

SIC 有人宇宙学研究センター

NewsLetter 2022年10月号 No.10

9月の活動報告

NanoAvionics 社 宇宙木材研究室を訪問

8月31日、リトアニアに本社を置く NanoAvionics 社が宇宙木材研究室を訪問されました。NanoAvionics 社は、小型衛星に搭載する機器からソフトウェアまで総合的に開発を行っているほか、衛星ミッション運用や宇宙開発教育など衛星事業に関して幅広く提供している企業です。多くの飛行実績があり、NASA や ESA (欧州宇宙機関) でも採用されています。現在、木造人工衛星開発チームでは LignoSat の次号機となる 2U サイズの“LignoSat2”の概念設計に取り組んでおり、新たに姿勢制御用装置「磁気トルカ」を搭載する予定です。磁気トルカは衛星内に磁場を発生させ、地磁気との作用で衛星の向きを制御します。今回の訪問では企業内容や NanoAvionics 社製磁気トルカについて説明していただき、質疑応答を行いました。また当研究室の土井隆雄先生と衛星開発学生チームの阿戸豪 (工学部3年) が、実際に今まで作成したモデルを用いながら木造人工衛星の特徴や開発状況、LignoSat2 の概要を説明しました。木造人工衛星開発チームは次号機 LignoSat2 の概念設計を2023年3月に完了する予定です。(阿戸豪 記)

LignoSat 紹介

木造人工衛星学生開発チーム

EPS 班

○木材と PCB 基板の接着

宇宙用の接着剤として用いられている「RTV G-690」が木材の接着に対して十分な接着力を持つかどうか検証しています。これまでに、接着方法検討試験、高真空暴露試験などを行い、「小型人工衛星開発において十分な接着力をもつ」ことが明らかになりました。今後は、より詳細なデータ解析や比較検討を行っていきます。

また、木材と PCB 基板の接着練習も行っています。RTV の塗布量や PCB 基板の固定方法を検討してきました。検討内容に基づいて、9月以降木造構体と太陽光パネル用 PCB 基板の接着を行う予定です。



図1 せん断後の試験体

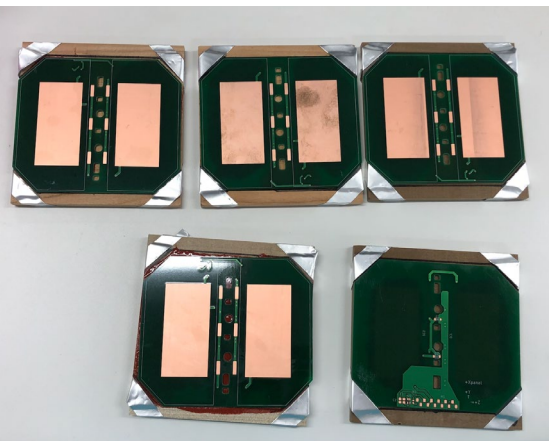


図2 接着練習用の木材と PCB 基板

○バッテリーボックス

LignoSat のバッテリーは市販の充電式電池から構成されています。私たちの班では、バッテリーに使用する電池として性能の高いものを選定し、業者に溶接して頂き、バッテリーを作成しています。

現在、溶接された電池をバッテリーボックスに収納し、バッテリーが適切に動作するためのセンサやヒーターの取り付け、基板との接続などの作業を行っています。

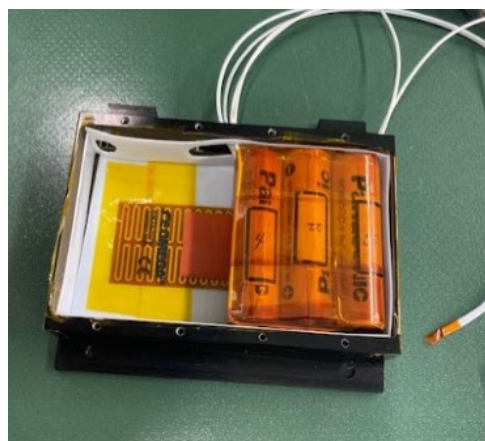


図3 バッテリーボックス作成の様子

低圧下樹木育成プロジェクト紹介

湿度計測システム

今月は低圧下樹木育成実験システムにおける湿度計測システムについて説明しよう。現在、私たちが使っているのは、AOSONG 社製 DHT-22 である（図 1）。このセンサーは、低価格であるが温度は -40°C から $+80^{\circ}\text{C}$ まで $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ の精度（公称値）で、湿度は 0%から 100%まで $\pm 2\%$ の精度（公称値）で測定可能である。測定方式は温度が半導体アナログ方式、湿度が静電容量式であり、得られた電圧を 8 ビットデータとしてデジタル化している。DHT-22 は、原理的に低圧下でも湿度の計測に使えるはずであるが、低圧下での使用は保証されていない。



図1 温湿度センサー DHT22

低圧下で DHT-22 が使えるのかどうか、また、その精度を求めるために較正実験が不可欠である。図 2 に DHT-22 の湿度の気圧較正実験の結果を示す。ここでは、1 気圧において相対湿度を 82% まであげ、その後徐々に気圧を下げて行っている。樹木育成チャンバ内の水分子数は気圧の低下に比例して減少していくので、ある気圧下での正確な相対湿度が計算できる。この較正実験中に気温は変化していない。この結果を見ると、DHT-22 の湿度 はデータのバラツキはあるが、気圧が低下してもほぼ線型性を保っていることがわかる。

気圧較正実験の結果から DHT-22 の湿度計測系は低圧下でも 0.3 気圧程度まで使用可能であることが分かった。現在の気圧較正の方法では、1 気圧下での湿度を 100%にしても、0.1 気圧では 10%程度になる。これは、DHT-22 の湿度計測精度が± 2 %であるため低圧での湿度の較正精度が上がらないことを意味している。現在、0.3 気圧以下での正確な湿度測定の方法を検討中である。

(土井隆雄 記)

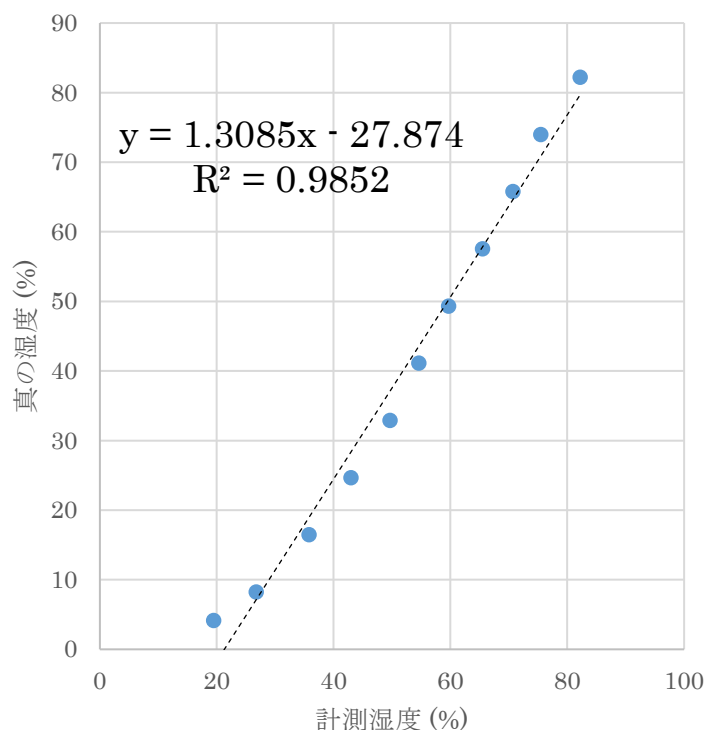


図 2 DHT22 湿度計測における気圧較正実験結果

10 月の活動紹介

DMG MORI presents 火星に住もう！ Season2

【学ント】「火星に住もう！」は 10 月から Season2 に突入します。

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 Season2 に突入します。

今シーズンには、宇宙飛行士の山崎直子特任准教授らが登場。人類の宇宙進出に向けた研究開発や課題について、最前線の専門家たちがリレー講座を行います。

計 6 回のテーマは、宇宙ビジネス、宇宙医学、宇宙法、宇宙人類学などと多岐にわたり、宇宙旅行に出掛けてみたい人、宇宙に関する仕事に興味がある人にも役立つ最新情報を解説します。

【受講料】1 回 1,000 円（見逃し配信付き）

【会場】読売京都ビル 4 階会議室（京都市中京区烏丸通六角下ル七観音町 630）

【日時】第 3 日曜（変則有り）13：00～14：30

10 月 30 日（日）第 1 部「宇宙から地球を知る」山崎直子・宇宙飛行士、

SIC 有人宇宙学研究センター特任准教授（Zoom 出演）

第 2 部「地球を学んで宇宙に行こう」

山敷庸亮・京都大学大学院総合生存学館教授、専攻長（教室）

11 月 20 日（日）「宇宙ビジネス最前線」浅田正一郎・

Synspective 執行役員ビジネス開発部ゼネラルマネージャー

12 月 18 日（日）「人は宇宙環境でどうなるのか～宇宙医学研究の紹介～」

寺田昌弘・京都大学学際融合教育研究推進センター

宇宙総合学研究ユニット特定准教授

1 月 15 日（日）「天体での人間活動に適用される国際宇宙法を考える」

青木節子・慶応義塾大学大学院法務研究科教授

2 月 19 日（日）「人類学から見た人類の宇宙進出」

岡田浩樹・神戸大学大学院国際文化学研究科教授

3 月 19 日（日）「生命を宿す天体の条件を探る」

佐々木貴教・京都大学大学院理学研究科宇宙物理学教室助教

備考 プログラムは変更になる可能性があります。ご了承ください

【詳細・お申し込み】

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

【お問い合わせ】

TEL 06-6361-3325（受付時間 平日 10：00～17：00）

【メール】

mananto@oybc.co.jp

【協賛】DMG MORI

2022 年度後期

有人宇宙学開講

対象：大学院生（履修）・学部生（聴講）

授業の概要・目的

有人宇宙活動を宇宙に恒久的に人類社会を創造する活動であると定義する時、人類が宇宙に展

開するための新しい総合科学:人間-時間-宇宙を繋ぐ有人宇宙学が必要となる。有人宇宙学は、宇宙-時間 (宇宙の進化)、時間-人間 (生命の進化および文明の進化)、人間-宇宙 (宇宙開発の進化)の4つの進化過程を司る学問である。それは、宇宙に人間社会を創ろうとする試みが、自然科学分野のみならず、人文社会科学分野にも幅広く関係していることによる。この講義では、人類が宇宙における持続可能な社会基盤を構築するために何が必要なのか、自然科学的・人文社会科学的に解説する。理工系ばかりでなく人文社会系学生が、宇宙における持続的社会的構築という命題の中に、自分の研究分野との接点を見つけ、自分の研究の新たな意義と新しい方向性を見出すことをめざす。

到達目標

人類の宇宙進出が地球文明にとって何を意味するかを理解し、人類が宇宙に持続可能な社会基盤を構築することが可能であるのかを、有人宇宙学、宇宙環境工学、宇宙探査工学、宇宙生命科学、宇宙生物学、宇宙医学、宇宙霊長類学、宇宙人類学、宇宙法、宇宙居住学など幅広い学問分野の融合から探求することを学ぶ。

授業計画

- 【第1回】10月5日 有人宇宙学 (土井隆雄・山敷庸亮・田口真奈)
- 【第2回】10月12日 宇宙環境工学 (山敷庸亮)
- 【第3回】10月19日 宇宙探査工学 (清水幸夫)
- 【第4回】10月26日 有人宇宙学演習1
- 【第5回】11月9日 宇宙生命科学 (保尊隆亨)
- 【第6回】11月16日 宇宙木材工学 (村田功二)
- 【第7回】11月30日 宇宙霊長類学 (足立幾馬)
- 【第8回】12月7日 宇宙医学 (寺田昌弘)
- 【第9回】12月14日 宇宙法 (青木節子)
- 【第10回】12月21日 宇宙人類学 (岡田浩樹)
- 【第11回】1月4日 有人宇宙学演習2/3 (土井隆雄・山敷庸亮)
- 【第12回】1月11日 宇宙居住学 (稲富祐光)
- 【第13回】1月18日 有人宇宙学演習4 (土井隆雄・山敷庸亮・田口真奈)
- 【第14回】1月25日 フィードバック

* 講師の都合により、講義日程が前後する可能性がある。

日時：毎水曜日5限

場所：東一条館2階201教室

(土井隆雄記)

2022 年度後期 宇宙居住学開講

対象：大学院生（履修）・学部生（聴講）

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。

詳細は以下シラバスを参照してください。

https://ocw.kyoto-u.ac.jp/syllabus/?act=detail&syllabus_id=g_is_1017&year=2022

大学院生向けの講義ですが、聴講を希望する学部生は、以下に連絡をとってください。

envhazards@gsais.kyoto-u.ac.jp

研究紹介

宇宙でヒトは殖え続けられるか

篠原正典 帝京科学大学生命環境学部教授

閉鎖居住経験者

この記事を書いていた 9 月 20 日、ワレリー・ポリャコフの訃報が流れた。えっ？誰？と思う方も多いかもしれない。人類史上、最も長く宇宙空間で暮らしたコスモノートである。1994～95 年に実に 437 日間、ソユーズとミールの中でミッションを続け、心身ともに健康な状態で地上に戻り 80 歳で亡くなった。

地球生物圏から切り離された空間で、ヒトはどれだけ生きられるのか、そして、はたして殖え続けることができるのか。スペース X の創業者イーロン・マスクは、百年後に 2 万人規模の宇宙都市を火星に作る、と意気込むが、果たして可能なのであろうか。ポリャコフの生命は地球から 100%の持ち出しで維持されたが、月へ火星へ、そしてさらなるディープスペースへヒトが進出するためには、閉鎖生態系生命維持シス

テム (Closed ecological life support system, CELSS) の構築という技術的問題と、実際に殖えられるのかという生物学的医学的な検討が必要である (実際には、「あなたは人類の宇宙進出のクルーになることを自ら選んだのですから、このクルー集団の出生率を 2.0 以上に維持すべく繁殖しなくてはならないのですよ？ えっ、嫌？ 個人の自由？ え〜っ、それではこのミッションは・・・」という問題もまた、別途大きな問題として検討が必要だが)。

私自身は、青森県六ヶ所村の現 (公財) 環境科学技術研究所が完成させた CELSS・ミニ地球の居住者に選んで頂き、プロジェクトに参画中は毎年、自分が食べる植物を育てては閉鎖環境を構築し、その中に入って実際に“生きる”という非常に貴重な機会を繰り返し経験している。もう 20~15 年前のことになる (詳しくは多胡靖弘, 2015 を参照)。こうした実験は各国の軍や宇宙機関で 60 年！ 以上前から現在まで繰り返し行われ、近年では中国も本格的に開発し始めていることを JAXA の矢野幸子研究員と共に月面農場 WG 検討報告書にまとめたが、CELSS 構築という技術的問題は、これまでの積み重ねと近年の進展ぐあいからみて、人類のディープスペース進出への障壁にはならないと考えている。また、ここでは詳しくは述べないが、放射線や微小重力が人体に与える生物学的医学的影響の問題も私としては障壁になるような課題だとは捉えていない。こちらに関しては異論が多いことだろう。

このように楽観的な私であっても、まだ検討が足りておらず障壁になると思うことがある。地球生物圏外である宇宙においてヒトが殖えられるのか？ という点である。本稿のタイトルであるこの問題に関して、今年度 5 月の地球惑星科学連合大会の場で、また、9 月には土井先生が発展的に継続されている京都大学の有人宇宙学実習の場でも履修学生を前に話をする機会を頂いた。本稿はその論考を要約して紹介させて頂くものである。

まず、思い出してほしいのは、自分たちが造ったロケットと宇宙船で宇宙空間に飛び出し還ってこられるかという挑戦に臨んだ当時のソ連と米国が何をしたか、である。それぞれイヌを、チンパンジーを、ヒトに先んじて乗せたのだ。では、ヒトが宇宙で殖えることができるか？ この検討も、先に動物に先例をみせてもらって、そのレッスンに倣ってヒトが…ではないだろうか。ここで、月や火星で (ロボットのサポートなどで) ラットに殖えてもらう試みをすべきだ、といった動物実験的な方向に話を進めるつもりはない。私は、日高敏隆の薫陶を受けた動物行動学者でイルカ類を対象に研究を続けており、先達や同僚には霊長類学者も多く、加えてゾウ類にもたいへん強い関心をもっており、推定で 70 歳！ 近い高齢 (おそらく世界最高齢) のオスのアジアゾウ「アヌー」を多摩動物園に詣でるのを自らの義務にもしている。こうした専門と興味から、これらヒトに近い長寿の社会性の動物が自然から切り離された疑似的な圏外環境で殖えているのかを振り返るのが、まず先に行うことではないだろうか、と主張したい。

私たちヒトは、自然界から切り離した人工環境下で、上手に生かし殖やし続けられている動物がいる。多くの家畜がそうであり、伴侶・愛玩動物では、イヌ、ネコ、ウマなどがそうである。彼らが哀れな生を送っていると思う人は少ないであろう (家畜や伴侶動物などの扱いに関して、数多くの危惧や批判があるのは承知しているが)。また、その数・量も、この地球上の野生哺乳類全体の実に 15 倍！ になるほどである。尚、ヒトは野生哺乳類全体の約 10 倍である。家畜化に成功し育種改良されたイヌ・ネコのような食肉目ではなく、野生の食肉目であっても、野生下で暮らすより飼育環境下において健康に長く生かすことに成功しているとの報告もある (Morgane 他, 2016)。しかし、よりヒトに近い動物、大型類人猿、また、ヒトと同じように長寿で閉経を持つシャチやゾウではどうであろうか？

大型類人猿に関しては、京都大学からも多くの研究者が参画する「アフリカ・アジアに生きる大型類人猿を支援する集い（SAGA）」においても「飼育下の大型類人猿の「生活の質（QOL）」を向上させる」ことを三つの目標の一つに掲げるなど、その飼育環境をよりエンリッチし、野生から補充しなくとも飼育で殖やして維持しようという試みが続く。しかし成功しているとはいえ、オランウータン、ゴリラ類、チンパンジー類、その全てがいま飼育下で個体数を減らしたり高齢化が進み、存亡が危惧される状態にある（落合-大平ら,2006 など）。

シャチに関しても同様に殖やすことはできていない。シャチの飼育先進国であった米国では人工授精で出産を続けてきたが、多くの個体が若くして死に続けてきた。精子の最大の提供個体であったオスの「Tilikum」も 2016 年に 35 歳で死亡し（一説では野生のシャチでは 80 歳まで生きる個体もいるとされる）、彼の孫にあたる「Kyara」が米国で最後に生まれたシャチとなったが、2016 年に 1 歳で死んでいる。米国の動物園水族館業界では「幸せに飼ってあげることも、殖やしてあげることもできない」との判断でシャチの飼育を終えている（現在飼っている個体のみ飼育を続け、サクリファイ（！）を増やさないために繁殖の試みも実施しない）。国内のシャチも現在は 7 頭にまで減っており、唯一のオス「アース」は他のメスが全て近親者であり繁殖が難しく、国を越えての人工授精の試みが検討されている。

ゾウも例外ではない。国内の動物園でもその数が減り続け、日本動物園水族館協会によると、アジアゾウは 1987 年には 45 園に 83 頭いたものが 2016 年には 34 園 79 頭に、アフリカゾウは 1984 年には 22 園 84 頭いたものが 2016 年には 17 園 36 頭に減っている。先の Morgane 他 (2016) の報告では、データがあるメスに関してだけの検討だが、世界的にも飼育個体は野生に比べ寿命が短いことが報じられている。しかし、アジアでは使役でゾウを数千年前から使い続けているのではないかと反論もありそうだが、あれは健全な野生集団があってこそ成り立っている。ゾウたちはかつて今もヒトの手の中で殖えることはできないのだが、メスが繁殖のために野生で暮らす仲間のもとに戻され（戻り）、妊娠したり子供を連れて再び戻って（戻されて）くる、というスタイルで飼育集団が維持されている。

なぜ、ヒトはこうした大型で長寿の社会性の野生動物を人工飼育環境下でより長く生かしたり殖やしていくことができないのであろうか…。明確に答えられる研究者や飼育関係者はいないであろう。生物学者、飼育関係者、動物愛護関係者ではなく、「ヒトが宇宙で殖えるための基礎研究」として宇宙機関が本腰をあげ、膨大な予算と研究者を充てれば…果たして…

これまで有言実行で成功を収めてきたイーロン・マスク。最後に改めて彼の「2 万人規模の宇宙都市を火星に作る」計画を見直したい。実はこの計画のベースには、破綻した Mars One 計画のような行っただけではなく、百人規模の宇宙船が地球＝火星間を往還し続けることが前提になっている。地球から孤立した集団として火星で殖えるのではなく、交流を保ちながらヒトの生存圏を火星にも広めていくというデザインになっている。アジアで数千年前から続けられたゾウの使役個体群に似ていなくもない。これなら実現可能であろうか…さて…。このような情報収集と論考はまだ始めたばかりであり、同様の関心を持つ研究者や関係者と情報交換し議論をして掘り下げていくことができれば幸いである。

参考文献

ワレリー・V・ポリャコフ（1999）『地球を離れた 2 年間』 WAVE 出版

Space X Mars & Beyond. <https://www.spacex.com/human-spaceflight/mars/>

月面農場WG検討報告書第1版 JAXA-SP-19-001 (JAXAレポジトリ)

多胡靖弘 (2015) “閉鎖型生態系実験施設を用いた閉鎖居住実験—食料自給および物質（空気・水・廃棄物）循環、ならびにトラブルシューティング—,” 閉鎖生態系・生態工学ハンドブック. 48-66, アドスリー社

SAGA HP. <https://saga-jp.wixsite.com/saga/>

落合-大平 知美他 (2006) 日本国内の大型類人猿の飼育の過去と現在 霊長類研究 22 (2), 123-136

Morgane 他 (2016) Comparative analyses of longevity and senescence reveal variable survival benefits of living in zoos across mammals. Scientific Reports 6, 3636

Mars One HP. <https://www.mars-one.com/>

京都大学 SIC 有人宇宙学研究センター

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

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

編集人：木造人工衛星製作チーム 菊川祐樹 筒井涼輔

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

SIC 有人宇宙学研究センター Newsletter No.10

2022 年 10 月 1 日発行