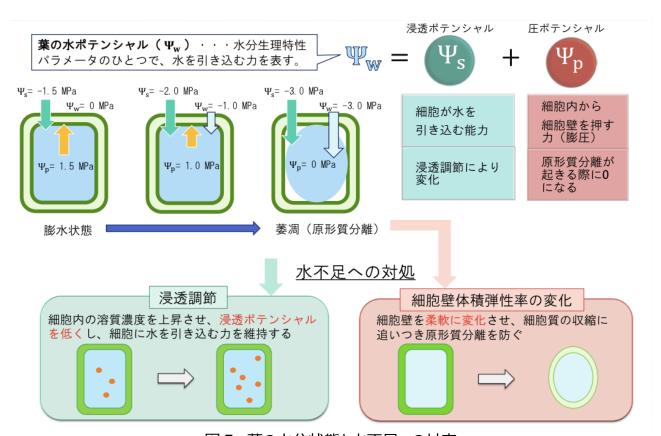


図5 葉の水分状態と水不足への対応

#### 引用文献

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

Ikeda, T. and Kiyohara, T. 1995 J. Exp. Bot. 46: 441-449

Nakamoto, A., Ikeda, T. and Maruta, E. 2012 Can. J. For. Res. 42: 167-178

Slatyer, R. O. 1967 Plant-water relationships. Academic Press, London

# 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 三本勇貴、豊西悟大、山本陽大

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.21

2023年9月1日発行