

SIC 有人宇宙学研究センター News Letter 2022 年 3 月号

2 月の活動報告

宇宙ステーションでの木材の宇宙曝露実験 —宇宙木材プロジェクト(LignoStella Project)—

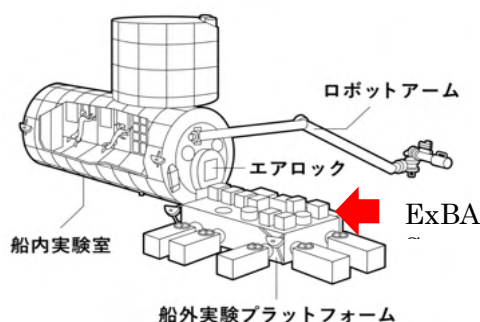
宇宙木材プロジェクトでは、2023 年に木造人工衛星 (LignoSat) の打ち上げを目指して開発を進めています。LignoSat の投入を計画している地球低軌道(LEO)では高真空、銀河宇宙線、太陽高エネルギー粒子、真空紫外線や原子状酸素などの影響で材料が劣化する可能性があります。LEO の環境で木材がどのように劣化するかを確認するため、宇宙曝露実験を行います。

2022 年 2 月 20 日(日)午前 2 時 40 分(日本時間)に米国バージニア州 NASA ワロップス飛行施設 中部大西洋地域宇宙基地からシグナス補給船運用 17 号機 (NG-17) がアンタレスロケットで打ち上げられ、翌日には国際ステーション(ISS)に到着しました。このミッションの JAXA 搭載品に簡易材料曝露実験ブラケット(ExBAS)があります。宇宙木材プロジェクトの木材試験体も NG-17 に積載され打ち上げられました。順調に進めば 3 月には ExBAS で真空曝露実験が開始されます。一定期間の曝露後に回収し、地上で解析を行います。宇宙空間における木材の曝露実験は、世界で初めての試みとなります。(村田功二記)



シグナス補給船運用 17 号機(NG-17)を搭載したアンタレスロケットの打上げ

©JAXA/NASA Wallops/Allison Stancil



ISS きぼう・船外実験プラットフォーム©SpaceBD



ExBAS 用木材試験体(京都大学)

2022/02/19 15:00

「地球に優しい木造衛星、ISS で世界初の耐久実験...京大など開発目指す」で読売新聞オンラインに掲載

SCB2 アリゾナスペースキャンプの実施

土井隆雄、伊藤河間、紺谷昌平、平嶺和佳菜

第 4 回 SCB2 スペースキャンプが米国アリゾナ州にある準閉鎖生態系研究施設であるバイオスフィア 2 において、日米学生 8 人が参加して 2022 年 2 月 13 日 (Day1) から 18 日 (Day6) かけて実施された。参加クルーの毎日の報告をもとにどのようにスペースキャンプが行われたのかを見てみよう。

Day1 : アメリカ人学生 5 名、日本人学生 3 名が無事バイオスフィア 2 に集合し、SCB2 #4 が開始された。全員による自己紹介の後で、3 つの班を作る。土井隆雄による天体観測、Curt Laumann による宇宙無線通信実験、寺田昌弘による宇宙医学の講義が予定通り行われた。夜は FO-29 衛星(日本の人工衛星)を使った無線通信実験に成功した。系外惑星観測システムを宿舍の裏庭に作り調整を続ける。全員元気である。



Day2 : 朝一番で John Adams 副所長によるバイオスフィア 2 の見学が行われた。続いて、Jason Deleeuw と Van Haren による B2 Forest の講義の後で、B2 森林実習が始まった。B2 森林実習では、バイオスフィア 2 の熱帯雨林に生えている木々の幹の円周を測ることによって、木々に蓄えられている炭素量の特定を行う。学生チームは、泥だらけになりながら 2 時間近く熱帯雨林の中で働き、続いて教室で炭素量の計算をまとめた。夜に入って、昨日と同様に Curt Laumann の指導の下で FO-29 を使った無線通信実験に成功した。その後、系外惑星観測用望遠鏡を使って、月、カストル (2 重星)、オリオン星雲、アンドロメダ銀河、そしてプレアデス星団の観望が行われた。最後に宿舍で、全員でお菓子を食べながら、宇宙について、また生命について大いに議論した。忙しいが非常に充実した一日となった。

Day3 : 今日は Ocean Day である。午前中は、山敷庸亮による海の役割の講義に続いて、John Adams が B2 Ocean の構造と研究について、さらに Curt Laumann による水質検査装置の使い方の説明が行われた。午前中は最後に新しい海洋技術者の女性二人組が B2 Ocean の見学に付き添ってくれ、いろいろと説明を受けた。一昨年の B2 Ocean に比べると水が澄んでいる。午後からは、学生チーム 3 班がそれぞれボートに乗って B2 Ocean の水質検査を行った。夜になって少し雲が発生してきたが、系外惑星 (HAT-P-13) のトランジット観測を行う。今日も忙しい一日であったが、充実した実習が続いている。



Day4 : Desert Day. John Adams による B2 Desert の講義から始まり、Kai Staats による火星基地設計の講義と Space Analog for the Moon & Mars (SAM) の見学が行われた。午後には Kai Staats らが作ったウェブサイト (<https://simoc.space>) を用いて火星基地シミュレーションを

行った。その後、日本人クルーは帰国のための PCR 検査を受け、夕食を迎えた。夜には系外惑星のデータを用いた系外惑星の軌道計算にクルー全員が悪戦苦闘したが、3つの系外惑星の軌道や半径や表面温度を求めることができた。

Day5 : 早くもキャンプ最終日を迎えた。午前中は、NASA 小惑星ミッション OSIRIS-REX の Principal Investigator である Dante Lauretta による小惑星探査に関する講義が行われた。午後はこの5日間の成果を各チームが発表を行い、実験の内容と結果や考察について議論した。明日は朝にバイオスフィア2を出発し、ツーソンからサンフランシスコに移動する。

Day6 : 最終日朝ごはん食べたのち、最後の B2 探索を行った。すべてのミッションが終わり、アメリカクルーと再会を誓い、ハグでお別れをする。その後、無事飛行機に乗りサンフランシスコに到着。サンフランシスコでは、ゴールデンゲートブリッジを見て、フィッシャーマンズワーフでシーフードを堪能した。素晴らしい経験を積ませてくれたバイオスフィア2よ、ありがとう。(土井隆雄・伊藤河間・紺谷昌平・平嶺和佳菜記)



SCB2 屋久島・種子島スペースキャンプの実施

山敷庸亮、生方紗貴、佐野愛華

第4回 SCB2 スペースキャンプにおいて、屋久島・種子島班は、地球(Biosphere 1 - B1) および B2 を構成する主要生態系(コアバイオームと称する)である海洋、森林をより深く学び、世界遺産の屋久島を準隔離生態系と見立てて共に学ぶことを主眼として実施した。

Day1 : 抗原検査ののち、全員屋久島空港に到着し、レンタカーで屋久島を一周する。道中では、日本一のウミガメ産卵地として有名ないなか浜を訪れ、西部林道ではサルやヤクジカといった動物に遭遇した。その後、「日本の滝100選」にも選ばれている屋久島最大の滝、「大川の滝」を見学し、屋久島以南で生育する「絞め殺し木」といわれる独自の成長方法をもつガジュマルとアコウの大樹について、樹木の上の着生植物など特徴的な様子を観察した。屋久島実習の良いスタートを切ることができた。

Day2 : 今日是一日かけて往復距離 19.2km、標高差 696m の荒川登山口から縄文杉までのトレッキングコースを歩いた。朝7時前に宿を出発、現地でお弁当を食べてから8時前に歩き始め、トロッコ道、登山道を経てお昼前にウィルソン株を見学した。標高に伴い海浜植物群、照葉樹林帯、スギ樹林帯と環境に合わせて植生が変化する垂直分布を視察できた。そこからさらに1時間半程かけ、樹齢7000年ともいわれる縄文杉まで到達することができた。屋久島の山中は想像以上に寒く、登山道には雪が積もっていた。ゴールの縄文杉地点の気温はマイナス1度



だったようだ。その後来た道を戻り、16 時過ぎに登山を終了した。我々学生チームは往復 8 時間であったが、教員チームは往復 11 時間の苦行だった様子。

登山後は宿近くのレストランで晩ごはんを食べ、その後山敷先生より減圧症への対策などダイビングに関するオリエンテーションを受けた。

Day3 : 今日は朝からズームで宇宙生物学ゼミに出席し、系外惑星の概要と NASA の Vladimir Airapetian 氏の講義を受けたのち、モーターボートに乗って宮之浦川の河川調査を行った。島に降り注いだ雨が岩盤を通じて浸透し、短い河川から海洋に流れ出る特異な屋久島の水循環を学ぶため、CTD センサーを用いて、宮之浦港からの塩水遡上の状況を計測する調査だったが、東風で沖が荒れており、船で行くことができた 6 地点のみで計測を行った。午後は気温が 9 度と予想以上に低かったため、山敷先生と佐藤さんのみダイビングを行った。その後日本で二つしかないと言われる海に直接落ちる滝（海岸瀑）である「トローキの滝」を見学した。夜は、山敷先生による EXOKYOTO を用いた系外惑星に関する講義を受け、活発な議論となった。



Day4 : 朝 7:00 の超高速水中翼船[トッピー・ロケット]で屋久島から種子島へ移動した。到着後、レンタカーで島内を探索し、喜志鹿の灯台と「締め殺しの木」であるアコウのアーチなどを見学したのち、鉄砲伝来の地である門倉岬で昼食を取る。午後は種子島宇宙センターを訪問し、科学技術館やロケットガレージ、大型ロケット発射場などを見学した。本物の H-II ロケットや大型発射場を間近に見学し、我が国のロケット開発の歴史を学び取り、JAXA 種子島の方々の長年の努力に大変感銘を受けた。



Day5 : 本日は午前中鉄砲館にて種子島の歴史や鉄砲の伝来に関することを学んだ。その後、サンゴ礁が敷き詰められた奥神社を参拝し、サンゴの様子や食虫植物など植生についても観察した。昼食を食べた後は、海食による岩窟である千座の岩屋を訪れた。種子島の雄大な自然に触れることができた。その後、我々が学んだコアバイオームであるオーシャンを生かした B3 を設計した。その後天体観測を行なったがいにく曇りで望遠鏡はセットしたが星は見えず、ExoKyoto を用いた仮想の星の講義を受けた。その後 VR にてダイビングの様子などを学習した。

Day6 : 今朝は 9:20 のトッピーで種子島から屋久島へ移動後、千尋の滝を見学した。現地では初めてドローン操作を行い、雄大な自然を撮影することができた。その後 Biosphere3 設計案のイメージ画を完成させ、飛行機にて伊丹空港まで帰り、全員抗原検査が陰性であることを確認し、屋久島・種子島実習を完了したことをここに報告する。

山敷先生はじめ、実習のサポートをしてくださった小川さん、佐藤さん、またさまざまな方々に心より感謝申し上げます。6 日間を通して自然と伝統、宇宙を満喫し、充実した時間を過ごさせていただきました。

(生方紗貴・佐野愛華記)



LignoSat 紹介

木造人工衛星学生開発チーム

2 月号では超小型人工衛星 LignoSat 開発チームのうちの一つ、CDH 班の活動紹介をいたしました。今月は、STRUC 班の活動紹介をいたします。

STRUC 班活動報告

Structure 班では、LignoSat の要となる木造構体及び外部のアルミ製フレーム、内部構造などの設計、製作を行います。また、構造体についての安全審査に関わる検証試験、解析等を担当します。

○基礎設計

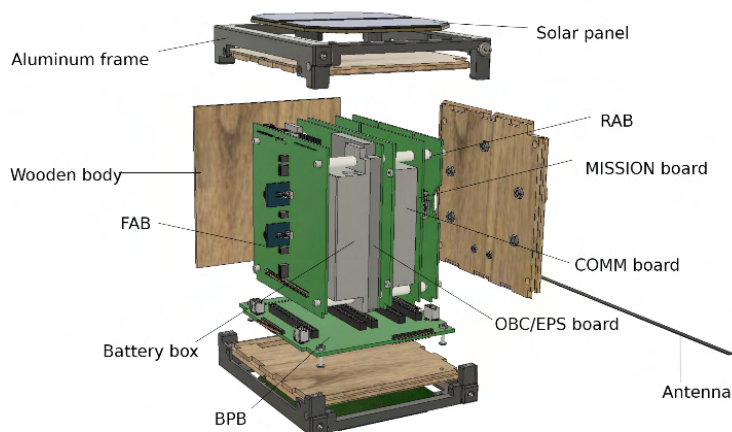
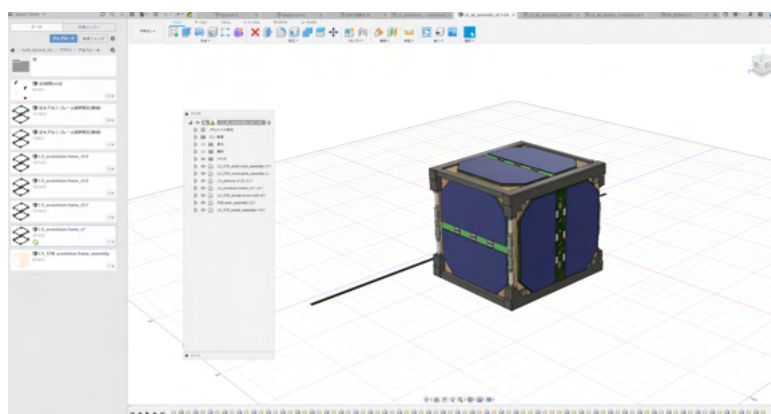
各種部品の設計は Autodesk 社の 3DCAD ソフトである FUSION360 を用いて行います。

3D でのモデリングを行い、その後寸法等を記入した図面を作成することで外部に製作を依頼します。

他班の担当する基板を CAD 上で再現し、組み立てを行うことで、その大きさや位置関係を確認することも Structure 班の役割です。組み立ての際に不具合が生じると修正には時間を要するため、他班と連携しながら慎重に作業を進める必要があります。

○構造体に関わる検証試験・解析

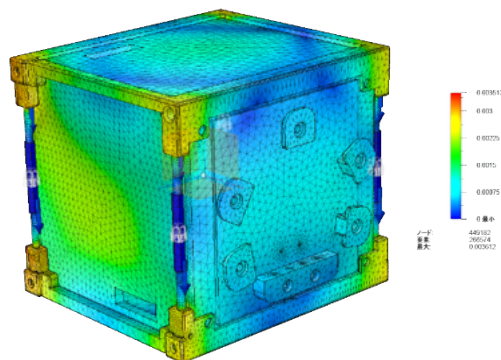
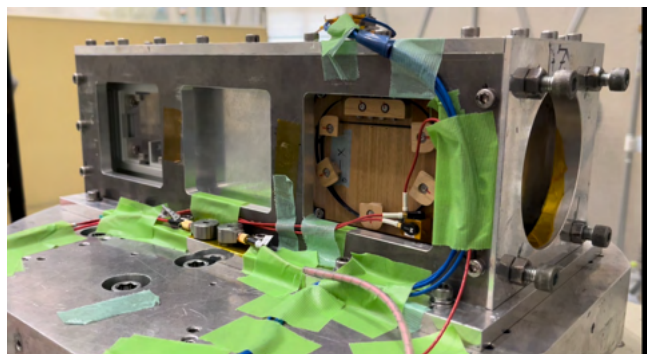
衛星の安全性を証明するための試験や解析を行っており、構造体の係る仕事を担当しています。先月には九州工業大学で STM（構造体モデル）の振



動試験を行いました。振動試験では、ロケットでの打ち上げ時の振動や加速度に構造体が耐えられるかどうかを確かめ、衛星がロケットの振動と共振しないことを確認しました。

また、FUSION360 での応力や固有振動数の解析も行います。ねじの締結による力や打ち上げ時の加速度によって変形や破壊が発生しないかどうかを確かめ、固有振動数についても基準を満たしていることを確認します。

今後は詳細な設計を完成させ、EM（エンジニアリングモデル）や FM（フライトモデル）の製作を進めるとともに解析や安全性の検証についても安全審査を目標により厳密に行います。



低圧下樹木育成プロジェクト紹介

樹木育成学生チーム

一定低気圧に維持した密閉チャンバー内での育成実験により樹木の低大気圧下での成長特性の究明に向け取り組む本研究について、前回に引き続きご説明します。

将来の有人宇宙活動に際しての利用を想定して植物を低気圧環境下で育成する試みにはいくつか先行例があり、シロイヌナズナ、ホウレンソウ、レタス等が既に研究されています。しかしながらこれら低圧育成研究で樹木を扱った例はありませんでした。わたしたちが試料として用いている *P.alba* (ポプラ) は、京都大学生存圏研究所の馬場啓一先生が挿し木により系統を維持されているクローンの苗を、2020年の実験開始当初より継続していただいています。ポプラは樹木としては成長が速く、またゲノムサイズが比較的小さく遺伝子組み換えが容易であることから、一般的に広葉樹のモデル植物として扱われています。樹木を試料に育成実験を行うことの難しさは、何よりその成長の遅さ、期間あたりに扱えるサンプル（個体）数の少なさによるものです。本研究ではこのポプラのクローン個体を用いることで、一回の育成あたりに 3 週間程度をかけて実験を回しつつ、結果への個体差の影響を可能な限り排し、低圧による成長への影響を見ることとしています。

目的の成長特性を調べるにあたって研究開始当初から行っているのは、主に成長解析と呼ばれる手法です。農学や植物生態学において用いられる手法で、生育期間中の葉面積変化や個体全体及び各器官の乾燥重量変化を測定・推定します。同化器官（光合成に用いられる葉）と非同化器官（葉以外、幹など）、また地上部と地下部といった部分ごとの成長量を比較することで、個体の成長における資源配分の特徴、すなわちその個体が成長する際にどこにエネルギーを使ったかという成長の様子

を分析することができます。加えて、葉面積あたりの炭素同化量といった、光合成などの生理学的な性質に関わるパラメータも計算することができ、成長解析はこれらそれぞれによる成長への影響を定量的に解析する手法といえます。本研究では、葉面積・乾重の測定及び増加量の推定に加え、クロロフィル蛍光測定による光合成活性の健全さの判定、また定点カメラの撮影画像による樹高（苗高）変化の解析、地際直径及び根長の測定を行い、特に樹木の成長の有様を知るのに必要となるデータを集めています。



▲乾燥試料（左から根、幹、葉）

今までに 0.75、0.50、0.30、0.20、0.10 気圧の 5 条件について各 1 回ずつの育成実験を行い、葉面積・乾重変化や樹高成長を解析してきました。これまでに得られている結果としては、低圧下で育成した個体に関しても光合成活性は正常であること、また低圧下で育成した個体を常圧下の個体と比較した際の傾向として①樹高の成長が早い ②厚く小さい葉をつけている ③幹の成長量が大い ④個体全体の乾重において地下部の乾重の占める割合が大い といったものが見られること等です。0.1 気圧での育成においてのみ、葉に褐斑が出る、樹高伸長速度が著しく低下する等の成長不良が見られました。

これらの結果から分かるのは、まだ低圧環境における樹木の成長の大まかな様子だけです。より詳細な現象を究明するためには、葉や幹の組織観察、更には元素組成や二次代謝産物の分析等、更なる調査が必要です。今後、引き続き行う低圧下での育成実験及び成長解析に伴ってどのような測定・観察を取り入れるか、学生チーム内でも相談しながら研究を進めています。

2022 年 4 月開講：2 つの市民講座

2022 年 4 月より、SIC 有人宇宙学研究センターの講師が中心となって、二つの新たな市民向け講座がスタートします。ぜひご参加ください。

2022 年度京カレッジリカレント教育プログラム「宇宙移住の現在・未来について」

2022 年 5 月から 8 月にかけて、現在の教養講座のシリーズで、「宇宙移住の現在・未来について」と題した講演を行うことを予定している。講座は全 8 回で、有人宇宙飛行や、月・火星への移住に関する最先端の知見を学ぶことを目的としている。各分野の代表がそれぞれのテーマについてオンライン形式で講演を行う。前半では、コアバイオームの概念を提唱し、その概念を、宇宙森林・宇宙海洋の学問的観点から掘り下げていく。さらに、宇宙に移住をするための条件や現状についても講演が行われる。個別のトピックとして、宇宙に社会を移住させる際には不可欠となる宇宙法や宇宙医学という観点からも議論を深める。

講義形態 オンライン

受講料 全8回 4000円

<https://www.consortium.or.jp/project/sg/recurrent>

大阪よみうり文化センター「学ント」シリーズ講義「火星に住もう！」

2022年4月から9月にかけて、「学ント」シリーズ講義の一つとして、住友林業及び鹿島建設の支援のもと、6回の講義を行う。教室とオンデマンドでのハイブリッド形式の講演を行う。土井隆雄・京大大学院総合生存学館特定教授（宇宙飛行士）をはじめ、第一線の専門家が講演を行う。例えば、住友林業と京都大学が共同で進めている木造人工衛星のプロジェクトや、鹿島建設が協力して進めている火星への移住の際には欠かせない人工重力装置の知見などが議論される。

講義形態 対面およびオンライン

受講料 1回につき1000円

詳細 URL

<https://www.oybc.co.jp/mananto/>

<https://passmarket.yahoo.co.jp/event/show/detail/010ydw7xb721.html>

イベント紹介

「国際宇宙産業展 ISIEX ZONE」

（「2022 国際ロボット展」 併催特別企画展示）に鹿島建設ブースとして出展

<https://www.kajima.co.jp/news/event/2022isieux.html>



3月9日（水）～12日（土）の4日間、東京ビッグサイト（東京都江東区）で開催される「国際宇宙産業展 ISIEX ZONE」（「2022 国際ロボット展」 併催特別企画展示）に鹿島建設ブースとして、人工重力施設「ルナグラス」「マースグラス」を出展します。SIC 有人宇宙学研究センターは本展示にて、共同出展で月面・火星でのVRの紹介等を行っています。

本展示会は、世界最大規模のロボット専門展である「2022 国際ロボット展」の併催特別企画展示として、宇宙開発事業に特化したロボットや製品・様々なサービスを集めた展示コーナー・ステージイベントが開催されます。月面や火星での宇宙建築、特に人類の宇宙進出に欠かせない可能性を秘めた人工重力施設や、地球での気球を利用した浮遊型スペースポート構想について紹介しています。

研究紹介

有人宇宙学講義 土星第 6 衛星 タイタン観光

-150 人の住む社会を作るためには-

京都大学 工学部地球工学科 松岡勇樹

京都大学大学院 人間・環境学研究科 金田伊代

1 はじめに

1.1 有人宇宙学講義

有人宇宙学とは、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－宇宙を繋ぐ学問である。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を自然科学的・人文社会科学的に幅広い学問分野の融合から探求することを学ぶ。¹⁾

本講義では、天体ごとに班に分かれ、「宇宙を知る」、「宇宙を生きる」、「宇宙を考える」、「宇宙を作る」の 4 段階を経て、ダンバー数²⁾に基づいた 150 人の小社会を構想した。我々は小社会の場所として土星の第 6 衛星タイタンを選択し、タイタンの環境やタイタンでの生存方法、社会と文化、タイタン小社会の全貌について検討し設計を行った。

1.2 タイタン研究の経緯

タイタンは 1655 年にオランダの天文学者クリスティアン・ホイヘンスによって発見され、地上から観測されていたが、1980 年、2004 年に NASA の探査機が探査を行っている。

タイタン研究に関しては、惑星科学者であるアテナ・クステニスが第一人者とされ、多くの著作を著している³⁾。日本語の文献では、多くが概説にとどまり、関根康人による『土星の衛星タイタンに生命体がいる！』⁴⁾が詳しいものの、社会を構成するところまでは描かれていない。一方、宇宙惑星居住科学の分野では、宇宙に人類の長期居住を目指す研究が行われているが、タイタンでの研究はなされておらず、本稿のようにタイタンを舞台に観光を主目的として 150 人の小社会を構想するという研究は新たな試みとなる。

1.3 なぜタイタンを選んだのか

タイタンは原始地球に近い環境を持ち、生命体が存在する可能性があることから注目され、探査機が送られ調査・研究がなされている。そのため、比較的自然環境に関するデータの入手が可能で、小社会の設計の議論がしやすいこと、タイタンから見える土星の満ち欠けの光景に魅力を感じたことが選択の決め手となった。

タイタンは、宇宙空間で希少なメタンや水などを豊富に有し、また太陽系外縁部に位置するため、資源・エネルギーの採掘や系外探査拠点、研究など多くの可能性を秘めた天体である。その中から、我々は土星が見えることやタイタンの環境に着目し、観光を主目的とした小社会を構想するに至った。

2 タイタンの紹介(宇宙を知る)

2.1 基本情報

タイタンは土星の最大の衛星で、太陽系内では木星衛星ガニメデに次いで 2 番目に大きな衛星である。大気があり、それが地球大気圧に近い 1.45 気圧であるという点、平均気温が -179°C と低温であるため、メタンが気体、液体、固体の三態で存在することで降雨が起こり、地表に安定した液体が存在するという点が特徴的である。重力は地球の約 $1/7$ 倍と小さい。また、タイタンでの 1 日の長さは約 16 日(地球時間)と長く、土星重力によって自転周期と公転周期が同期しているため、常に同じ面を土星に向けている。

表 1 タイタンの基本データ

項目	数値	比較
直径	5150 [km]	月の 1.48 倍
密度	1.88 [g/m^3]	地球の約 $1/3$ 倍
重力	1.352 [m/s^2]	地球の約 $1/7$ 倍
土星の軌道半径	9.54 [au]	地球の軌道半径の 9.54 倍
平均気圧	1.45[気圧]	
平均気温	-179°C	
公転周期	15.9 [day]	
自転周期	15.9 [day]	
地軸の傾き	1.94 [$^{\circ}$]	地球の地軸の傾きは約 23.4°
離心率	0.292	

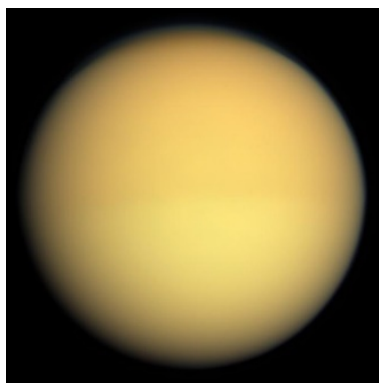


図 1 タイタンの赤外線画像⁵⁾

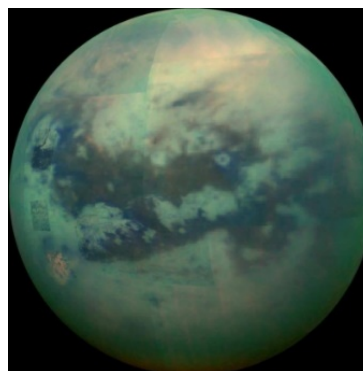


図 2 探査機が撮影したタイタン⁶⁾

2.2 気候と地形

タイタンは地軸が傾いているため季節が存在する。夏には極域において液体メタンが蒸発してメタンの大雨が降り続けるが、一方で赤道地域では夏極が逆転する春分と秋分以外は降雨量が少なく乾燥している⁴⁾。そのため極域にはメタンの湖が形成されており、赤道付近には固体炭化水素の砂漠や砂丘が広がっている。⁴⁾

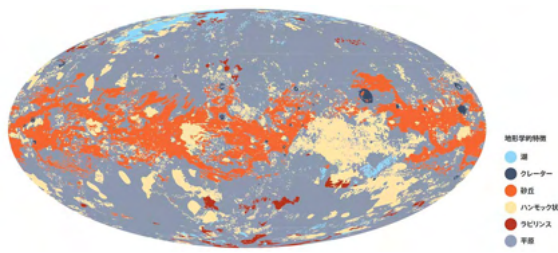


図 3 タイタンの地形分布⁷⁾

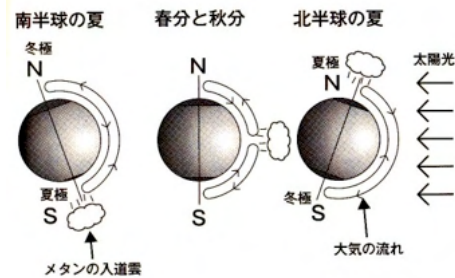


図 4 タイタンの季節⁴⁾

3 タイタンでの生存方法(宇宙を生きる)

3.1 水・空気生成

タイタンは水氷の地殻で覆われており、地下 50km～200km ほどに帯水層がある⁸⁾。また、帯水層からアンモニア水和物が噴出している可能性が指摘されており⁹⁾、人間の生存に不可欠な水は地殻の水氷や帯水層の噴出から豊富に入手可能である。

大気組成は約 97%が窒素で 3%がメタン¹⁰⁾であり酸素が含まれていないことから、水を電気分解することで酸素を生成する。一方、大気中の酸素の割合が上がると酸素濃度や酸素分圧が上昇し、火災や酸素中毒が発生する危険性がある。そこで、タイタン大気中の窒素とメタンを分離(例えば、ガスの吸着容量の差を利用する PSA 法¹¹⁾)することで窒素を生成する。居住施設内の空気中の酸素の割合を下げるために、窒素を加える。

3.2 発電方法

人間の生存や社会の成立には、エネルギーが不可欠であるが、タイタンでは、水力・火力・太陽光・地熱・核融合などが発電方法の候補として挙げられる。その中で、タイタンの特徴を生かした持続的なエネルギー源として、潮汐発電と空中風力発電が有用であると考えた。

タイタンの公転軌道は楕円であるため、重力の差から液体メタンの湖に 4m 程の潮汐が発生する¹²⁾。メタンの湖に貯水池を作り、満潮時の貯水・干潮時の放水の際に発生する水流を用いてタービンを回すことで潮汐力を利用して発電する。

また、地上での風速は非常に小さい($\sim 0.2\text{m/s}$)¹³⁾が、上空では比較的大きい(高度 3km で $\sim 2\text{m/s}$ 、高度 40km で $\sim 20\text{m/s}$)^{14),15)}。そのためタービンを空中に浮上させ、上空の風力を利用する空中風力発電も有用であろう。

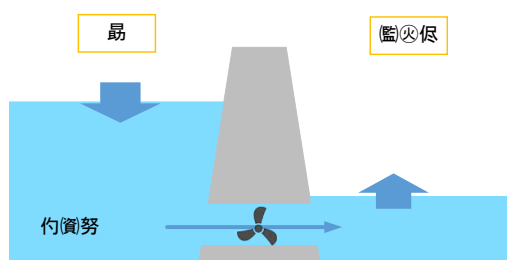


図 5 潮汐発電の仕組み



図 6 空中風力発電の実証実験の様子¹⁶⁾

3.3 食料調達

食料の調達法として、野菜の水耕栽培と産業用大麻(ヘンプ)の栽培を考案した。タイタンでは土の土壌化が困難である一方、水耕栽培は宇宙開発での実用化にむけた研究が進められており、適用可能であると考えた。また、生育速度が速く、環境適用性が高く、食用のみならず燃料や建材、繊維など多様な用途に使用できることから、産業用大麻は有用であると考えた¹⁷⁾。また、タイタンで採掘できる水や、存在可能性のある微生物を利用し、ご当地グルメとして酒やパン、チーズなどの発酵食品を作り、観光に活用する。

4 タイタンの社会と文化(宇宙を考える)

4.1 タイタン小社会の前提条件

タイタン小社会は、不定期に希望者の帰還、訪問、永住も可能とする。言語や国籍、人種は問わないため、子供から高齢者まで幅広い年齢層の様々な構成員から成る。

4.2 タイタンで考えられる観光

タイタン小社会の主目的は観光であるが、タイタンでどのような観光資源があるかを表 2 に示す。

表 2 タイタンの観光資源

項目	内容
土星観測	土星の満ち欠けを観測
飛行	大気が厚く、重力が低いため、簡単に飛行体験が可能
サーフィン	メタンの湖を活用したマリンスポーツ
散策	与圧服が必要なく、容易に外出可能
遊覧飛行	大気があるため、飛行機やドローンが飛行可能
冠婚葬祭	結婚式や葬式、通過儀礼
土星の観光拠点	土星や、他の土星衛星へ観光する際の拠点

4.3 職業・仕事の内訳

150 人でタイタン小社会を運営するために、構成員の職業・仕事の内訳を考えた(図 7)。職業を考える上で、業務内容に応じて「運営」、「生存」、「社会」、「観光」の 4 部門を設定し、人数の振り分けを行った。

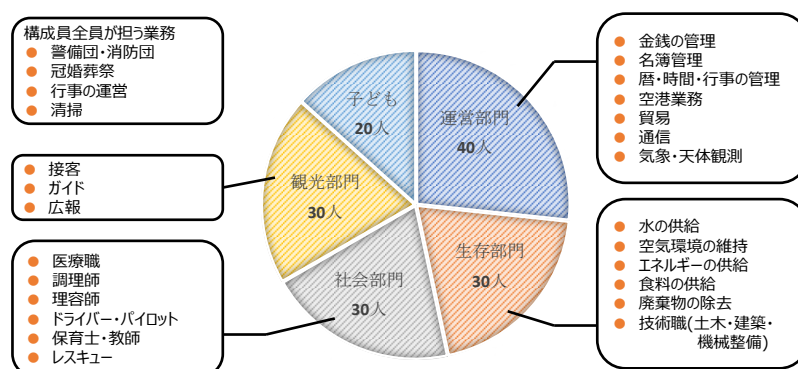


図 7 タイタン小社会の職業・仕事の内訳(計 150 人)

4.4 組織とルールの仕組み

タイタン小社会は、上下関係がなく対等（ホラクラシー）な円環構造の組織を構想した(図8)。150人規模であれば直接民主制が可能であるが、各人の専門性を最大限生かすため、直接民主制ではなく、各部門から選出された代表者が話し合うことで、小社会のルールや資源配分などを決定する仕組みとする。権力の集中を避ける目的で、各部門の代表者をくじ引きや輪番制により定期的を選出する。また、緊急時には迅速な意思決定が必要であることから、代表者の中から緊急時の意思決定者を定める。この意思決定者は、行事や冠婚葬祭での取りまとめも行う。

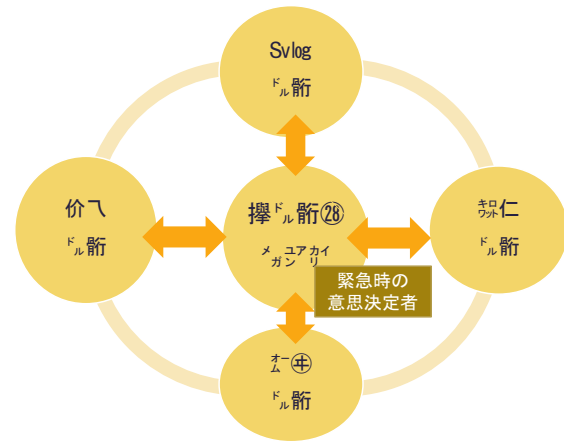


図 8 タイタン小社会の組織構造

4.5 タイタン通貨(TATAN)

タイタンでの物資の売買や地球に帰還した後の生活を可能にするために、構成員に仕事の対価として通貨を支払う。観光客が用いる通貨が異なると、同じ観光資源を提供してもその価値が異なってしまうことから、独自の通貨を導入することでその価値を統一する。また、特定の国の通貨を用いないことで、その国の干渉を避けることができる。

通貨の流通量をコントロールするために、タイタン中央銀行をつくり、各部門の代表者が通貨発行権をもつ。また、外国為替取引により地球の通貨と交換する方法を取る。

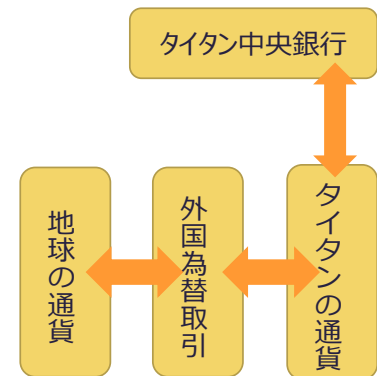


図 9 タイタン通貨流通の仕組み

タイタンの通貨は「タイタン（TAITAN）」の名称から取って「TATAN(タタン)」と名付けた。通貨名はいくつかの候補のうち、呼びやすく、俗語ではないものを選定した。

4.6 埋葬の方法(タイタン葬)

もし将来、科学技術が進歩して人間が永遠に生きられるようになったとしても、人類は発展し続けることができず、いずれは衰退していってしまうであろう。人類の発展のために個体の死と次世代への継承が不可欠であり、タイタンでは永住も想定していることから死後の埋葬方法について考えた。埋葬法は地球で行われている中から、タイタンの環境に適した方法を抽出した。

表 3 タイタンでの埋葬方法

埋葬法の名称	方法
土葬	地球上で伝統的な方法。タイタンの岩石部に埋める。
水葬	日本では船舶の航行時、インドではガンジス川で行われている。人体はメタンよりも重いので、タイタンではメタンの海に沈む。
火葬	火葬炉を作り、酸素を使用して焼却する。

冷凍葬 (プロメッション)	スウェーデンの企業が開発した技術 ¹⁸⁾ 。タイタンでは、遺体を外気に曝して凍らせ、もろくなった状態で粉砕して土に還す。
堆肥葬 (コンポスト葬)	アメリカの一部の州で合法化。遺体をウッドチップなどと共にゆっくり回転させ、微生物の力で1か月くらいかけて堆肥にする ¹⁹⁾ 。
冷凍保存 (クライオニクス)	血液を不凍液と入れ替え、-196℃で保存する。 未来の医療技術の発展に望みをかけ、蘇生する技術が開発された時点で解凍、治療しようとするもの。
土星葬	遺骨を地球大気圏に突入させる宇宙葬のように、土星大気圏に打ち上げて燃焼させる。土星探査機カッシーニの最期でもある。

4.7 タイタン暦（土星太陽暦）の考案

タイタンは土星を周回する衛星であるが、土星が太陽のまわりを回る公転周期が約 30 年（地球時間）、タイタンの自転周期が約 16 日（地球時間）と、地球に比べてはるかに長い。そこで、月の満ち欠けを周期とした太陰太陽暦を援用し、土星の満ち欠けを基準にタイタン暦（土星太陽暦）を新たに考案した。

「1 回の土星の満ち欠け=1 タイタン土星」とし、「土星公転周期=1 タイタン年」とする。タイタンには季節が存在するため、1 タイタン年を春夏秋冬に分け、1 タイタン季節から 1 タイタン土星までの間が長すぎることから間に新たに「節気」という単位を設ける。この



図 10 タイタン暦の概念図

暦は全て 13 の倍数で構成される仕組みとなっている。また、1 タイタン日が 26 時間あり、地球時間の約 29 時間に相当する。地球に比べ、スケールが大きく時間がゆるやかに流れるタイタンに滞在することで、時間や効率に追われた地球人に、自身の生活や時間の概念自体を見直す機会を提供することができる。

表 4 タイタン暦の仕組み

タイタンの暦		土星の満ち欠け	地球暦への換算
1 タイタン年	=4 タイタン季節	67 回(=169×4)	約 30 年
1 タイタン季節 (春・夏・秋・冬)	=13 タイタン節気	169 回(=13×13 回)	約 7.4 年
1 タイタン節気	=13 タイタン土星	1 回(=1×13 回)	約 6.8 か月
1 タイタン土星	=13 タイタン日	1 回	約 16 日
1 タイタン日	=13×2 タイタン時間		約 1.2 日(約 29 時間)
1 タイタン時間			約 1.1 時間

5 タイタン小社会の全貌(宇宙を作る)

5.1 タイタン小社会の居住区

タイタンは極域では大雨が降り、赤道地域では砂漠が広がるため、比較的穏やかな気候である中緯度で小社会の居住区の場所を選定する。また、常に同じ面を土星に向けているため、土星が見える表側とする。さらに、降雨による浸水を避け、景観を楽しめるよう居住区は地下ではなく地上の高台に建設する。タイタンでは大気が厚いため放射線や隕石の危険性が少ないことから、地下に居住区を作る必要性がないと考えた。

構成員の増加に伴う小社会の拡大を見越し、建物は巨大なドームでなく小型構造物群とし、それぞれの施設や住居を個別に作る。建物を小型にすることで生存環境維持にかかるエネルギーを節約し、火災や感染症拡大を防ぐ。タイタンの外気は 1.45 気圧であるため、与圧服なしでこれらの建物群を移動することができるという利点がある。また、外気には、猛毒のメタンが含まれるため、建物の内部の気圧を外気よりやや高くすることにより、屋内へのメタンの流入を防止する。さらに、タイタンにはメタンの雪が降るため、屋根に傾斜をつけることで、積雪による建物の損傷を防ぐ。加えて、昼と夜が 8 日(地球時間)続くため、ブラインドや照明を使い昼夜を管理する。

建物は中央に中心施設を据え、まわりにそれ以外の施設を配置する。生存に関する施設は災害に備えて分散させる。

5.2 中心施設の役割

都市の形はその中に住む者の精神に影響を与えると指摘される²⁰⁾ことから、コミュニティにとって主要な施設を小社会の中心に集約した。中心施設は観測・通信施設、時計台、代表者の会議場、中央銀行、構成員の集会所、行事や冠婚葬祭の会場などを兼ねている。タイタン小社会にとって、土星や気象観測、地球や他の天体との通信が重要になることから、建物は天文台のような形状で機能的な役目をしているとともに、小社会の中心にあることでコミュニティへの帰属意識や団結力を高め、構成員の精神的な拠りどころとしての機能も果たすと考えた。

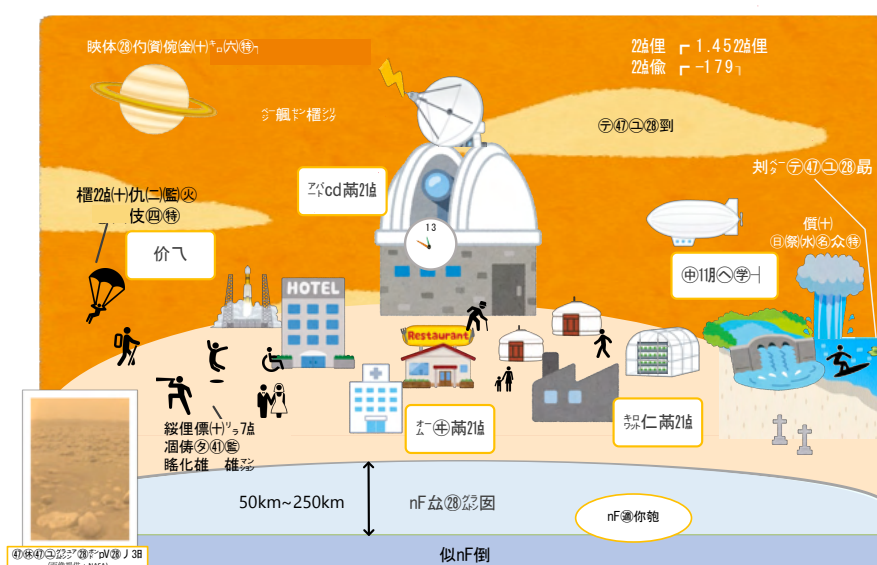


図 11 タイタン小社会のイメージ図

6おわりに

今回、観光を主目的として、タイタンの中緯度に、ダンバー数をもとにした 150 人規模の小型の建物群で構成される小社会を構想した。

タイタン小社会における人間の生存基盤として、地殻の水氷・帯水層からの水の採掘や、水の電気分解による酸素の生成、大気からの窒素の獲得、土星重力による潮汐力や上空の風力を利用したエネルギー発電、水耕栽培や産業用大麻の栽培、タイタンの微生物を利用した発酵食品といった食料の調達法を考えた。タイタン小社会の構造や文化として、職業ごとに 4 部門に分け、上下関係がなく、各自の専門性が生かせる組織を構想した。また、権力の集中を避けるためにくじ引きや輪番制によって選出された代表者らによるルール設定、小社会と構成員が経済的かつ、地球からの干渉なく自立するための新たな通貨の発行、タイタンの環境に適した埋葬法、タイタンから見た天体の運行に即した暦を考えた。

タイタン小社会の居住区は、気候が比較的穏やかな、中緯度の地上に定める。建物は小型構造物とし、施設や住居を個別に作る。また、建物の配置が構成員の思想や行動に影響を及ぼすことから主要な施設を中心に集約し、コミュニティへの帰属意識や構成員の精神的な拠りどころとしての機能も果たす。

タイタンにはこれまでに探査機が調査に行っているものの、未解明なことが多い。さらに、地球から距離が遠く、大気には有害物質が存在し、酸素がなく、超低温であり、食料が存在しない環境である。そのため、タイタンに人類が生存可能な小社会を作るとは、現在の技術では困難がある。また、実際には、まず数名で渡航し、徐々に拡大していくことが予測できるが、今回は経時的な変化は考慮せず、基本的に現在の科学技術の延長線上で小社会を想定した。

タイタン暦では、1 日が約 29 日（地球時間）となり、1 日が 24 時間という地球の固定観念が覆され、時間や暦の概念自体が再構築された。このように、人類の宇宙進出は我々が当たり前享受している自然環境や社会システムの成り立ちや仕組み、有用性などを再考する契機となり、地球文明の発展につながる新たな視座を与えることになるであろう。

参考文献

- 1) 京都大学 有人宇宙学シラバス
- 2) Dunbar, R. I. M.: Neocortex size as a constraint on group size in primates, *Journal of Human Evolution*, 22 (6), 469–493, 1992.
- 3) 例えば Counstenis, A. et al, “Titan: Exploring An Earthlike World (2nd Edition)”, *World Scientific*, 2008.
- 4) 関根康人『土星の衛星タイタンに生命体がいる！』小学館, 2013.
- 5) NASA/JPL/University of Arizona/University of Idaho, <http://photojournal.jpl.nasa.gov/jpeg/PIA2>, (2022-2-28 閲覧).
- 6) NASA/JPL/Space Science Institute, <https://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA11603>, (2022-2-28 閲覧).
- 7) Lopes, R.M.C. et al.: A global geomorphologic map of Saturn’s moon Titan,

- Nat Astron*, 4, 228–233, (2020).
- 8) Fortes, A.D.: Titan's internal structure and the evolutionary consequences, *Planetary and Space Science*, 60(1), 10-17, 2012.
 - 9) Mitria, G. et al.: Resurfacing of Titan by ammonia-water cryomagma, *Icarus*, 196(1), 216-224, 2008.
 - 10) 鴈 宏道『木星・土星ガイドブック』恒星社厚生閣, 2022.
 - 11) 富岡孝文ら：メタン・窒素分離 PSA 技術, 太陽日酸技報, No.33, 2014.
 - 12) Tokano, T.: Simulation of tides in hydrocarbon lakes on Saturn's moon Titan, *Ocean Dynamics*, 60, 803–817, 2010.
 - 13) Tokano, T.: Near-surface winds at the Huygens site on Titan: Interpretation by means of a general circulation model, *Planetary and Space Science*, 55(13), 1990-2009, 2007.
 - 14) Tokano, T.: The dynamics of Titan's troposphere, *Phil. Trans. R. Soc. A*, 367, 633–648.
 - 15) Hendrix, A.R. et al.: Energy Options For Humans on Titan, *Journal of Astrobiology and Outreach*, 5(2), 2017.
 - 16) Wired: 300m 上空に浮かぶ風力タービン, 実証実験へ, 2014, <https://wired.jp/2014/03/31/altaeros-wind-turbine/>, (2022-2-28 閲覧).
 - 17) 大麻博物館『大麻という農作物：日本人の営みを支えてきた植物とその危機』大麻博物館,
 - 18) Promessa, 2020, <https://www.promessa.se>, (2022-3-6 閲覧).
 - 19) Recompose, <https://recompose.life>, (2022-3-6 閲覧).
 - 20) 多賀 茂『アイデアと制度』名古屋大学出版会, 2008, p. 123.

京都大学大学院総合生存学館

SIC 有人宇宙学研究センターロゴ募集

募集要項

2022 年 1 月より、SIC 有人宇宙学研究センターでニュースレターを発行することとなりました。それに伴い、SIC 有人宇宙学研究センターのロゴの募集をいたします。SIC 有人宇宙学研究センターは、以下のように、五つの研究領域があり、各々が研究活動をしています。



これらを踏まえたロゴを募集いたします。その後、募集したロゴをニュースレター編集会議にて決定いたします。

応募期日：2022/3/14(月)

応募方法：tsutsui.ryosuke.26e@st.kyoto-u.ac.jp まで、氏名、所属とともに送ってください。

結果発表：SIC 有人宇宙学研究センターの公式 Twitter にて発表いたします。

問い合わせ：tsutsui.ryosuke.26e@st.kyoto-u.ac.jp

木造人工衛星学生開発チーム 菊川祐樹 筒井涼輔

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：菊川祐樹 筒井涼輔

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