

SIC 有人宇宙学研究センター NewsLetter 2023年1月号 No.13

宇宙木材研究室の活動

2023 年を迎えて

土井隆雄

2020年に京都大学大学院総合生存学館にSIC有人宇宙学研究センターが設立された。その中のひとつの研究室が宇宙木材研究室である。宇宙木材研究室は宇宙で木材を利用する可能性を探究するのが目的であり、大きく分けて3つの活動をしている。

一つめは、住友林業株式会社と共同で世界初の木造人工衛星：LignoSat1号機（図1）を開発していることだ。木造人工衛星は木が宇宙で使えることを実証することをめざしている。木を宇宙で使うというと奇異に思われる方が多いと思うが、実は木は宇宙で使うのに非常に適していることがわかってきた。木は現在の人工衛星構体の材料に多用されているアルミニウムよりも比強度（単位重量当たりの強度）が大きく、また軽量で断熱性が高い。工作も比較的容易で安価でもある。一番大きな利点は、宇宙には雨も木を食べる昆虫も腐らす細菌もないため、非常に長持ちすることだ。また、低軌道を回る人工衛星は運用が終わると宇宙ゴミを出さないために地球大気圏に再突入するように作られているが、アルミニウムは大気中の酸素と結合して酸化アルミニウム（アルミナ）の微粒子になり、長期間大気圏を漂う。即ち、アルミニウム製の人工衛星は大気汚染をしているのだ。木造人工衛星は大気中の酸素と反応して水蒸気と二酸化炭素に戻るだけで、地球環境に優しい衛星でもある。私たちは木造人工衛星1号機を2023年度中に打ち上げることをめざしている。



図1 LignoSat1号機構体

二つめは、低圧下での樹木の育成実験だ。月や火星で木材を使うために、地球から木材を運ぶのでは運賃が膨大になってしまう。もし、月や火星で樹木を育てることができれば地産地消が実現できる。そのため私たちは、火星環境（0.01 気圧、二酸化炭素大気）で樹木を育成するための育成法の研究を行っている。現在までの予備実験では、樹木としてポプラを用い 0.2 気圧の低圧環境下でポプラの育成に成功している。0.2 気圧というと地表 12,000 メートルの高度に相当している。日本の森林限界は標高 2500 メートル程度であると言われている。森林限界は標高が高なるにつれて低気圧になるから起こるのではなく、気温の低下により光合成ができなくなることに起因していることがわかる。2023 年度は火星環境での育成をめざして、さらに低圧での樹木育成実験を行う予定である。

三つめは、将来の宇宙開発を推進していく若い人材の育成である。上に述べた二つの研究開発は、宇宙木材研究室の所属する学生チームによって進められている。学生チームが主体的に研究計画を立て実験研究を進めて行けるように教職員が全面的にバックアップしている。さらに宇宙木材研究室では、前期に学部生を対象とした短期有人宇宙ミッションを模擬した ILAS セミナー：有人宇宙学実習を実施し、後期には大学院生を対象とした有人宇宙学講義を行っている。有人宇宙学講義は 150 人が暮らす小社会を宇宙に設計せよという演習も実施され、考案された宇宙社会のポスターは宇宙ユニットシンポジウムで発表される。また、2023 年 3 月には日本で初めての宇宙木材利用シンポジウムを京大で開催する予定である。（土井隆雄 記）

12 月の活動

学ント「火星に住もう」 Season 2 講演

SIC 有人宇宙学研究センターとよみうりカルチャー-OSAKA（大阪よみうり文化センター）は、月 1 回、京都市内の読売京都ビルで来場 & オンデマンド配信による学ント「火星に住もう！ Season 2」を開講している。人類の宇宙進出に向けた研究開発や課題について、SIC 所属講師らが教壇に立つ人気講座で、11 月は Synspective 経営企画室 CEO 補佐の浅田正一郎氏が、ベンチャーを含め日本の宇宙開発企業の多さを語り、衛星の小型化やビックデータと AI 活用の具体例を紹介。現在、40 兆円の宇宙市場は 20 年後、100 兆円に急成長する話で会場を驚かせた。12 月は宇宙総合学研究所ユニット特定准教授の寺田昌弘氏が、宇宙医学の視点から宇宙環境と地上で人体への影響、反応の違いを紹介。無重力で筋力低下が問題視される中、熊は冬眠後も筋肉委縮をしていない実例を挙げ、研究を進めるうえで参考になるのではないかと話した。

講座は 3 月まで続く。1 月 15 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・慶応大学大学院法務研究科教授、2 月 19 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所教授、3 月 19 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。いずれも日曜午後 1 時～2 時 30 分。申し込みは、よみうりカルチャー-OSAKA の HP [よみうりカルチャー-OSAKA|オンライン講座 学ント](https://www.ync.ne.jp/osaka/mananto/kouza/202210-18010017.htm)

(<https://www.ync.ne.jp/osaka/mananto/kouza/202210-18010017.htm>)

(山敷庸亮 記)

京都府立植物園見学会

2022年12月3日(土)

2022年12月3日(土)、宇宙木材研究室の有志が集まり京都府立植物園を見学した。見学会を主催したのは京都府立大学名誉教授の池田武文先生である。池田先生は宇宙木材研究室の低圧下での樹木育成実験を指導されている。京都府立植物園は、1924年に開園された日本で一番古い公立植物園である。広さは24ヘクタールに及び園内に12,000種の植物・樹木が生育している。樹木のことを学びたいならば、一番は訪れたい場所である。

今回の見学会には、宇宙木材研究室の学生・教職員・家族の総勢13人が参加した。天候は快晴で見事な青空が広がり、植物園内は紅葉している樹木であふれ、素晴らしい時間を過ごすことができた。私が今回習ったのは、京都市内に見られる代表的なモミジには3種類あること：イロハモミジ、ヤマモミジ、オオモミジだ。クロマツの針葉はやわらかいこと、そして宇宙ザクラがあることだ。

池田先生から今の石炭を取りつくしてしまうと地球では新しい石炭はもう取れないということを聞いて驚いた。石炭は今から3億から3億数千万年前に栄えた樹木が分解されないで地中に堆積して作られたと考えられている。その当時はまだ樹木を分解する微生物が現れていなかったのだ。しかし、現在ですでに樹木を分解する微生物が存在するために、樹木が分解されずに地中に堆積することはないのである。(土井隆雄 記)



2022年12月3日 京都府立植物園にて (撮影：辻廣智子)

COM 班筑波大学訪問

LignoSat COM 班

LignoSat の COM班の清田と野間の 2 人が、12 月 11 日に LignoSat2 号機に使用する予定のパッチアンテナの仕様確認と今後の展望の為に、すでに筑波大学の「結」プロジェクト内で使用されている超小型アンテナの質問や施設見学を行った。現在開発中の LignoSat は 1U であるが、2 号機では 2U（図 1）になり、アンテナもパッチアンテナへ変更される予定である。

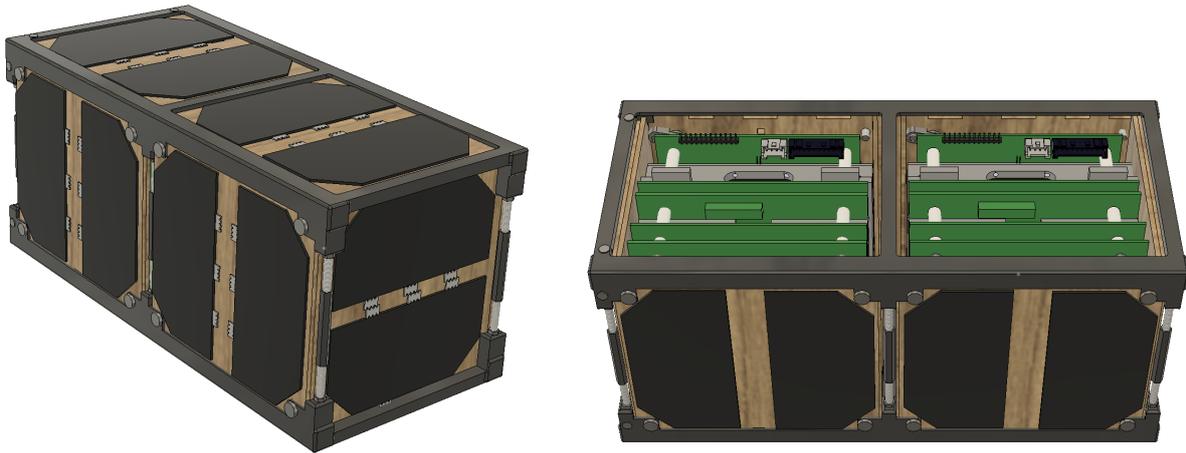


図 1 LignoSat2 号機のイメージ図

訪問先では「結」プロジェクトチーム代表の吉門秀樹様を中心に結プロジェクトの皆様が対応してくださいました。主に結プロジェクトの紹介から、超小型アンテナで使用しているシミュレーターや実装までの経緯など 20 以上の質問に丁寧に回答してくださいました。その後は結プロジェクトで超小型アンテナの性能を評価する際に使用した実験設備を見学し、実験のアンテナ運用で用いたプログラムやアンテナ設計で使用したプログラムの共有をしていただいた。これらのデータを基に今後は 2 号機のアンテナ取付位置から全体のシステムへの適用、変更点のまとめなどを行っていく。2 号機の打ち上げは 2016 年春になる予定である。（野間隆寛 記）

木造人工衛星 LignoSat

アドニクスとの COM 基板試験報告

木造人工衛星 LignoSat 設計チームから、打ち上げに向けて 12 月に実施した COM 基板試験についてご紹介します。LignoSat では宇宙空間にいる人工衛星と地上局との通信を行う COM 基板があるのですが、こちらが正常に動作していない可能性があるということで、製造会社の株式会社アドニクスの小島氏をお迎えして、COM 基板及び地上局設備の動作確認を行いました。具体的な不調要因は、基板を動作させる際に理論値よりも大きな電圧電流出力になってしまっていたことです。

小島氏が持ってきてくださった試験用の基板を使用して出力電波を確認したところ、正常な波形が得

られました。具体的には通信系には CW 通信とパケット通信の 2 つがあり、衛星の基本的なデータを CW 通信で、衛星内の詳細のデータがパケット通信で行われます。その中でもパケット通信が成功していなかったのですが、図 1 に示されるように実測波形と理論波形がほとんど一致する結果を得ることができました。以前九州工業大学へ検品した際は動作不調でしたので、現在原因を調査中です。

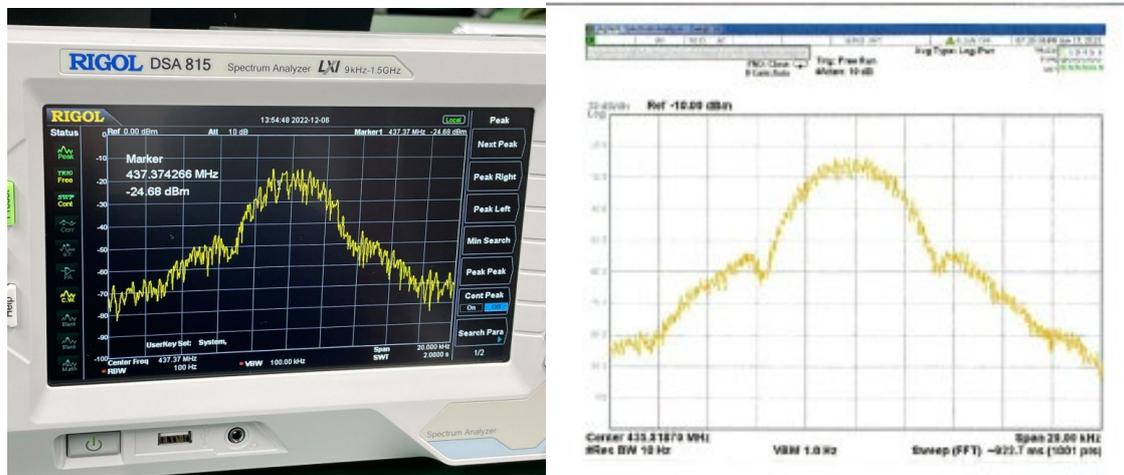


図 1 実測波形（左図）と理論波形（右図）

さらに地上局の確認も行ってくださり、基板から送信された電波を地上局でデータとして変換する機構の確認をしたところ、地上局部分の不調が確認できました（図 2）。製造会社の方が来ることによって多くの問題が解決した非常に有意義な時間でした。今後は基板を使用した全体評価のフェーズに入っていく予定ですので、今まで以上に動作確認を慎重に行いたいと思います。（菊川祐樹 記）



図 2 計測の様子

低圧下樹木育成プロジェクト紹介

Arduino 講習会 # 3

先月紹介した Arduino 講習会 # 2 の後半パートです。第 2 回後半では時間計測と LCD への出力について学びます。

時間計測

Arduino で温度、湿度、CO₂ 濃度以外に時刻も出力しておきたい場合があります。そのような場合は、時間を Arduino で取得して記録する必要があります。この章では、時間をどのように計測するかを学びましょう。ポプラ育成実験では、RTC（リアルタイムクロック）を用いて時間を測定しています。必要になるのはこのようなものです。

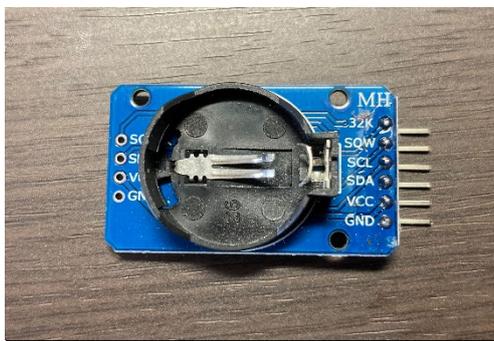


図 1 : RTC

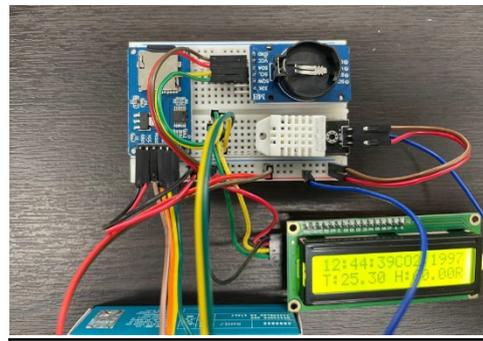


図 2 : Arduino KIT の RTC

それでは、この機器の使い方に移りましょう。参考になっているのは以下の HP です。

<https://101010.fun/iot/arduino-real-time-clock.html>

まず、以下のように配線を組んでください。「SCL」、「SDA」はシリアル通信の一種「I2C（アイスクエアドシー）通信」で使用される PIN です。

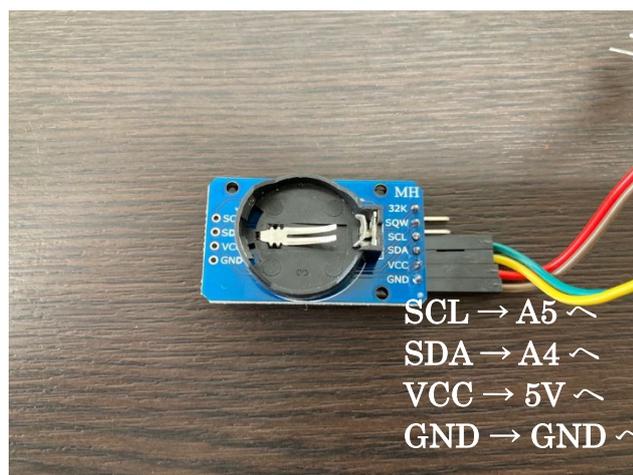


図 3 : RTC の配線

時間計測についてもライブラリがあるので有難く使わせて頂きましょう。次のようにダウンロードして下さい。

スケッチ → ライブラリをインクルード → ライブラリを管理 → 「DS3232RTC」で検索 → インストール（install all を選択）



図 4 : DS3232RTC のライブラリ

これで準備は完了です。それでは、実際に RTC を使っていきます。プログラム

「sketch_2_2_DHT_RTC_v1.0.ino」をダウンロードして見てみましょう。HPにあるプログラムとは少し変更があります。DS3232RTC.h の仕様が半年前あたりに更新されたようで、今ネットに出回っているプログラムではエラーが出る場合があります。（この資料を作っている私もその沼にハマりました。）ホームページのプログラムからは、最初の方を変更しています。

ここでこのプログラムのポイントをいくつかチェックします。最初の「setTime」で現在の時刻をセットします。記入する順番は、「時、分、秒、日、月、年」です。注意ポイントですね。ポプラ育成実験では、実験開始の日時や Arduino の不調を直して実験装置を再開させた日時を書き込むことになります。

loop の中身に移りましょう。時刻を取得する最初の 2 行はおまじないだと思って良いです。そしてその後の、「Serial.print」で年月日、時刻をシリアルモニターに出力しています。そして、1000ms 毎にこのループを繰り返しています。

それでは、このプログラムをコンパイルして書き込みましょう。そして、シリアルモニターを開くと、図のように、時刻（と温度湿度）が 1 秒ごとに出力されると思います。ポプラ育成実験では、時刻を LCD と SD カードに書き込んでいますが、やり方はほぼ同じです。（LCD は下の章、SD カードは次回扱います。）



図 5：シリアルモニターの様子

・LCD (Liquid Crystal Display)

まずは、LCD（液晶ディスプレイのこと）に時刻を出力しましょう。LCD への出力はそれほど難しくありません。ライブラリがあるので活用します。

スケッチ → ライブラリをインクルード → ライブラリを管理 → 「LiquidCrystal I2C」で検索 → インストール

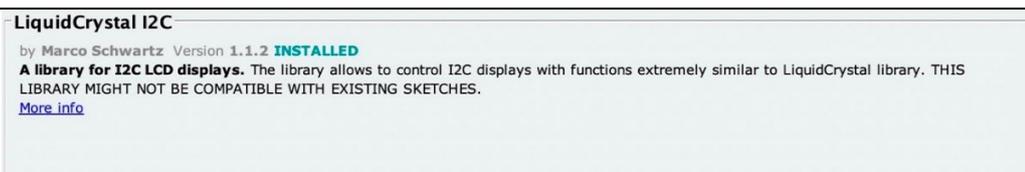


図 6：LiquidCrystal I2C

まずは回路を組んでいきましょう。

（今まで作成してきた、温湿度センサー等の配線はそのままだ）SCL は A5 へ、SDA は A4 へ、VCC は 5V へ、GND は GND へ接続しましょう。先ほどの RTC など配線の色を合わせるとわかりやすいですね。

配線は見本も参考にしなるべく綺麗に作成してみましょう。ポイントは、センサーと LCD で共通して使用する「A4」や「A5」をブレッドボード上に移してしまい、そこにセンサー類の配線を配置する点です。配線の細かい

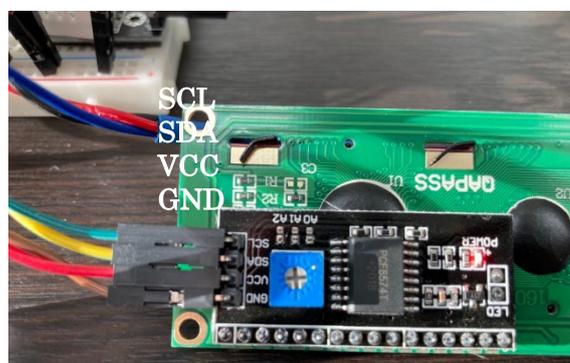


図 7：LCD の配線

部分は完成例を参考にしましょう。

参考プログラムは「`sketch_2_3_LCD_RTC_v1.0.ino`」です。このプログラムは、時刻だけを入力する本当にシンプルなものです。ダウンロードして見てみましょう。

プログラムの説明です。

`LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,16,2);` ポプラ育成装置でも全く同じ仕様になっています。つまり、16 列 2 行の LCD を用いているということです。0x27 は通信の時に必要なアドレスだと思って下さい。基本的には、どの LCD も 0x27 です。

`lcd.setCursor(0, 0);` LCD の 0 列 0 行目にカーソルを持ってくるということです。線形代数の行列とは行と列の言い方が逆です。（線形代数では 1 行 1 列といいます、Arduino は 0 列 0 行と言いますし、行数列数は 0 から始まります。）実際に書き込みをしてみて、時刻が正しく表示されることを確かめて下さい。シリアルモニタも開いて同じ値が出力されていることを確かめるのもいいでしょう。

課題 1 プログラムの `lcd.setCursor(0, 0);` を変えてみて、どこに何が出力されるのか確認しましょう。また、年月日まで出力されるプログラムにしましょう。

課題 2 (**重要**) 時刻だけでなく、温湿度も LCD に出力してみましょう。（かなりポプラ育成装置の LCD 表示に近づいてきました！）

課題 3 (**余裕のある人向け**) 好きな出力を楽しみましょう。スイッチで出力を切り替えたりするのも良いでしょう。

※課題 2 の解答例：「`sketch_2_4_LCD_RTC_DHT_v1.0.ino`」

今まで作成してきたプログラムを合わせていけば作成可能です。配線は今までの講習で完成しているはずですね。（ぜひプログラムも自分で作成してみましょう！今までのプログラムをコピー&ペーストで繋ぎ合わせるだけで大丈夫ですが、自分でプログラムを書いてみると、エラーが出てくるものです...）

LignoSat 紹介

木造人工衛星学生開発チーム

MISSION 班

今回は LignoSat の MISSION 班の活動をご紹介します。今回は、MISSION 班が行っている、LignoSat のミッションの一つである、ひずみ測定を行う内部電子基板の Mission ボードの地上試験の概要についてご紹介します。Mission ボードの地上試験は、①外型の確認、②導通試験、③測定精度の試験、④宇宙環境試験、の大きく 4 つの項目からなります。

①の外型の確認に関しては、LignoSat の規定の外径に合うか、他の基板や配線との問題、重量などを確認いたしました。次に②の導通試験では、断線していないか、各種出力ができるか、などを確認いたしました。③の測定精度の試験では、ひずみ測定の精度を確認いたしました。測定データの線形性や時間、温度依存性などを調査し、この基板によるデータの信憑性の担保を行うとともに、次の基板への改善点を考えました。最後に④の宇宙環境試験では、熱サイクルや、振動試験、真空試験や、他基板とのノイズなどを調べます。



図 1 Mission ボード地上試験の様子

研究紹介

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長

皆さんは宇宙に進出するにあたって、何が障壁になると考えますか？我々が考えている二大障害が、低重力と宇宙放射線被ばくです。さて、その宇宙放射線被ばくはどのように予測、計測できると思われますか？まず宇宙に出ると、地上では全く問題にならない銀河宇宙線（GCR）による被ばくが大きな問題になります。火星表面では1日あたり 188-225 μGy [1]と測定され、コンスタントに降り注ぐ定常値が非常に大きな負荷になります。月面においては、1日あたりおおよそ 300 μGy 以上[2]という観測結果が示されています。GCR は太陽活動とは負の相関関係があると言われており、太陽活動期には弱くなるとされています。この恒常的な GCR による被ばくから適切に守るのが宇宙における被ばく回避の第一歩ではありますが、これとは別に、太陽活動期には太陽面での爆発現象が発生した際、コロナ質量放出（CME）に伴う太陽高エネルギー粒子（SEP）が地球月、あるいは火星を直撃すると、これらよりもはるかに恐ろしい被ばくがもたらされます。この SEP に伴うそれぞれの惑星での被ばく量と、その発生確率をおおよそ予測し、さらに言えば、実際にこれらが発生した際の経路と予想到達時間などを適切に予測し、その回避措置を行うことが宇宙開発においては非常に重要であると考えられます。

我々のグループ[3]では3年前より、航空機被ばくに本モデルを適用し、合計7つの代表的な空路と、2000年以降に発生した SEP に伴う地上レベル上昇イベント（GLE）による四次元放射線空間データを用いて、一回の飛行で 1mSv に、またある1時間の間に 80 μSv に達する確率をそれぞれ計算しました。それによると、被ばく線量低減対策が必要となる太陽フレアの発生頻度は、積算線量（1mSv）は47年に1度、また、最大線量率（80 $\mu\text{Sv}/\text{h}$ ）は17年に1度と試算されました。

また同時に、太陽での発生確率の推定をもとに、他の恒星でもフレアの発生確率を推定することができれば、その恒星を周回するハビタブル惑星の想定被ばく量が推定できると考えました。その成果が2019年に発表された論文 (Yamashiki et al. 2019 ApJ) [4]です。この論文においては、それぞれの特徴的なハビタブル惑星における、1年に1回発生する規模のスーパーフレアに伴う被ばく量を推定しました。

さて、これらの恒星においては、太陽よりもはるかに激しいスーパーフレアが発生することが考えられます。現在までに太陽系で観測された最も硬い（すなわち、高エネルギーの陽子の割合が多い）GLE イベントは、1956年に発生したGLE5、あるいは1989年に発生したGLE42 & 43とされています。しかしながら、現在の太陽から観測されたスペクトルが、今後発生しうるフレアをすべて代表しているとは言えません。なぜなら、さらに強いスーパーフレアが発生すると、プラズマがさらに加速され、現在までに観測されたスペクトルでは考えられないほどの高いエネルギーをもった陽子が到達する可能性があるのです。このスペクトルについては、今まで全く未知の世界でしたが、2022年にNASA/GSFCのVladimir Airapetian (SIC 特任教授)らのグループが、G型星の仮想的なより活動性の高い状態での様々なスペクトルを計算しました (Hu et al. 2022 Sci. Adv.) [5]。このスペクトルを用いての太陽系外惑星の被ばく量の再評価を行なっています。同時に、これらの恒星から放出される極紫外線 (XUV) によって、これらの惑星の大気は早い時代から剥ぎ取られた可能性もあり、これらの総合評価を考えると、ハビタブル惑星としては、かなり致命的な影響を受ける惑星も存在する結果が出ています。本研究紹介においては、その中の結果の一部を示すこととします。計算に用いた新たなフルエンス[5]はGeV オーダー以上のエネルギー帯の割合が高く、惑星大気の透過率が従来のものに比べて高いのが特徴です。具体的には大気散逸レートの顕著な系外惑星に焦点を当て、フレア発生頻度1年に一度のフレアと、その黒点面積や表面温度から推定される最大のフレアエネルギーから適用可能と判定される恒星高エネルギー粒子の想定フルエンスを入力として過去研究 [4] によるモンテカルロ計算コード PHITS を用いて、3つの異なる大気 (N_2+O_2 , CO_2 , H_2) の場合の大気シャワーを計算し高度毎の被ばく量の推定を行なってみました。特に今回、G型星、K型星、M型星それぞれをホスト星とし、[4]でも評価を試みた太陽系外惑星 (Kepler-1634b, Kepler-283c および Proxima Centauri b) を対象とした再計算を試みました。本研究による計算結果において特に特徴的な磁場0、地球型大気 (N_2+O_2)、一年に一度発生するスーパーフレアを想定した被ばく評価について図1に結果を示します。

対象とする系外惑星は、やや活動的なG型星であるKepler-1634 (スペクトル型:G7, 表面温度:5637K, 半径:0.82太陽半径, 自転周期19.8日、年フレア 1.65×10^{33} erg) を周回するKepler-1634 b (半径3.19地球半径, 質量:7.76地球質量, 軌道長半径:0.99AU)、Keplerでフレアが観測されたK型星であるKepler-283 (スペクトル型:K5, 表面温度:4,141K, 半径:0.64太陽半径, 自転周期18.2日、年フレア 4.93×10^{32} erg) を周回するKepler-283 c (半径1.82地球半径, 質量:4.59地球質量, 軌道長半径:0.34AU)、やや活動的なM型星であるProxima Centauri (スペクトル型:M5.5V, 表面温度:3,050K, 半径:0.14太陽半径, 自転周期82.6日、年フレア 9.7×10^{32} erg) を周回するProxima Centauri b (半径1.07地球半径, 質量:1.27地球質量, 軌道長半径:0.0485AU)、そして7つの地球サイズの惑星を有するTRAPPIST-I (スペクトル型:M8, 表面温度:2,560K, 半径:0.12太陽半径, 自転周期3.3日、年フレア 2.72×10^{32}

erg)の中で最もハビタブルであると考えられる TRAPPIST-I e (半径 0.918 地球半径, 質量:0.636 地球質量, 軌道長半径:0.0282AU)、そして比較的小となしとされている Ross-128 (スペクトル型:M4, 表面温度:3,192K, 半径:0.17 太陽半径, 自転周期 123 日、年フレア 1.36×10^{32} erg)を周回する Ross-128 b (半径 1.0979 地球半径, 質量:1.3989 地球質量, 軌道長半径:0.0496AU)を対象とし、比較のため地球と火星の値を示しました(ただし、地球は磁場を地球磁場とし、火星は磁場 0 とした)。また、大気組成はすべての系外惑星で地球型 (N_2+O_2) 大気と仮定し、磁場無しの条件で計算大気深度はちょうど 1 気圧分まで計算を行ない、それぞれ(地球における)地上 80km 相当、50km 相当、火星大気圧相当、系外惑星大気圧(薄大気圧 1/10 気圧)相当、地表最低大気圧相当、地表大気圧相当の縦線を示しました。

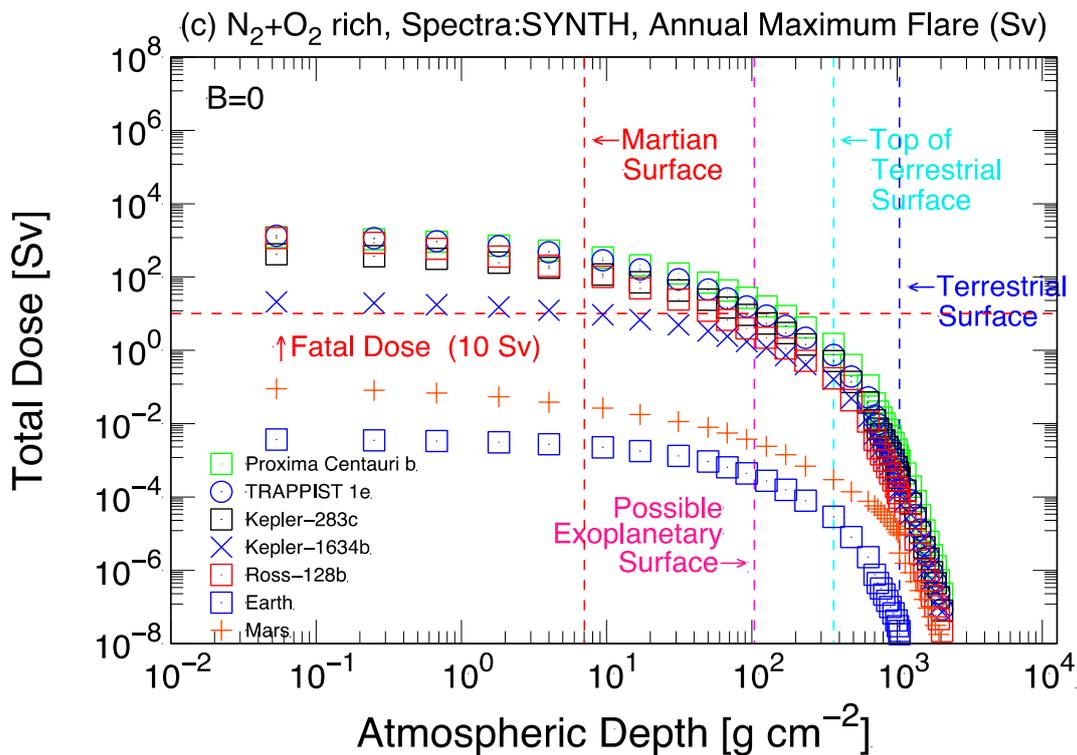


図 1 スーパーフレアを想定した被ばく評価

Proxima Centauri b においては、1/10 気圧では 25 Sv の被ばくが見られることが示唆された。TRAPPIST-I e においては、大気散逸が非常に激しいという結果も見られるとともに、1/10 気圧では 16 Sv という大きな値が示された。対して Ross-128 b においては、1/10 気圧では 466 mSv、地球と同じ大気圧があればほとんど影響がないことも示されている。

同時に、これらの恒星から放出される極紫外線 (XUV)によって、TRAPPIST-Ie や Proxima Centauri b などの惑星の大気は早い時代から剥ぎ取られた可能性もあり、これらの総合価を考えると、ハビタブル惑星としては、かなり致命的な影響を受ける惑星も存在する結果が出ています。また、一つのメッセージとして、地球は、火星よりも太陽に近くにあるわけですが、磁場と大気圧のおかげでずいぶん宇宙線被ばくから守られているということです。地球の大気圧相当を Terrestrial Surface、火星の大気圧相当を Martian Surface としましたが、火星だと仮に同じ太陽高エネルギー粒子

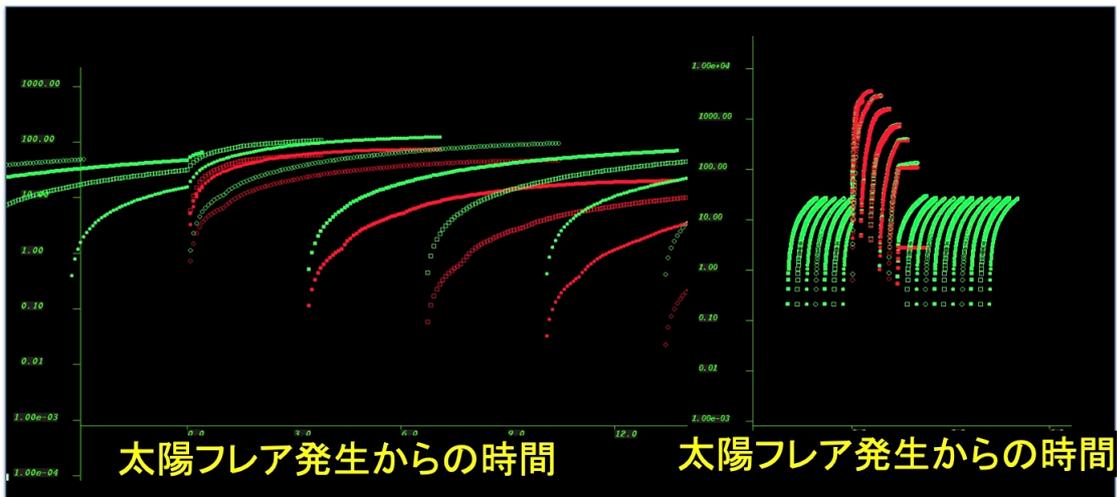
(SEP)を受けたとしても、大気圧が低いこととダイポール磁場がないことにより宇宙線被ばくの影響が大きいことが示唆されます。

また、航空機被ばく評価において、Fujita et al. 2021[3]での結論は、現在までに観測されたイベントを中心に議論を行ってきたわけですが、さらに強いスペクトルを持ったスーパーフレアによる被ばくを考えると、もっと大きな被ばくに晒される可能性がゼロではないのです。このような SEP による被ばくは、宇宙での活動、特に船外活動 EVA に大きなリスクを生じさせます。月面上においては、基地から外に出た活動時にこれらが到達すると致命的な結果になるのではないかと考えられます。

また、例えば、成層圏を超えて地球上の他都市との間を非常に短時間で飛ぶスペースプレーン構想は、宇宙線被ばくに関してはどのようになるのでしょうか？短時間の宇宙飛行は通常航空機での移動に比べて GCR による総被ばく線量を減ずることができるのに対して、SEP が発生した場合、より大きい総被ばく線量を浴びることが我々の計算でわかりますが、その例を下の図に示します。

参考 スペースプレーンによる超高速飛行による被ばく量推定

ロスーロンドン間の通常飛行(論文データによる計算)と、スペースプレーンによる超高速飛行(飛行高度100km, 飛行時間40分)との比較。GLE69に遭遇したと仮定すると、通常飛行では100 uSv前後の被ばくに対して、超高速飛行では3 mSv前後の被ばく量が想定される。



これらのリスクを鑑みて、我々が行なっているのは (1)月・火星での実際の被ばく量の計算 (2)月面上の構造物に対する想定スペクトルに対する被ばく量評価と (3)万が一の際の避難経路のシミュレーションです。(2)においては、様々な材料を用いての被ばく回避策を検討しておりますが、特に水や有機物の利用によって新たな活路が見出せる可能性が示唆されています。なお、本研究は、SIC 特任教授の佐藤達彦氏(JAEA)や、SIC 連携研究員の関大吉氏(九州大学助教)や、[6]に述べたメンバーの協力を得て実施しております。

- 1) Zeitlina, C., Hassler, D.M., Ehresmann, B. et al. (2019). Measurements of radiation quality factor on Mars with the Mars Science Laboratory Radiation Assessment Detector, *Life Sciences in Space Research*, 22 (89-97)
- 2) Shenyi Zhang et al. (2020) First measurements of the radiation dose on the lunar surface, *Science Advances*, 6 : eaaz1334
- 3) Moe Fujita, Tatsuhiko Sato, Susumu Saito, Yosuke A. Yamashiki (2021). Probabilistic Risk Assessment of Solar Particle Events Considering the Cost of Countermeasures to Reduce the Aviation Radiation Dose. *Scientific Reports*. 11, 17091
- 4) Yosuke A. Yamashiki et al. (2019). Impact of Stellar Superflares on Planetary Habitability, *The Astrophysical Journal*, volume 881.
- 5) Junxiang Hu, Vladimir Airapetian et al. (2022), Extreme energetic particle events by superflare-associated CMEs from solar-like stars, *Science Advances*, 8, 9743
- 6) 山敷庸亮, (京都大学), Vladimir Airapetian (NASA/GSFC), 佐藤達彦 (JAEA), 野津湧太 (University of Colorado/東工大), 前原裕之, 行方宏介 (国立天文台), 野津翔太 (理化学研究所), 佐々木貴教, 佐藤啓明, 木村なみ, 清水里香, 高木風香, 坂東日菜, 野上大作, 柴田一成 (京都大学), 他 ExoKyoto 開発チーム, 恒星高エネルギー粒子のフルエンスを考慮したハビタブルゾーンの再評価, 日本天文学会 2021 秋季大会 P329a (口頭発表)

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.13

2023 年 1 月 1 日発行