

宇宙総合学研究ユニット NEWS 2022年11月号



宇宙倫理学教育プログラムの受講生を紹介します！

10月号に引き続き受講生紹介の第4弾です！今回は大学院コースとして参加されている佐藤啓明さん（京都大学大学院総合生存学館2年）に自己紹介文を寄稿していただきました！

佐藤啓明さん（大学院コース：総合生存学館2年）

京都大学大学院総合生存学館2年の佐藤啓明（ひろあき）と申します。宇宙倫理学教育プログラムの大学院コースに参加させていただいております。このプログラムに参加したのは、今後の“より良い”宇宙開発に貢献して行きたいと考えているからです。思い返せば、物心がついた頃から宇宙が好きでした。スタートレックなどのSFを齧り付くように見ていたことを今でもよく覚えています。そんな中、漠然と宇宙に関わる仕事に就きたいと思い、大学では工学部に進学しました。宇宙ユニットには学部生時代も非常にお世話になりましたが、様々な背景を持つ先生方や学生と交流する中で、一口に宇宙といってもさまざまな



関わり方があることに気付かされました。限られた切り口からではなく、宇宙開発を多角的に研究したいという思いから、異分野融合や社会実装を謳う総合生存学館に入学したのですが、ここでも自身の宇宙に対する接し方が変わるような経験をしました。これまで工学部の宇宙基礎工学コース、宇宙ユニットと宇宙が当たり前にある環境に身を置くことが多かったのですが、総合生存学館ではそうではありませんでした。教育や難民支援、災害対策など実に多様な関心を持つ学生が集まっており、その多くは地球社会の抱える問題を研究の対象としていました。そのような学生に宇宙の話をする、なんで宇宙開発って必要なの？我々の生活にどのように役立っているの？という質問が返ってくることもしばしばでした。通信や測位システムなど、私たちの生活に欠かせない宇宙技術が多くあることは紛れもない事実ですが、そのほかの宇宙開発はどうでしょうか。果たして全ての宇宙開発は地球上の問題を差し置いてまで行われる価値があるのでしょうか。さらに、近年ではこれまで国家主導であった宇宙開発に民間企業の積極的な参入が進んでいます。宇宙開発の構造が変化している中で、地球社会のニーズに対して今後の宇宙開発は応えていくことができるのでしょうか。宇宙開発に関わろうとするにあたって無視のできない問いかけだと思っています。このプログラムを通してこのような問題に対するアプローチの仕方を学びたいと考えていま

す。すでに半年が経過しましたが、非常に充実した時間を過ごすことができます。今後も、先生方や他の参加者の方々に良い刺激をもらいながら、全力で取り組んでいきます。

今後の宇宙学セミナー・関連イベントなど

日時	内容	開催方法
11月25日 (金) 15:00 - 16:30	第7回宇宙学セミナー 講師：前田 啓一 氏 (京都大学 理学研究科宇宙物理学教室 准教授) 題目：超新星残骸カシオペア座 A に刻まれた爆発機構の痕跡	Zoom によるオンライン開催です。詳細は Web ページをご覧ください。
12月5日 (月) 11:00 - 12:30	第8回宇宙学セミナー 講師：佐藤 達彦 氏 (日本原子力研究開発機構研究主席/ 大阪大学 核物理研究センター 特任教授) 題目：宇宙飛行士や航空機乗務員を宇宙線被ばくから適切に護る ～有人火星探査の宇宙線被ばくリスクはどのくらい？～	京都大学東一条館大会議室 (112・113号室) にて対面開催予定。

※宇宙学セミナーの詳細は随時 Web ページ (<http://www.ussp.kyoto-u.ac.jp/seminar/>) で公開いたします。

超新星残骸カシオペア座 A に刻まれた爆発機構の痕跡

前田 啓一

京都大学 理学研究科宇宙物理学教室 准教授

太陽の約 10 倍以上の質量を持つ大質量星は、その一生の最期に「重力崩壊型超新星爆発」と呼ばれる大爆発を起こします。しかし、なぜ崩壊が爆発を引き起こすのでしょうか？この爆発メカニズムの解明は、宇宙物理学における難問の一つに挙げられています。現在では、星の中心部が重力崩壊を起こすときに大量に放出されるニュートリノの一部のエネルギーが物質を加熱し、超新星爆発を引き起こすというシナリオが最も有力です。しかし、このシナリオの本質であるニュートリノ加熱を裏付ける観測的証拠はありませんでした。私たちは、約 350 年前に爆発した重力崩壊型超新星の残骸であるカシオペア座 A の X 線データと元素合成理論を突き合わせることで、超新星爆発の際のニュートリノ加熱時に立ち上る高エントロピーの上昇流（外向きの流れ）の痕跡を発見しました[1]。超新星爆発の標準モデルがよ

り確かなものになったとともに、私たちの生活に欠かせない金属であるチタンが、超新星爆発時の上昇流内で大量に合成されていることも示しました。本記事は、京都大学ホームページの研究成果ページに掲載していただいた内容[2]を一部改編したものです。

背景

現在最も有力な重力崩壊型超新星の爆発シナリオを図 1 に示します。大質量星の内部では、進化の最終段階で鉄のコアが形成されます。この鉄のコアは、自身の重力を支えきれずに潰れてしまう「重力崩壊」を引き起こします。この潰れたコアの中心で原始中性子星が形成され、そのかたい表面に降り積もる物質が跳ね返されることで、星の外側へ向けて衝撃波が走ります。この反射衝撃波が星の表面まで達すれば、その星は爆発することになります。

しかし、理論計算により、反射衝撃波は星の内部を伝搬する間にエネルギーを失ってしまい、そのままでは星を爆発させることができないことが示されました[3]。そこで提案されたのが「ニュートリノ加熱」によって衝撃波を蘇らせるメカニズムです[4]。高温の原始中性子星から大量に放出されるニュートリノの全エネルギーの 1% 程度を周囲の物質に与えることができれば、衝撃波が復活し爆発が成功することになります。

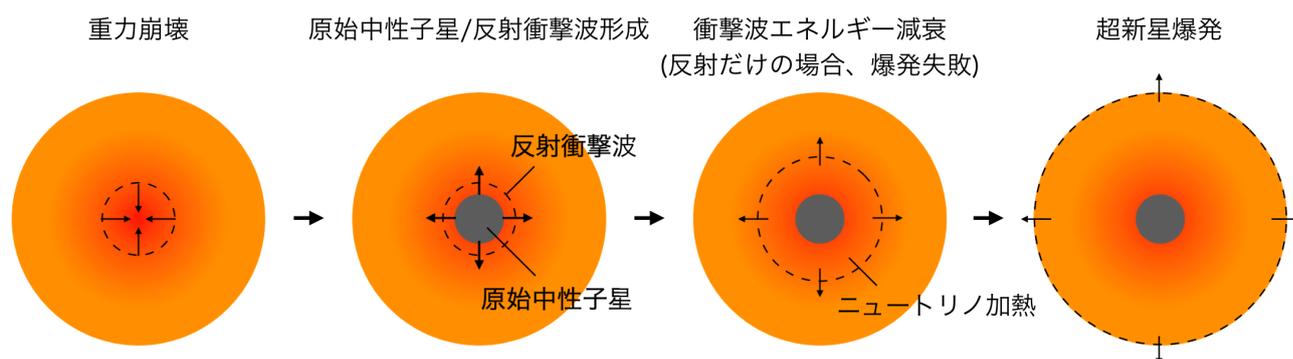


図 1 重力崩壊型超新星の爆発メカニズム：太陽の約 10 倍以上の質量を持つ大質量星は、一生の最期に中心の鉄コアが自重を支えきれなくなり潰れてしまう「重力崩壊」を起こす。重力崩壊中、その中心には超高密度の原始中性子星が形成され、そのかたい表面に落ちる物質が外側へ弾かれ「反射衝撃波」を形成する。この反射衝撃波がニュートリノ加熱によって押し上げられ、星表面まで到達できれば「超新星爆発」が起こる。

複数の理論研究グループがこの標準シナリオに基づいて超新星爆発をコンピュータ内で再現することを目指しており、ニュートリノ加熱時に生み出される対流やそれに伴う上昇流などの「非対称効果」が重要であることが分かりつつあります [5-8]。このメカニズムは、「ニュートリノ駆動型対流エンジン（超新星エンジン）」と呼ばれています。一方で、コンピュータシミュレーションではまだ観測されているような超新星の性質を説明しきれず、標準モデルの観測的検証が非常に重要となります。

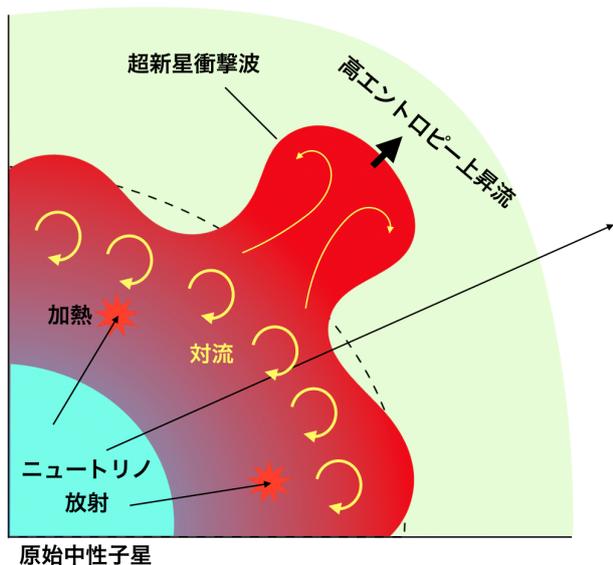
研究手法と成果

ニュートリノ加熱で生み出される対流や上昇流といった非対称効果（図 2 左）は、原理的には超新星残骸の直接観測により検証できます。爆発機構の鍵となる非対称構造やその周辺領域は、少ない質量に大量のエネルギーがたぎ込まれた状況、つまり一つ一つの粒子の持つエネルギーが非常に大きい

(エントロピーの高い) 状況を経たと予測されます。このような高エントロピー環境下では、特定の元素が核融合反応で効率的に合成されます。そのため、超新星残骸内に見られる非対称構造における元素組成を調査することで、「ニュートリノ加熱」に起因する構造を特定できる可能性があります。このことに注目し、佐藤寿紀さん（現 立教大学理学部物理学科、研究当時 理化学研究所所属）が中心となり、豊富な X 線データが存在する超新星残骸「カシオペア座 A」の非対称構造部分の解析を行いました。この際には、私をはじめ元素合成の理論研究を背景に持つ研究者などの議論を通し、ニュートリノ駆動型対流エンジンを特徴づける元素であるチタン、クロム、鉄に注目しました。

カシオペア座 A は、約 350 年前に爆発した重力崩壊型超新星の残骸で、我々の住む天の川銀河に存在しています。米国のチャンドラ衛星で撮られたカシオペア座 A の X 線画像は元素の非対称分布を示しています（図 2 右）。特に、東南部（図 2 右、左下部）には非対称に飛び出た構造が見つかっており、その主成分は鉄であることが 2000 年初期に指摘されていました。鉄は超新星の最深部でのみ大量に合成されることから、この構造は爆発中心部の非対称効果によって外側へ飛び出た可能性が高いと考えられます。そこで、2000 年から 2018 年の約 18 年間のチャンドラ衛星によるカシオペア座 A の観測データを総動員し、この構造内の元素を調べました。

超新星内部でのニュートリノ加熱と上昇流の形成



超新星残骸「カシオペア座A」内に発見した上昇流

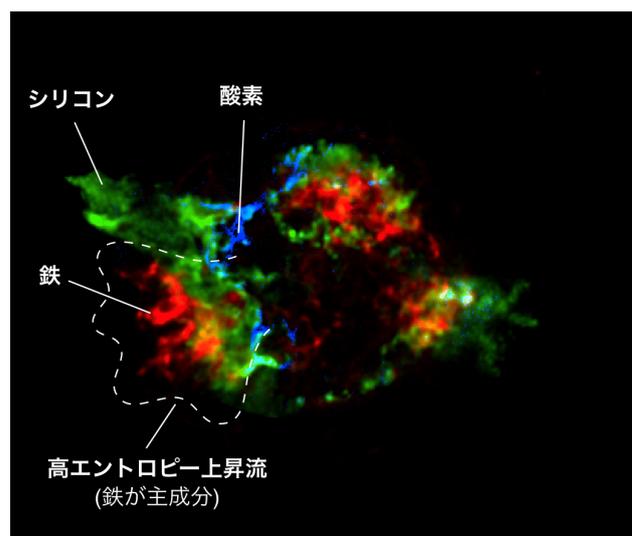


図 2 超新星内部での上昇流形成プロセスと超新星残骸カシオペア座 A (左) ニュートリノ加熱時に生み出される対流と上昇流の模式図。局所的に大きく発達する上昇流は、超新星爆発の形状を歪め、特徴的な元素組成を示す。(右) 今回の研究対象である超新星残骸「カシオペア座 A」の X 線画像。爆発中心付近でしか合成されない鉄（赤）が東南部（左下）に飛び出しており、これは爆発時の非対称性によって生み出されたと考えられる。

その結果、チタン、クロム、鉄などの超新星エンジン周辺で合成される金属元素が、この構造内に同時に存在することを発見しました（図 3 左）。これを受け、吉田敬さん（現 京都大学基礎物理学研究所、研究当時 東京大学大学院理学系研究科所属）が、温度や密度の異なるさまざまな超新星内部環境下で合成される元素量の理論計算を担当しました。研究グループでは、その理論予想と観測値との比較を通し、鉄に富んだ非対称構造の起源の議論をすすめました（図 3 右）。その結果、この構

造内の元素組成は、超新星エンジン周辺で生み出される上昇流による高エントロピーかつ陽子過剰な環境で合成されるものとよく一致することが分かりました。

以上から、カシオペア座 A において我々が注目した、鉄を豊富に持つ非対称構造はニュートリノ加熱によって生み出されたものであると結論付け、超新星の衝撃波がニュートリノ加熱によって復活した証拠としました。今回の発見により、超新星爆発におけるニュートリノ加熱の存在が観測的に立証されただけでなく、その爆発中心付近のエントロピーなどの物理パラメータを推定できるようになりました。

鉄が豊富な構造からチタン、クロムの発見

鉄/チタン/クロムの元素量を理論計算と比較

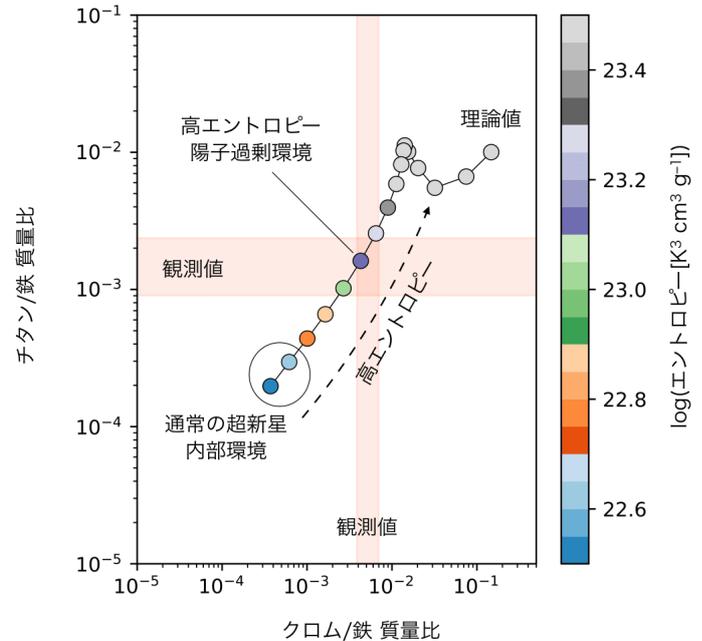
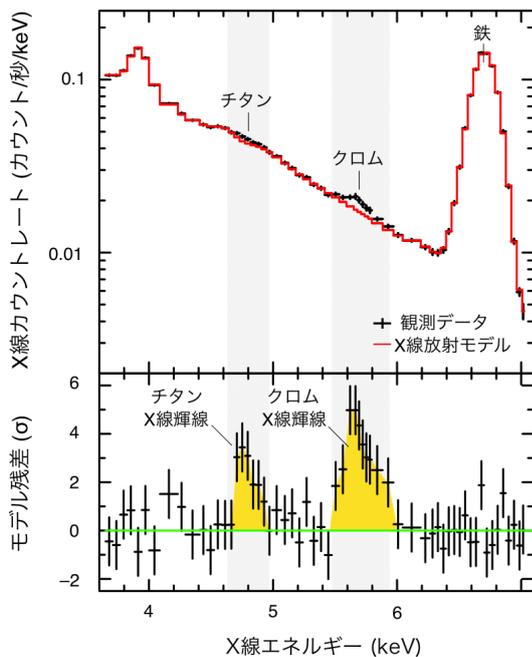


図 3 チタン、クロムの発見と元素量の理論計算との比較 (左) 鉄が豊富な構造内 (図 2 右、左下領域) の X 線スペクトル。約 4.7 keV と 5.6 keV 付近にチタンとクロムからの特性 X 線が見られる。(右) スペクトル解析から求めたチタン、クロム、鉄の質量比を理論計算と比較したグラフ。ニュートリノ加熱により作られる上昇流の特徴である、高エントロピーかつ陽子過剰な環境での元素合成により、観測量がよく説明できる。

今後の展望

本研究により、宇宙物理学の難問として長年注目されてきた大質量星の超新星爆発メカニズムに観測の立場から多くの情報を提供できるようになり、元素合成の理論研究を通じたさらなる検証が可能となりました。同様な方法は他の超新星残骸にも適用可能であり、また恒星進化に関係する元素を調べるなど、爆発メカニズム以外の問題へのアプローチにもなります。現在の超新星理論分野では、スーパーコンピュータを用いた大規模計算が必須になっており、爆発メカニズムや元素合成の理論研究も急速に進展しています。この観測と理論の合わせ技で、宇宙の謎の一つがまた解明される日は遠くないかもしれません。

観測的側面としては、2022 年度中に打ち上げ予定の、日本を中心とする国際協力ミッションである次世代 X 線天文衛星「XRISM (クリズム)」に期待がかかります。XRISM 衛星は現行の数十倍のエネルギー分解能を持つため、チタンやクロムを含むさまざまな希少元素の検出感度が桁違いに向上すると考えられます。超新星残骸の高エントロピー上昇流内では、他にもさまざまな希少元素が存在すると

考えられています。この宇宙に存在する"元素工場"の観測から、私たちの身近に存在する元素の起源が明らかになると期待されます。

参考文献・リンク

- [1] Sato, T., Maeda, K., Nagataki, S., Yoshida, T., Grefenstette, B., Williams, B.J., Umeda, H., Ono, M., Hugheset, J.P. 2021, Nature, 592, 537
- [2] <https://www.kyoto-u.ac.jp/ja/research-news/2021-04-22>
- [3] Colgate, S.A., White, R.H. 1966, ApJ, 143, 626
- [4] Bethe, H.A., Wilson, J.R. 1985, ApJ, 295, 14
- [5] Mezzacappa, A. 2005, Ann. Rev. Nucl. Part. Sci., 55, 467
- [6] Kotake, K., Sato, K., Takahashi, K. 2006, Reports on Progress in Physics, 69, 971
- [7] Janka, H.-Th. Annual Review of Nuclear and Particle Science, 2012, 62, 407
- [8] Burrows, A., Vartanyan, D. 2021, Nature, 589, 29

宇宙ユニットの活動やイベントについては、下記サイトをご覧ください。また、宇宙ユニットや本 NEWS に関する皆様のご意見等も気軽に下記メールアドレスまでお送りください。

京都大学 宇宙総合学研究ユニット

<https://www.uss.kyoto-u.ac.jp/>

〒606-8502 京都市左京区北白川追分町 吉田キャンパス北部構内 北部総合教育研究棟 507 号室

編集人：今井 慶悟（宇宙ユニット RA）

Tel&Fax: 075-753-9665 Email: uss@kwasan.kyoto-u.ac.jp

宇宙総合学研究ユニット NEWS 2022年12月号

宇宙
ユニット

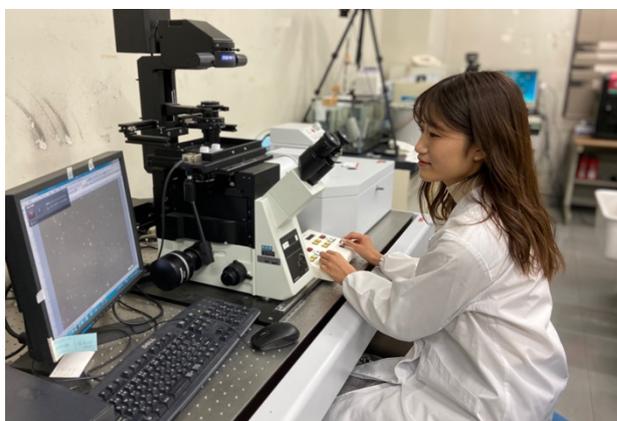


宇宙倫理学教育プログラムの受講生を紹介します！

受講生紹介の第5弾です！今回は大学院コースとして参加されている井上侑香さん（京都大学大学院工学研究科2年）に自己紹介文を寄稿していただきました！

井上侑香さん（京都大学大学院工学研究科2年）

京都大学大学院工学研究科2年の井上侑香と申します。宇宙倫理学教育プログラムの大学院コースに参加しています。プログラムに参加した理由は、微小重力空間でのものづくりに興味があり、それらの産業化に向けた倫理について学びたいと思ったからです。



微小重力空間は物質の密度差による対流が生じないため、高品質な物質を生成することが出来ると知られています。これまで、スペースシャトルやISSにおいて、数十マイクロメートルの大きさの揃ったスペースビーズの作製や、タンパク質の結晶化などが行われてきました。特にタンパク質の結晶化はJAXAが主体となって盛んに行われており、日本が誇る世界有数の技術です。

私自身、修士課程から生体材料学を専攻し、体内における薬物徐放や組織修復、体内環境を模倣した研究材料について学んできました。そこから、医薬品の研究に興味を持ち始め、来年度から製薬業に従事する予定です。現在、医薬品業界では、タンパク質を標的とする医薬品、またはタンパク質自体を有効成分とする医薬品が主流になっています。最近では筋ジストロフィーやインフルエンザウイルスに関係するタンパク質が宇宙で生成され、新薬創出につながる研究が行われています。「宇宙創薬」という新しい単語も生まれ、これからの創薬には高品質なタンパク質を生成することが必須であり、産業としての宇宙空間の重要性が高まってきました。幼い頃から興味があったものづくりの分野と、只々眺めているだけで好きだった宇宙がコラボし、これからの医療分野に貢献出来ることを知り、新米業界人として宇宙創薬における倫理的課題について考察したら面白いのではないかと思います、プログラムに応募しました。

ゼミでは文理を問わず、様々なバックグラウンドをもつ学生や社会人と共に学ぶことができ、日々刺激を受けています。4月時点では、宇宙と倫理、どちらの知識もありませんでしたが、講義やゼミを通して少しずつ身につけることが出来ています。また、専門用語を誤って使用した際は先生方が指摘して下さるため、非常に実践的で勉強になる環境で過ごせています。1年間と短い期間ではありますが、業界の宇宙進出をリードできるような考えをもって修了できるよう、ラストスパート頑張ります！

新たに着任した有人宇宙医学委託費技術補佐員の紹介

出口雅規（でぐち・まさき）氏

11月1日付けで技術補佐員として宇宙ユニットに参加いたします、出口と申します。宇宙ユニットに参加するのは今回が2度目です。前回は、2017年12月から2019年3月まで、同じく技術補佐員として、土井先生（現・総合生存学館 特定教授）の下で小口径望遠鏡を用いた太陽系外惑星の追試観測（トランジット観測）等に従事しておりました。今回は寺田先生にお声がけいただき、有人宇宙医学に関連した研究に携わりたいと考えております。具体的にどのようなことに関心があるかと申しますと、任意の低重力環境を模擬的に再現できる3Dクリノスタットで、重力加速度をパラメータとして、破骨細胞と骨芽細胞の反応を解析したいと考えています。その結果として、宇宙コロニーの人工重力が何G相当分あれば骨密度の低下をこれだけ防げるというような、或る種の妥協点となるような値を示せば良いな、とwishful thinkingなことを考えています。

また、今度の宇宙ユニットシンポジウムでは、人工重力下で『ししおどし』を設置した場合、地上と同じように設置すると、コリオリカの影響で竹筒に水が正しく注がれずにあたり一面が水浸しになってしまうので、その解決案についてポスター発表できたら良いな、と思っています。



図 前職の通信制高校の一コマを貼ります。プリント配布しているのが私です。

今後の宇宙学セミナー・関連イベントなど

日時	内容	開催方法
12月5日（月） 11:00 - 12:30	第8回宇宙学セミナー 講師：佐藤 達彦 氏 （日本原子力研究開発機構研究主席/ 大阪大学核物理研究センター特任教授・京都大学大学院総合生存学館SIC特任教授） 題目：宇宙飛行士や航空機乗務員を宇宙線被ばくから適切に護る～有人火星探査の宇宙線被ばくリスクはどのくらい？～	京都大学東一条館1階 会議室(112/113号室) & Zoomオンライン形式

※宇宙学セミナーの詳細は随時 Web ページ (<http://www.uss.kyoto-u.ac.jp/seminar/>) で公開いたします。

東アジア最大の望遠鏡「せいめい」の技術

栗田 光樹夫

京都大学 理学研究科宇宙物理学教室 准教授

はじめに

せいめい望遠鏡は、京都大学によって岡山県浅口市と矢掛町にまたがる天文台に建設された、東アジア最大の望遠鏡です（図1参照）[1]。天体からの光は主鏡、副鏡、第三鏡の順で反射し、観測装置（高性能なデジカメのような装置や分光器）が置かれるナスミス台の上に焦点を結びます。天体を追尾するときには方位と高度の2つの回転軸を駆動させます。

せいめい望遠鏡には二つの大きな特徴があります。一つ目は直径3.8mの主鏡が日本初となる分割鏡式であること、二つ目は望遠鏡が軽く高速駆動が可能であることです。本編では特に後者について重点的に解説します。

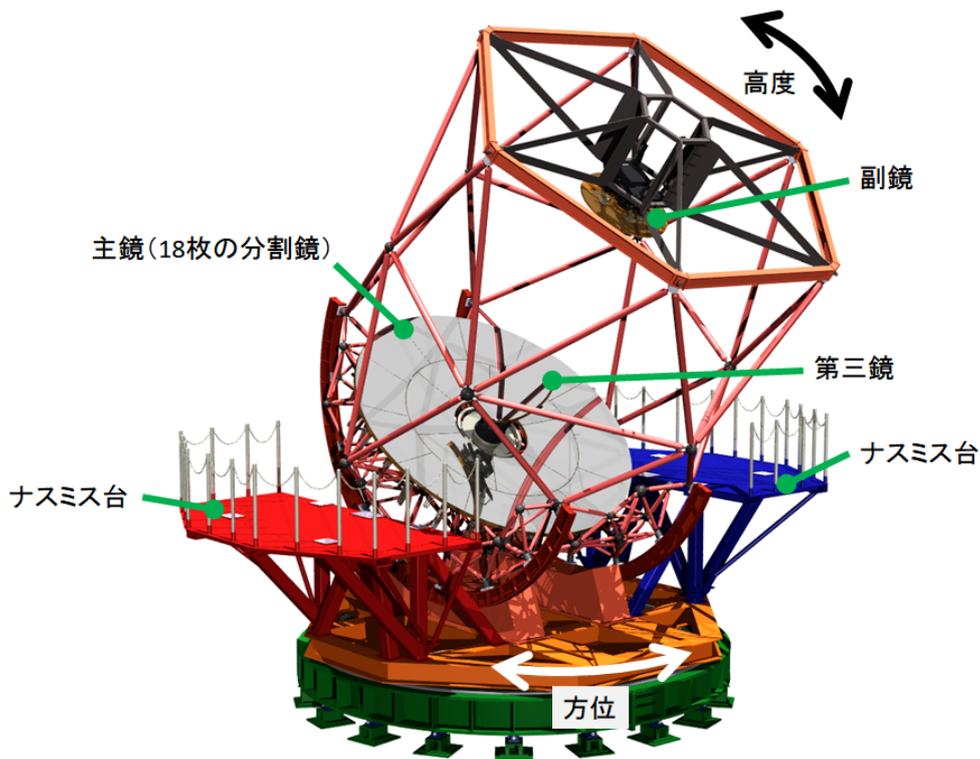


図1 せいめい望遠鏡

分割鏡

主鏡が1枚ではなく複数の独立した鏡から構成されるものを分割鏡といいます。世界最大の鏡は直径8.4mもありますが、これより大きな鏡は製造されていません。これは、8mを超えるガラスの塊を精密に製造する装置、場所、運搬方法などが非現実的なためです。そのため、将来完成する30m望遠鏡（TMT：日本、米国など）は、せいめい望遠鏡と同じ分割鏡方式を採用しています。分割鏡方式で

あれば、小さな鏡を好きなだけ並べ、より大きな主鏡を得ることができます。つまり望遠鏡の大型化には分割鏡方式が不可欠なのです。

望遠鏡の鏡は数十ナノメートルの精度で作られます。分割鏡もその精度で正しく整列される必要があります。一方、望遠鏡は追尾に伴い高度軸が回転することで重力の働く向きが変わるため、構造が1ミリメートルレベルで変形します。その大きさは要求される精度の実に1万倍以上にもなります。変形した分は、鏡の裏側に取り付けられたアクチュエータと呼ばれるモータにより鏡を傾けたり持ち上げたりすることで補正されます[2]。

軽量化技術

せいめい望遠鏡で行う主なサイエンスとして突発天体の研究が挙げられます。突発天体現象には超新星爆発、X線連星、星表面での爆発現象であるフレアなどがあり、特に重力波源の候補となっているブラックホールや中性子星の合体による爆発などは重要なテーマです。これらの爆発現象は膨大なエネルギーを秒から数時間単位で放出しますが、非常に遠方で起こるため小さな望遠鏡では分光観測を行うことが困難です。また極めてまれな現象で、夜空のどこでいつ起こるか分かりません。このような突発天体をいち早く分光・測光観測する望遠鏡には機動性が求められ、それには軽い構造が不可欠となります。

もちろん、ただ軽くすればいいわけではありません。アクチュエータがあるとはいえ、その駆動量にも限界があります。そのため変形が小さい、固い構造が必要となります。一方、固い構造を目指すると多くの材料を使うこととなり、全体の質量が増加して望遠鏡の駆動速度が低下してしまいます。

より軽く、より固いという相反する特性を実現するために、せいめい望遠鏡では遺伝的アルゴリズムという手法を用いて構造の最適化を行いました[3, 4]。最初に適当な設計を与え、それを「進化」させることで、十分な固さを持ちながら最初の設計よりも軽い構造を見つけようという試みです。以下、遺伝的アルゴリズムについて解説します。

遺伝子は生命の進化に不可欠です。子どもの遺伝子は両親の片方と一致するのではなく、交配によって双方の遺伝子を持ちます。こうすることで親とは少し違った子が生まれます。うまくいけば親よりも優れた遺伝子を持つことも可能です。しかし、優れた遺伝子とはなんでしょう。たとえば「足が速い」、「計算が得意」などを優れた遺伝子の基準とするなら、それぞれ「足の速さ」や「計算速度/精度」を表すパラメータを評価すればよさそうです。このように、できたモデルを評価するのに用いられるパラメータを評価関数と呼びます。また、生物の世界では制限された環境の中でより強いものが生き残り、遺伝子を残すような仕組みがはたっています。しかし、そうだとすると環境に最も適応した生物だけが跋扈する世界が構築されそうですが、実際の自然界はそのようにはなっていません。突然変異により新しい特徴を持つ生物が生まれることで、多様性が保たれています。生物はいつも正しく両親からの遺伝子を受け継ぐだけでなく、ときおり放射線（地球上だけでなく宇宙からも到来する高エネルギーな電磁波や粒子など）が遺伝子に当たり、一部の遺伝子を書き換えられることがあります。その結果、両親とは異なる特徴を持つ子どもが生まれることがあり、これが種の多様性を導きます。このような生命の進化を望遠鏡という構造物にあてはめ、より優れた望遠鏡構造をコンピュータの中で進化させました。具体的には以下のような流れとなります。

- 1) 技術者が最初の設計図を作る（その設計図を父親とする）
- 2) その設計図とは少し違った構造を突然変異により作る（その設計図を母親とする）。突然変異は乱数によって生成される。
- 3) 父親と母親の設計図から、それらをかけ合わせた設計図を複数作る（交配）。かけ合わせる比率はコンピュータがランダムに決める。同時に突然変異もランダムに加える（こうしてできた設計図を子どもとする）。
- 4) 評価関数を参照して、子どもの中からより軽く強い構造を選び（選択）、それを親として次の子どもの設計図を作る

以上の交配、変異、評価、選択をアルゴリズム化して反復計算することで、徐々に優れた設計図がコンピュータの中で自動的に作られていきます。その際、好き勝手に突然変異が許されるかというのではなく、たとえば、材料は鉄のみであるとか、光路を遮るような部品があってはいけない、などといった環境条件を決めておきます。また、実際の交配や突然変異の方法も生命そっくりです。コンピュータの中ではすべての情報が2進数、つまり0と1の配列で扱われます。たとえば「Hello」は2進数で「0100100001100101011011000110110001101111」となります。設計図もこれと同じように0と1でできた遺伝子のリボンになります。これらを適当なところで切り貼りすれば交配になり、ランダムに書き換えれば突然変異となります。こうして出来上がった設計図を図2に示します。進化（最適化）の結果、400 kgの軽量化と仕様を満たす固さの両方を実現しました。

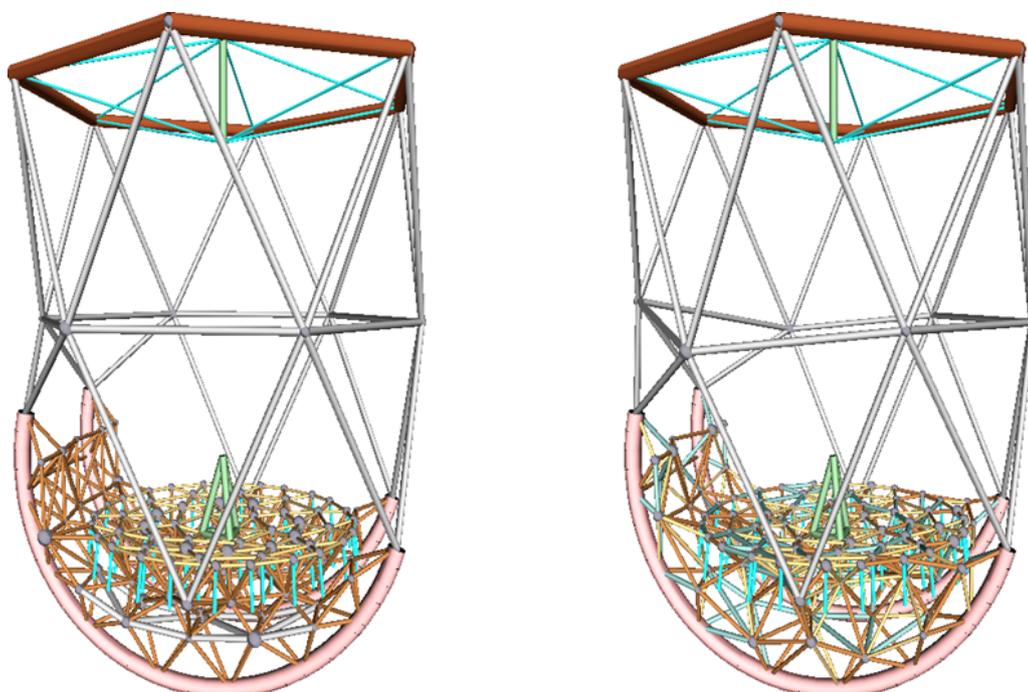


図2 遺伝的アルゴリズムによる構造の最適化

以上のようにせいめい望遠鏡では国内初、世界でも2例目となる分割式望遠鏡技術の獲得のために、要素技術の開発を行ってきました。これらの技術はさらなる大型望遠鏡実現のために必須の技術となると同時に海外の研究機関からも注目されています。実際にせいめい望遠鏡の姉妹機がインドネシアに建

設中です。また、本編では紹介しませんでした。鏡づくりの技術はベンチャー企業によって社会還元されています[5-8]。

※本編は花山星空ネットワークの会報「あすとろん」43号「せいめい望遠鏡とその技術」に掲載した記事を一部変更したものです。

参考文献・リンク

- [1] “The Seimei telescope project and technical developments”
M. Kurita, M. Kino, F. Iwamuro, K. Ohta, D. Nogami, H. Izumiura, M. Yoshida, K. Matsubayashi, D. Kuroda, Y. Nakatani, K. Yamamoto, H. Tsutsui, M. Iribe, I. Jikuya, H. Ohtani, K. Shibata, K. Takahashi, H. Tokoro, T. Maihara, T. Nagata
PASJ, Vol. 72, 3, 48 (2020)
- [2] “Development status of the segmented mirror control system in Seimei Telescope”, I. Jikuya, K. Ueno, M. Kino, M. Kurita, K. Yamada, SPIE, 1145152 (2020)
- [3] “Light-Weight Telescope Structure Optimized by Genetic Algorithm”
M. Kurita, H. Ohmori, M. Kunda, H. Kawamura, N. Noda, T. Seki, Y. Nishimura, M. Yoshida, S. Sato, T. Nagata, SPIE, 77333E (2010)
- [4] “Ultra-Lightweight Telescope Mount”, M. Kurita, S. Sato, N. Noda, PASP, Vol. 121, 266 (2009)
- [5] “Interferometric testing for off-axis aspherical mirrors with computer-generated holograms”, M. Kino, M. Kurita, Applied Optics, Vol. 51, 19, pp. 4291-4297 (2012)
- [6] “A new manufacturing system for free form and large optics”, M. Kurita, H. Tokoro, K. Takahashi, M. Kino, SPIE, 114510N (2020)
- [7] “Dragging three-point method for measurement of telescope optics”, M. Kurita, Y. Morimoto, N. Emi, Optics Continuum Vol.17, pp.1552-1564 (2022)
- [8] “Data-stitching algorithm based on elasticity”, M. Kurita, and A. Ishii, Applied Optics, Vol.61, pp.8333-8340 (2022)

宇宙ユニットの活動やイベントについては、下記サイトをご覧ください。また、宇宙ユニットや本 NEWS に関する皆様のご意見等も気軽に下記メールアドレスまでお送りください。

京都大学 宇宙総合学研究ユニット

<https://www.uss.kyoto-u.ac.jp/>

〒606-8502 京都市左京区北白川追分町 吉田キャンパス北部構内 北部総合教育研究棟 507 号室

編集人：名越 俊平（宇宙ユニット RA）

Tel&Fax: 075-753-9665 Email: uss@kwasan.kyoto-u.ac.jp

宇宙総合学研究ユニット NEWS 2023年1月号



宇宙倫理学教育プログラムの受講生を紹介します！

12月号に引き続き受講生紹介の第6弾です！今回は大学院コースとして参加されている植村優香さん（京都大学医学研究科人間健康科学系専攻修士課程2回生）に自己紹介文を寄稿していただきました！

植村 優香（大学院コース：医学研究科人間健康科学系専攻修士課程2回生）

私は医学研究科人間健康科学系専攻に所属し、作業療法の研究を行っています。私の専門と関心、そして宇宙倫理学プログラムとの出会いと経過についてお話をさせていただきます。

私の専門である作業療法はリハビリテーションの一分野であり、医学を構成する一領域です。作業療法は、「作業」を通して患者さんのことを知ったり働きかけたりする治療法です。作業療法における「作業」とは、日常生活で行われるさまざまな活動のことを意味します。作業療法では、患者さんの生活や社会との関係性に注目します。

学部時代、他大学で作業療法の勉強をしながら学生団体に所属して宇宙医学を学びました。その中で、宇宙医学は有人宇宙活動のはじまりと共に生まれましたが、作業療法を宇宙開発に生かす試みはまだほとんど行われていないことを知りました。そこで、有人宇宙開発について学び、療法士目線での「宇宙リハビリテーション」や「宇宙作業療法」を構想してみたいと思いました。そのためには宇宙に関する幅広い知識が必要であると考え、宇宙総合学研究ユニットを擁する京都大学の大学院に入学しました。

京都大学に入学して1年が経ち、私はいくつかの壁にぶつかっていました。その中の一つは、「宇宙社会」を捉えきれずにいたことでした。作業療法は社会と密接に関わる学問であり、将来の宇宙作業療法を構想するためには宇宙社会について考える必要があります。しかし、まだ存在していない社会について考えることは私にとって困難であり、宇宙開発や宇宙社会について軸のないまま自分の中で考えを進めていくことに不安を感じていました。



そんな時に宇宙倫理学プログラムに出会いました。私は倫理学の知識をほとんど持たないまま受講を始めましたが、基礎的な話題の部分から驚きの連続でした。たとえば、講義で、善悪の決定にはさまざまな立場があり、そこから論理的に導かれる結論が異なることが明文化されていく様子はスリリングでした。また、受講生の中でも、どの立場を取るかについて意見が分かれる場合があるという事実は大変興味深いと感じました。

受講を始めてもうすぐ 1 年が経ちます。宇宙倫理学コースに出会う前にぶつかっていた壁についても、私の中で変化が生じてきています。コースを通して、多角的な議論に触れたり、自分でもテーマを見つけて考えを進めたりする過程で少しずつ、これまで自分の中にはなかった思考のフレームワークが形作られているように感じます。倫理学の思考法を身に着けるにはまだ道のりは遠いですが、宇宙社会を捉えるための一つの軸を得ていきたいと思っています。

私はコースを 2 年で修了する予定ですので、来年度も受講させていただきます。今年度の参加者の皆さんと議論できる時間が残り少なくなってきたことを寂しく思うと同時に、来年度、どのような出会いが生まれるのかワクワクしています。

将来は、宇宙倫理学コースでの学びを生かし、宇宙医学を中心に、有人宇宙開発に寄与することができればと思っています。先生方や、参加者のみなさんに感謝しながら、残り 1 年、頑張っ て学んでいきたいと思っています。

今後の宇宙学セミナー・関連イベントなど

日時	内容	開催方法
2月28日(火) 15:00 - 16:30	第10回 宇宙学セミナー 講師 清水 右郷 氏 (京都大学/日本学術振興会特別研究員 PD) 題名: 「研究の自由の科学哲学——地上の医学の状況から宇宙学を見上げる」 (仮)	Zoom によるオンライン開催です。準備ができ次第、HP に掲載いたします。

※宇宙学セミナーの詳細は随時 Web ページ (<http://www.uss.kyoto-u.ac.jp/seminar/>) で公開いたします。

第 16 回宇宙ユニットシンポジウムのお知らせ

テーマ：宇宙開発時代をどう生きぬくか——大学の役割を問い直す



2023年 京都大学宇宙総合学研究ユニット 第16回シンポジウム

宇宙開発時代をどう生きぬくか ——大学の役割を問い直す

2.11(土) 13:00-17:00
特別講演：はやぶさ2が切り拓いた宇宙探査の新時代
講師：津田雄一（宇宙航空研究開発機構）
ポスター展示交流会「宇宙研究の広場 2023」

2.12(日) 10:00-17:00
講演セッション
1. 宇宙科学技術開発の現場
2. 有人宇宙開発における人への対応
3. 宇宙開発をめぐる法と政治と倫理
パネルディスカッション：宇宙開発と人材育成 ほか

◎登壇者
永松愛子（宇宙航空研究開発機構）
佐藤達彦（日本原子力研究開発機構）
高橋昭久（群馬大学）
青木節子（慶應義塾大学）
鈴木一人（東京大学）
中村正人（宇宙航空研究開発機構）
ほか

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
<https://www.usss.kyoto-u.ac.jp/symp/16th/>

主催◎京都大学宇宙総合学研究ユニット
共催◎京都大学大学院理学研究科附属天文学、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
後援◎京都府教育委員会、京都市教育委員会、宇宙航空研究開発機構

当シンポジウムは文部科学省宇宙航空科学技術推進委員会「倫理学を基礎とした宇宙人材育成プログラムの開発と実施」および「将来の有人宇宙活動を支える宇宙医学人材養成プログラムの創出」による支援を受けて開催されます。



アルテミス1号が打ち上がり、有人月探査「アルテミス」計画がいよいよ本格的に始まりました。一方で民間による宇宙開発も加速しており、宇宙がかつてないほど私たちに身近になってきています。その一方で、現実的な課題もみえてきました。そこで、宇宙技術開発や、宇宙開発に伴う諸問題の検討に従事する人材の育成が急務の課題となっています。大学の果たすべき役割は大きいといえます。

京都大学宇宙総合学研究ユニット（宇宙ユニット）は、理学、工学、人文学、社会科学などの幅広い領域にわたる総合的な宇宙研究の開拓を目指して発足し、JAXA/ISAS や他大学と連携しつつ、人類の生存圏としての宇宙に関わる諸問題の研究、および宇宙開発利用や有人宇宙活動を担う人材育成のための教育を行っています。宇宙ユニットシンポジウムは、現在進行している宇宙開発の新たな局面について、学際的な研究・教育の視点から議論を発展させ、市民と研究教育者の対話を通じて交流を深め、宇宙関連分野を活性化することを目的とするものです。今年度のシンポジウムでは、初日にポスター展示交流会と特別講演、2日目に3つの講演セッションとパネルディスカッションを実施します。

ポスター発表・一般参加申し込みについて

※ 数に限りがありますので、お早めにお申し込みください。

※ **ポスター発表の申込受付は終了しました。**

一般参加申し込み（対面参加のみ） 応募〆切：2023年2月2日（木）

日時と場所

日時：2023年2月11日(土)・12日(日)

場所：国際科学イノベーション棟 5階（京都大学吉田キャンパス）

1日目 2月11日(土) 13:00-17:00

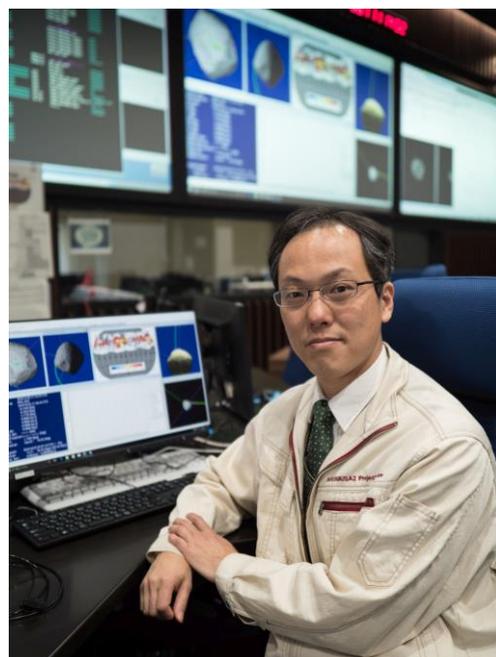
ポスター展示交流会「宇宙研究の広場 2023」 13:00-15:15

※ **ポスター展示交流会につきましては、新型コロナウイルス感染防止の観点から、今回はポスター発表者のみの参加とさせていただきます。（感染症対策の施設規則により、ポスター発表者以外はご入場いただけません。）**

特別講演：津田 雄一「はやぶさ 2 が切り拓いた宇宙探査の新時代」 15:30-16:30

小惑星探査機「はやぶさ 2」は、小惑星サンプルリターンミッションの 2 号機であり、日本においても世界においても 2 例目となる惑星間往復航行を成し遂げました。本講演では、はやぶさ 2 の科学的意義、工学的な挑戦を振り返るとともに、リュウグウに関する最新の科学成果について紹介します。

ポスター賞表彰式 16:30-17:00



津田 雄一 氏（JAXA 宇宙科学研究所 教授、はやぶさ 2 拡張ミッションチーム長）

2日目 2月12日(日) 10:00-17:00

講演セッション1：宇宙科学技術開発の現場 10:00-11:15

本セッションでは、宇宙科学技術開発に携わる専門家の方々に実際の開発現場について講演していただきます。開発や研究に関わる内容だけでなく、宇宙科学技術開発だからこその困難や面白さ、日々の生活スタイル、キャリアパスなどについてもざっくばらんに論じていただきます。

講演

- ・尾崎直哉（JAXA 宇宙科学研究所 特任助教）
「宇宙工学分野における若手研究者の日常と夢」
- ・永松愛子（JAXA 研究領域主幹、高エネルギー加速器研究機構 客員教授）
「（仮題）国際宇宙探査に向けた宇宙放射線環境の把握」

司会：上ノ町水紀（本学宇宙総合学研究ユニット特定助教）

講演セッション2：有人宇宙開発における人への対応 12:30-13:45

本セッションでは、宇宙環境に滞在する宇宙飛行士や宇宙旅行者に生じる影響について、専門家を招き講演していただきます。地上と異なる宇宙という特殊な環境で、人の身体にどのような影響が生じ、どのように対策していく必要があるのかを議論します。

講演

- ・高橋昭久（群馬大学重粒子線医学研究センター 教授）
「宇宙での放射線と重力変化の複合影響」
- ・佐藤達彦（日本原子力研究開発機構 研究フェロー/大阪大学核物理研究センター 特任教授）
「宇宙飛行士を宇宙線被ばくから適切に護る ～有人火星探査の被ばくりスクはどのくらい？～」

司会：山敷庸亮（本学総合生存学館教授）

講演セッション3：宇宙開発をめぐる法と政治と倫理 14:00-15:15

本セッションでは、宇宙開発をめぐる国際的な法と政治の状況について、それぞれの専門家に講演していただきます。現在、アルテミス計画や民間企業による宇宙開発が盛んに進行する中、国際社会は新たな法的・政治的な課題に直面しつつあります。その現状と将来のあるべき展開について、倫理的問題にも目を向けつつ考えます。

講演

- ・青木節子（慶応義塾大学 法務研究科（法科大学院）教授）
「地球・月圏構築時代の国際宇宙法の現状と課題」
- ・鈴木一人（東京大学 公共政策大学院 教授）
「宇宙開発の国際政治」

司会：近藤圭介（本学法学研究科准教授）

パネルディスカッション：宇宙開発と人材育成 15:30–16:45

宇宙開発においては、JAXA と大学や企業、および大学間の連携がキーワードとなります。本セッションでは、上記 3 セッションの話題をふまえて、JAXA 研究者も交えて、これからの人材育成のあり方、大学に期待される役割等について、参加者のご意見も交えて議論します。

登壇

- ・尾崎直哉（JAXA 宇宙科学研究所 特任助教）
- ・高橋昭久（群馬大学重粒子線医学研究センター 教授）
- ・青木節子（慶応義塾大学 法務研究科（法科大学院）教授）
- ・中村正人（宇宙科学研究所 太陽系 教授） ほか

司会：浅井歩（本学理学研究科准教授）

閉会式 16:45–17:00

劇的な増光を示すクエーサーの探査

名越俊平

京都大学 理学研究科宇宙物理学教室 博士後期課程 3年

はじめに

私の研究は、クエーサーという銀河系の外にあって極めて明るく輝く天体の、明るさの変動現象が専門です。中でも本記事では、最大規模の増光現象を発見した成果について紹介します。本記事は日本天文学会欧文研究報告誌にて発表した内容[1]を元に執筆しました。

背景

宇宙に無数に存在する銀河は、一般的に巨大なブラックホールを保有していることが知られています。その質量は太陽の100万倍以上もあり、どのようにこれほど大質量に成長してきたのが宇宙物理学の中で大きな問題として考えられています。そのような巨大なブラックホールは、重力によって周囲の物質を取り込む際に、重力エネルギーを光へと変換して光る天体として観測されることがあります。このような天体はクエーサー（図1）と呼ばれ、非常に明るいことから遠くにあっても観測することができ、宇宙の歴史を知るために重要な天体です。



図1：クエーサーのイメージ図。中心に超巨大ブラックホールがあり、その周りを取り囲むガスが円盤状に明るく輝いている（図：名越俊平）。

宇宙の歴史の中でブラックホールがどのように成長したのかを知るためには、ブラックホールの質量を測定する必要があります。クエーサーが持つブラックホールの質量は、周囲を取り囲むガスの運動を観測する

ことによって推定できます。クエーサーは非常に高エネルギーで輝いているので、周囲のガスの一部は電離して輝線を放射します。その輝線放射源の速度分布は中心のブラックホール質量に依存しているため、速度分布を測定することができればブラックホール質量が推定できます。ここで、輝線放射源の典型的な速さは光のドップラー効果によって広げられた輝線の幅から測定することができます。しかし、詳細な構造については未解明な点が多く、どのような構造を仮定するかによってブラックホール質量の計算結果が変わってしまうという問題点を孕んでいます。つまり、輝線放射源の構造について知ることが重要な課題として残っています。

私の研究はクエーサーの光度変化に着目することで、輝線放射源の構造について知ることを目指しています。クエーサーは時間経過によって明るさが変動する性質を持っています。光度変化は周囲のガスにも影響を与えるため、変化過程を観測することで構造について新たな知見を得られることが期待できます。

変動の様子を観測する際、大規模な変動を観測対象にした方がその様子を明確に捉えることができます。クエーサーの光度変化は、数ヶ月の間に 20%程度ランダムに変化するのが典型的と考えられてきましたが、一部のクエーサーは数年の間に数倍も明るさの変動を示すことが近年の研究によって報告されてきました[2]。このような、何倍も明るさが変動する天体の場合、変動幅が大きいため輝線放射源のうち、どこがどのように変化したのかが観測できることが期待できます。

そこで本研究の目的は、大規模な光度変化を引き起こしたクエーサーを新たに発見することと設定しました。特に、以前暗かったものが明るく変化した天体を探すことにしました。明るくなったクエーサーを探すのは、発見した後の追観測が容易になることが期待できる一方で、先行研究ではほとんど見つかっていないからです。先行研究で見つからない原因は、昔の観測ほど明るい天体が優先的に観測されることによる選択バイアスが考えられます。そこで、本研究では観測限界が充分深く、連続的な変化を調べられる、時系列測光データを用いることで長期間継続して明るくなっているクエーサーを探すことにしました。

研究手法

多数天体の時系列測光データを解析することによって、連続的に増光しているものに絞り込みます。そこで、まずは Sloan Digital Sky Survey[3]という分光観測データを元に作られたクエーサーカタログにある天体について、Catalina Real-time Transient Survey[4]によって得られた時系列測光データを集めました（この時点で約 2 万天体）。次に、時系列測光データを一次関数フィッティングすることで、明るくなった度合いを評価しました（図 2）。一次関数フィッティングでは、明るさの平均値と単位時間あたりの明るさの変化量の情報が得られ、そのうち単位時間あたりの明るさの変化量が大きな数十天体について詳細に調べました。

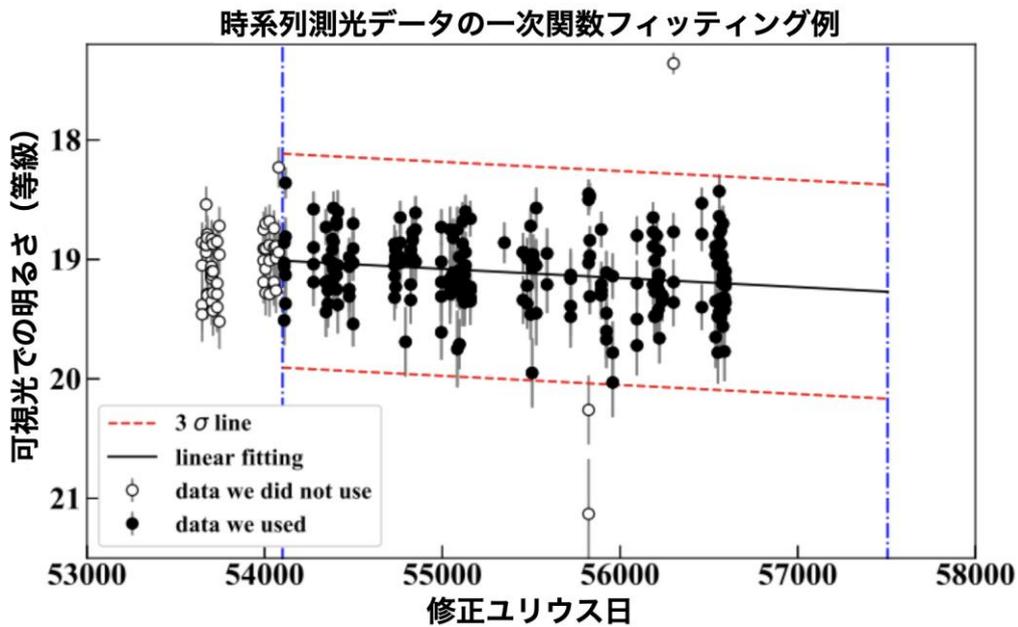


図 2：時系列測光データの一次関数フィッティング例。多数のデータ点から、単位時間あたりの変動量と平均値の特徴量が取り出せる。

研究成果

数十天体について先行研究から過去の情報を集めた結果、その中に 1 天体非常に大きな増光を示す天体 SDSS J125809.31+351943.0 (J1258) を発見しました。J1258 は約 30 年間も明るくなり続け、約 4 等級 (約 40 倍) も変動していることが分かりました (図 3)。これほどの変動は、同種のクエーサーの中で最大規模であり、重要な現象であると言えます。

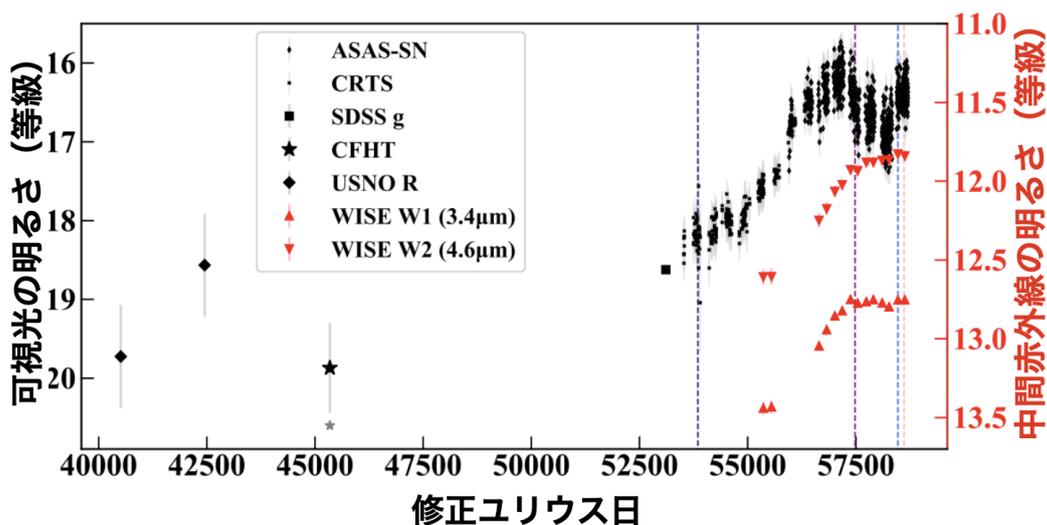


図 3：J1258 の明るさの変遷を表した図。可視光での増光が 10,000 日 (約 30 年)以上続いていたことが分かる。

今後の展望

本研究のモチベーションは、クエーサーの大規模な変動を利用して輝線放射源の構造を解明することにあります。そのために、大規模に増光した天体に絞って探査を始めました。本研究によって実際に、観測史上最大規模の増光現象を示した J1258 を発見することに成功しました。そこで、J1258 を追観測し輝線の形状がどのように変化しているのかを検証することが次のステップとなります。それによって、クエーサーの輝線放射源の構造解明へと近づけることを期待しています。

参考文献

- [1] Nagoshi, S., Iwamuro, F., Wada, K., and Saito, T., “Discovery of a new extreme changing-state quasar with 4 mag variation, SDSS J125809.31+351943.0”, Publications of the Astronomical Society of Japan, vol. 73, no. 1, pp. 122–131, 2021.
- [2] MacLeod, C. L., “A systematic search for changing-look quasars in SDSS”, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, vol. 457, no. 1, pp. 389–404, 2016.
- [3] Schneider, D. P., “The Sloan Digital Sky Survey Quasar Catalog. V. Seventh Data Release”, The Astronomical Journal, vol. 139, no. 6, 2010.
- [4] Drake, A. J., “First Results from the Catalina Real-Time Transient Survey”, The Astrophysical Journal, vol. 696, no. 1, pp. 870–884, 2009.

宇宙ユニットの活動やイベントについては、下記サイトをご覧ください。また、宇宙ユニットや本 NEWS に関する皆さんのご意見等も気軽に下記メールアドレスまでお送りください。

京都大学 宇宙総合学研究ユニット

<https://www.usss.kyoto-u.ac.jp/>

〒606-8502 京都市左京区北白川追分町 吉田キャンパス北部構内 北部総合教育研究棟 507 号室

編集人：今井 慶悟(宇宙ユニット RA)

Tel&Fax: 075-753-9665 Email: usss@kwasan.kyoto-u.ac.jp

宇宙総合学研究ユニット NEWS 2023年2月号



宇宙倫理学教育プログラムの受講生を紹介します！

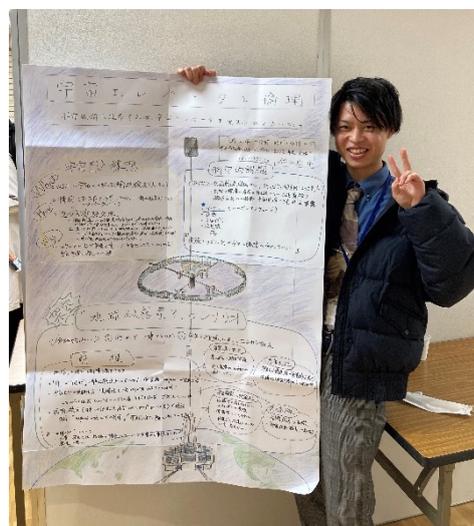
1月号に引き続き受講生紹介の第7弾です！今回は大学院コースとして参加されている鈴木聡平さん（京都大学工学部地球工学科2回生）に自己紹介文を寄稿していただきました！

鈴木聡平さん（学部生コース：工学部地球工学科2回生）

『「この後授業ある？何の授業？」この1年間、私はこのごく一般的に大学生の会話への返答に悩まされていた。だから月曜日の3限が終わった後の会話は、いかにこの質問が出ないように会話を進めるかが課題であった。この時だけ珍しく私が会話をリードする。しかしいつもミスリードで、少なくとも5回は「宇宙倫理学プログラム」について説明した。毎回うまく説明できず、語彙力のなさをしばらく引きずった（笑）。』

皆さん初めまして、上のエピソードの主人公を務めます、京都大学工学部地球工学科2回生の鈴木聡平と申します。先に述べたプログラムの2022年度のメンバーです。私の周りには外部プログラムを取っている人がおらず、また自身も初めての経験だったためその説明が難しかったです。私としてはもっとメンバーの面白さや議論のユニークさを熱弁して伝えたいのですが、手ごたえはまずまずでした。

ということで、この紙面でその思いを綴りたいと思います。今年度のメンバーは学部生、院生、一般コースのおじさんたち（敬称）で構成されていて、様々な年齢、分野、環境の人が集まっていました。それぞれが「宇宙×倫理」な研究テーマを考え、発表担当回でその研究内容について発表し、全員でそれについて議論をするといったことをしていました。発表者に質問をすることでほしい議論が始まるのですが、メンバーの専門分野の違いによってか、多種多様な質問が出てきて、聞いているだけで面白く、いつも置いていかれまいと頭をフル回転させていました。私はなかなか発言できず悩んでいた時期もありましたが、いざ発言すると真摯に耳を傾けてくれるメンバーや先生ばかりで次も思い切って発言しようと思えました。聞く力と話す力、そして独自の着眼点を持つ人ばかりで毎回得るものがたくさんありました。メンバーの皆さんにはこの場をお借りして心から感謝申し上げます。

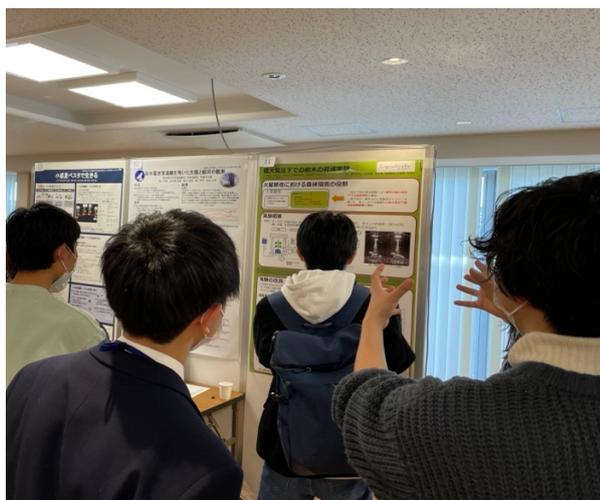


最後に、右上の写真について触れて私の自己紹介を結びとさせていただきます。これは「第 16 回宇宙ユニットシンポジウム」のポスター発表に参加したときの写真なのですが、私以外の 38 枚のポスターはすべてパソコン等で作った資料を印刷したもので、私だけが手書きでした。高校生も多くいるなか、21 歳男性はアナログなポスターで初めてのポスター発表を行いました。中身は、「宇宙エレベータと倫理」という題で、宇宙エレベータが建設された世の中ではどのような倫理的問題が出てくるのかという内容です。もちろん機会があれば次も手書きで参加しようと思います。いつもと違う環境に飛び込むことは緊張と好奇心とその他いろいろな感情が出てきましたが、「えいやっ」と飛び込むことで新たな出会いや発見がありました。今後もアンテナを張り巡らせ、面白そうな企画に積極的に参加しようと思います！ありがとうございました。

第 16 回京都大学宇宙ユニットシンポジウム開催報告

2023 年 2 月 11 日（土）、12 日（日）に第 16 回宇宙ユニットシンポジウム「宇宙開発時代をどう生きぬくか——大学の役割を問い直す」を開催しました。

11 日に行われたポスター展示交流会では、高校生、大学生、研究者、NPO 等から 39 件のポスター出展があり、感染症対策による人員制限がありながらも、100 名弱ほどの参加者が集まりました。3 年ぶりの対面での交流会ということもあり、それぞれの宇宙に関わる発表テーマについて、活発な意見交換が行われました。なお、特に優れていたポスターには宇宙ユニット長賞・優秀賞（高校生以下の部・一般の部）・最優秀賞を授与しました。今月号では、優秀賞高校生以下の部を受賞した佐藤翼さんの発表を紹介させていただきます。また、その後に行われた津田雄一教授（宇宙航空研究開発機構）の特別講演にもたくさんの方に参加していただきました。



（写真 1：ポスター賞の様子）



（写真 2：授賞式の様子）

【優秀賞受賞ポスター】

- 最優秀賞：①垂井千結 他（京都市立堀川高等学校）

「自作電波望遠鏡を用いたふたご座流星群の観測」

② 秦みのり（京都市立堀川高等学校）

「安価なガイガーカウンター製作」

③ 下橋以紗也 他（京都市立堀川高等学校）

「光ドブラー効果を考慮してみえる降着円盤の姿」

- 優秀賞（一般の部）：馬淵 正展 他（全国宇宙教材コンテスト/自由が丘サイエンスキッズ）
「オンライン教室で有効な宇宙教育教材」
- 優秀賞（高校生以下の部）：佐藤 翼（岡山白陵高等学校）
「密閉空間における植物の生命維持」
- 宇宙ユニット長賞：植村優香 他（京都大学）「FRONTIER で考えるジェンダー平等 #2」

12 日には、宇宙科学技術開発の現場、有人宇宙開発における放射線の影響の問題、宇宙開発をめぐる政治と法と倫理の議論をテーマにしたそれぞれの講演が行われ、パネルディスカッションでは人材育成のあり方について専門家同士の意見交換が行われました。その模様は読売新聞社様に取材していただきました。

本年は待望の対面での開催となりましたが、感染症対策の影響で参加者数に制限をかけての開催となりました。来年度はより多くの参加者の皆様にご参加いただければと存じます。

密閉空間における植物の生命維持

佐藤 翼

（岡山白陵高等学校）

（はじめに）

近年、宇宙科学分野では宇宙移住計画に向けた技術開発が進んでいる。この計画において植物が大きな可能性を秘めていると考えこの研究を始めた。1990 年にアメリカで Biosphere2 という大規模人工生態系を作りその中で人が生活する実験が行われた。この計画は当初 100 年間続く予定であったが失敗に終わってしまった。理由としては研究員の精神的な疲労のほかコンクリートが二酸化炭素を吸収されてしまい、嫌気性細菌が減り好気性細菌が増えすぎってしまったために内部では酸素供給に支障が出たことが挙げられる。しかし、これらの原因は密閉空間における生命維持が不可能であるという証明にはなっておらず Biosphere2 の根本的な理論は間違っていないと考えた。本研究では 4 年にわたり自作の密閉容器 Ecosphere と生態系密閉容器 Biosealed を作製・改良を繰り返し、密閉空間における植物及び生き物の生命維持が可能であることを証明することができた。今回は最新の研究成果を書かせていただく。

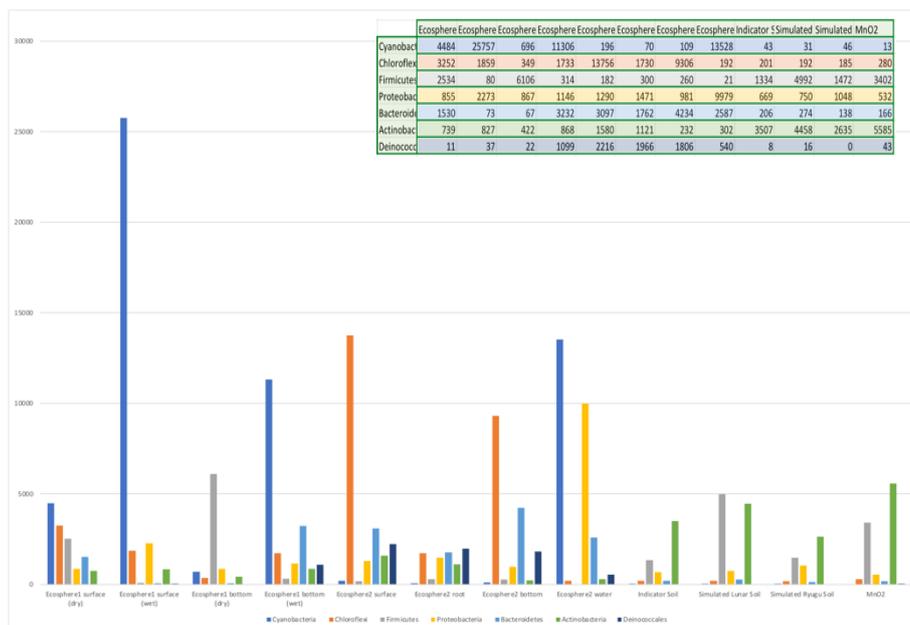


(実験協力)

岡山大学 平山 隆志 教授、岡山大学 村田 芳行 教授、九州大学 吉田 敏 教授、日本大学 小泉 公志郎 准教授、東京大学 酒井 雄也 准教授、岡山大学 中村 栄三 教授、東京大学 宮本 英昭 教授、中国電力株式会社、名古屋大学 紅 朋浩 助教、京都大学 門脇 浩明 教授、京都大学 門脇研究室、名古屋大学 島村 徹平 教授、名古屋大学 島村ラボ

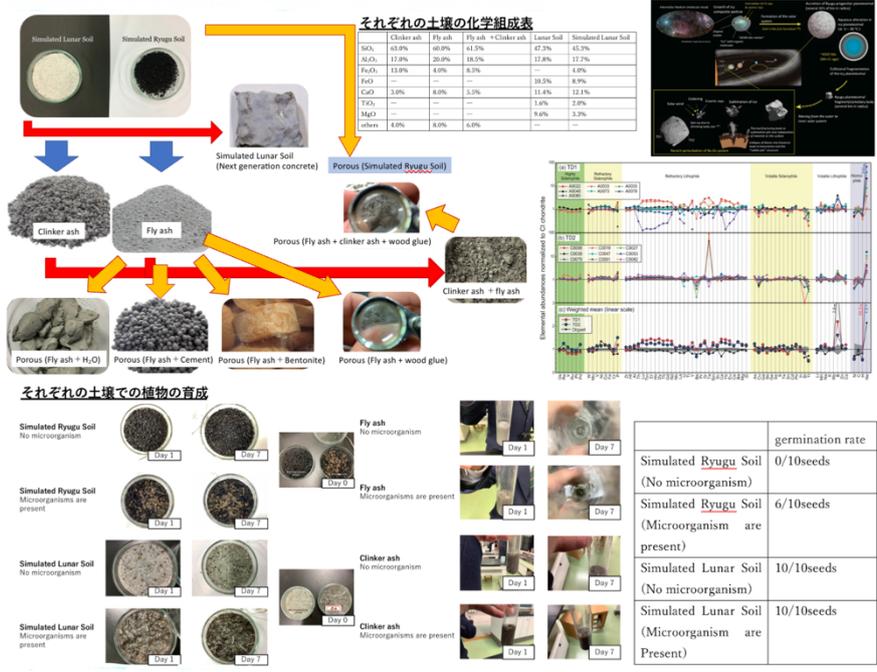
これまでの研究結果は QR コードからアクセスできます。実験の進展のためにも何かがご意見などがありましたら是非ご連絡していただけると嬉しいです。(okay.bio.sato@gmail.com)

(実験 1)次世代シーケンサーを使用した RNA-seq 解析 MiSeq を使用して Ecosphere 内における微生物の多様性について調べた。この結果を R 言語を使用して処理することで相互関係についてもわかった。



当初の考察通り根の付近に多くの窒素固定菌である根粒菌が多く存在し、表面土壌にはネンジュモ (イシクラゲ) が存在した。特にファーミキューテス門は乾燥に強いので乾燥している部分や過酷な環境下で多く見られる。ファーミキューテス門が増えている土壌では植物が生えにくいのでこれらより一つの指標として捉えて良いと考えた。またシアノバクテリアは水を好み地下水層もしくは底部に多く存在し、クロロフレクサス門は酸素非発生源型光合成をするのだが彼らが表面土壌に多く見られた。また放射菌と呼ばれる抗生物質を出すものが増えていると周りの微生物が増えることができず植物の生育に影響が出ていると考えられることがわかった。Ecosphere1 では増えず Ecosphere2 でしか増えることができなかった Deinococcus-Thermus 門の生態についても調べていきたい。

(実験 2) 惑星模擬土壌での植物の育成



実験で多孔質化したのは土壌の粒子が細かすぎると微生物が存在することができないからだ。リュウグウの模擬土では種子が黒くなり植物が発芽しなかった。しかし後の実験で黒くなった種子を普通の土壌で栽培したところ発芽したためリュウグウの模擬土に多く含まれる炭素が種子に張り付くことで呼吸ができず発芽しないと考えられる。(実験①)で月の模擬土・リュウグウの模擬土における微生物の増殖と多様性についても解析した。

(実験 3) 密閉空間における生命維持

実験を始めて1年目の夏にEcosphere内にハエの死骸があった。
 →使用した土壌にハエの卵があったためと考えられる。
 (同じ条件を再現して実験した結果)

以前ハエの卵を見つけたことがある場所の土壌を使い、3個のEcosphere 1を用意しハエの孵化・成長を観察した。



密閉空間における生命維持は可能である。

(これからの展望)

- ・エチレンガスによる植物育成の阻害が考えられるので zeolite と KMnO4 を使用したエチレンを水に還元することができる土壌の作成を試みている。
- ・Biosealed(学校で放棄されていたビニール傘を分解し接着剤でつけ工業用シリコンを使い固めた正二十面体のビニールハウス)を使用した密閉空間における多様な生態系の実現させたい(エントロピー破綻も考えて大きいものにする必要があるという点もふまえた)。

宇宙ユニットの活動やイベントについては、下記サイトをご覧ください。また、宇宙ユニットや本 NEWS に関する皆さんのご意見等も気軽に下記メールアドレスまでお送りください。

京都大学 宇宙総合学研究ユニット

<https://www.usss.kyoto-u.ac.jp/>

〒606-8502 京都市左京区北白川追分町 吉田キャンパス北部構内 北部総合教育研究棟 507 号室

編集人：高口 和也（宇宙ユニット RA）

Tel&Fax: 075-753-9665 Email: usss@kwasan.kyoto-u.ac.jp

宇宙総合学研究ユニット NEWS 2023年3月号



宇宙倫理学教育プログラムの受講生を紹介します！

2月号に引き続き受講生紹介の第8弾です！今回は学部生コースとして参加されている射水暉介さん（京都大学文学部3回生）に自己紹介文を寄稿していただきました！

射水暉介さん（学部生コース：文学部 倫理学専修3回生）

みなさん、はじめまして。文学部倫理学専修の射水暉介と申します。宇宙倫理学教育プログラムの1期生であり、このたび初の修了生（うちのひとり）となりました。様々な知識と関心を持ち、それぞれの視点を生かしながら楽しげに意見を交わす雰囲気の中で宇宙倫理という分野に接し、こうして成果を提出できたことをうれしく思います。先生方、参加者のみなさん本当にありがとうございました。

はじめ、私がこのプログラムに参加したときには、特に深い理由があったわけではありませんでした。3回生より文学部の倫理学研究室に配属されることになり、それと同時に宇宙倫理学のプログラムがあることを友人づたいで知ったために、えいやと倫理の海に一気に飛び込むつもりで参加したのです。もともと水谷雅彦先生の倫理学概論の講義の最後の項目が宇宙倫理であったため、その幅広さと宇宙時代を考えることへのワクワク感を覚えて興味を持っていたこともありすぐに応募を決めました。

しかし実際に参加してまず痛感したのは自分の未熟さでもいうものでした。参加者の方は自身の専門を持ち、その視点に立脚した興味を持って、あるいはすでにある程度の専門知識を有している方が多く、宇宙に関しては素人同然、倫理に関しても右も左もわからないひよこだった私は、圧倒され、自分の専門分野になるはずのものがわからないことへの焦燥感を覚えていました。

しかし、みなさんの発表を聞き、意見を聞き、お話をし、指摘を受けながら、少しずつ少しずつ様々な宇宙倫理に触れるにつれ、ますます宇宙と宇宙倫理の幅広さに慄くと同時に徐々に自身の興味が明確に



なり、だんだんとこれまで見えなかったものが見えてくるようになりました。今思えば、学部での自身の専攻と並行して、倫理学を用いている倫理学専攻以外の多様な方々と出会えて潤沢な議論の場を持てたことは本当に貴重なことでした。そのことで自身の視野が広がり、倫理学のとらえ方も豊かになったように思います。倫理学の社会への働きかけや実践といったものへの興味も強く覚えるようになりました。

最後に少し、自身の研究や今後についてお話ししようと思います。私の現時点での関心は宇宙と人類の今後の関係にある程度現実的に考えたいという点と、その関係性のあり方への懸念にあります。最終成果物は「月資源採掘の倫理的課題とその規制」というタイトルでした。アルテミス計画などの月面探査プログラムが進行していくなかで月資源の採掘が実行され、それが問題となるのではないかと考えて、月資源の採掘にたいしてどのような規制をするべきか論じた内容となっています。

宇宙倫理学教育プログラム自体は修了したわけですが、今後も本プログラムで学んだことを生かして宇宙倫理にかかわれたらと思っています。たとえば最終成果物に関して言えば、月資源の規制の在り方を考える前にそもそも月資源の採掘は本来的には許容されるのか、月そのものに内在的価値はあるのか、といったことをさらに検討してみたいと考えています。また、年度末にシンポジウムにも出させていただきましたが、そこでも新たな出会いや発見があり、さらにこれからも宇宙倫理にかかわることが楽しみにになりました。

そのようなわけで、今後もお世話になる気がいたしますが、どうぞよろしくお願いいたします。

宇宙倫理学教育プログラム（人文社会委託費）のお知らせ

2021年10月に発足した人文社会委託費プロジェクト「倫理学を基盤とした宇宙人材育成プログラム の開発と実践」について、定期的に、準備状況や活動内容などをお知らせしています。

1. 受講生募集

[2023年度受講生募集要項](#)を公開しました。以下のサイトからご覧いただけます。

webサイト：<https://www.ussp.kyoto-u.ac.jp/seep/>

概要は以下の通りです。応募をお待ちしています。

【応募資格】

2023年4月1日時点で以下のいずれかを満たしていること。

1. 京都大学に学部生または大学院生として在学している。（入学予定者を含む。）
2. 高校卒業または同等の資格を有している。

※ ただし、京都大学（吉田キャンパス）で実施される宇宙倫理学入門講義（前期）、宇宙倫理学演習（後期）・宇宙倫理学ゼミ（通年）（いずれも学期中の毎週月曜午後）に参加できる者に限る。

【コース】

受講者は以下の 3 コースのいずれかに所属する。

(宇宙倫理学演習や宇宙倫理学ゼミは全員共同で実施する)

- ・大学院コース (京都大学大学院生)
- ・学部コース (京都大学学部生)
- ・一般コース

【募集人員】

- ・大学院コース：若干名
- ・学部コース：若干名
- ・一般コース：若干名

【応募締切】

2023 年 4 月 4 日 (火)

【応募方法】

[応募登録用フォーム](#) より登録の上、**提出書類をメールにて送付 (送付先メールアドレスは下記)**。

(フォームでの登録だけでは応募は完了しませんので、十分にご注意ください。)

【採否通知】

2023 年 4 月 14 日 (金) までにメールにて通知。

【提出／問い合わせ先】

seep.usss.ku [@] gmail.com

2. 来年度 RA について

今年度から継続の 2 名に加えて、来年度新しく 2 名の RA を雇用し、受講生のチューターとして、また教育プログラム運営全般のサポートスタッフとしてご活躍いただく予定です。RA は以下の方々です。

- 今井 慶悟さん (継続) 文学研究科・科学哲学科学史専修 (来年度 D2)
- 高口 和也さん (継続) 文学研究科・倫理学専修 (来年度 D2)
- 白戸 春日 さん (新規) 理学研究科・宇宙物理学分野 (来年度 D2)
- 橋ヶ谷 武志 さん (新規) 理学研究科・宇宙物理学分野 (来年度 D1)

第 16 回 宇宙ユニットシンポジウムポスター紹介

今月号の研究紹介では、第 16 回宇宙ユニットシンポジウムで出展されたポスターの中から、以下の 5 つを紹介 します。お楽しみください。

- 「自作電波望遠鏡を用いたふたご座流星群の観測」 (最優秀賞受賞ポスター 1)
- 「安価なガイガーカウンターの製作」 (最優秀賞受賞ポスター 2)
- 「光ドップラー効果を考慮してみえる降着円盤の姿」 (最優秀賞受賞ポスター 3)
- 「FRONTIER で考えるジェンダー平等 #2」 (ユニット長賞受賞ポスター)
- 「オンライン教室で有効な宇宙教育教材」 (優秀賞 (一般の部) 受賞ポスター)

最優秀賞受賞ポスター 1

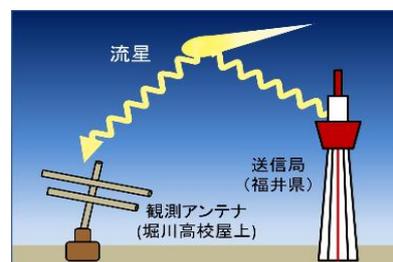
自作電波望遠鏡を用いたふたご座流星群の観測

垂井千結・藤野大毅・今井咲里

(京都市立堀川高等学校 自然科学部天文班)

1. はじめに

流星の観測方法として「流星電波観測」がある。流星が出現すると、その周辺の大気は電離して電波を反射できるようになる。そこに流星電波観測用に常時送信されている電波が反射することで、一時的に電波を受信することができる (図 1)。自作電波望遠鏡を用いて 2022 年 12 月中旬に出現したふたご座流星群の観測を行った。

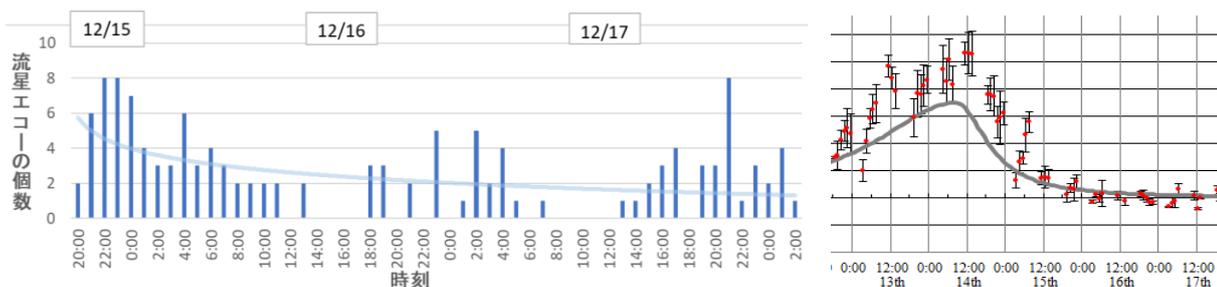


【図 1】流星電波観測の仕組み

2. 実験方法

堀川高校の屋上に八木アンテナを設置し、観測用ソフト MROFFT でふたご座流星群の観測を行う。12/15 の 20:00 から 12/18 の 1:00 までに観測された流星エコーをカウントし、流星の単位時間あたりの個数をグラフに示した。

3.結果

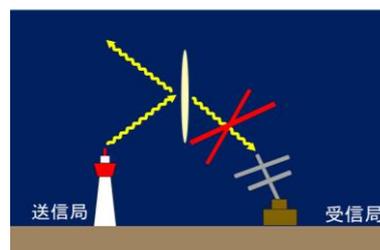


【図2】観測結果のグラフ
(左：堀川高校によるデータ 右：流星電波観測国際プロジェクトによるデータ)

得られたデータをグラフ化したものが図2の左図である。横軸は時間、縦軸が流星エコーの個数になっている。左図の近似曲線と右図の公開されている観測データを比較すると、個数が減少していく様子がおおよそ一致している。また、16日の午前1時頃から3時の時間帯に流星エコーの減少が見られた。

4.考察

16日未明に流星エコーの個数の減少が見られたのは、天頂付近から流星が出現することで流星に反射された電波が電波望遠鏡に届きにくくなる天頂効果によるものだと考えられる(図3参照)。この時刻は輻射点の南中時刻に一致する。



【図3】天頂効果の仕組み

5.結論

今回得られたデータは観測当時の状況と対応しているため、アンテナの観測能力に大きな欠陥はないといえる。また、天頂効果による流星の個数の減少が観測された。観測時のノイズを減らす方法についても今後考えたい。

6.参考文献

流星電波観測国際プロジェクト、「2022年ふたご座流星群電波観測速報」

<<https://www.amro-net.jp/flash/gem-2022.html>>

安価なガイガーカウンターの製作

秦みのり

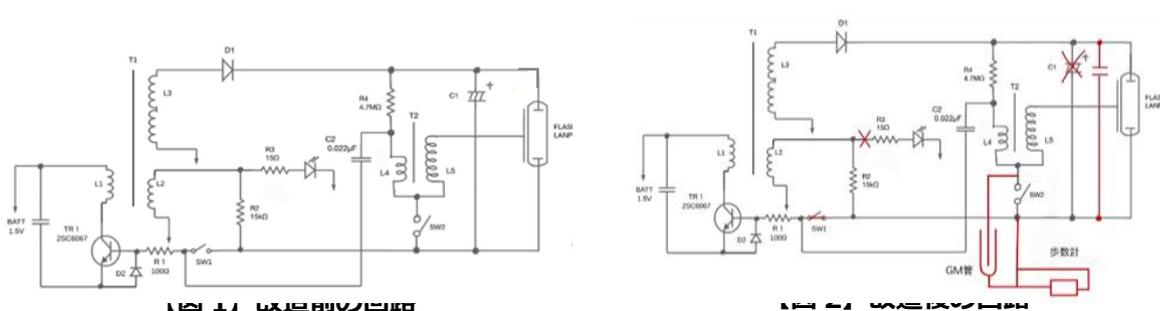
(京都市立堀川高等学校 2年)

1.はじめに

宇宙線とは宇宙空間を飛び交う高エネルギーの放射線で、地球にも常時飛来している。そんな宇宙線を含む放射線を検知し、放射線量を測定するガイガーカウンターという装置がある。ガイガーカウンターの相場は1万円～約10万円と高価で、身近なものとは言い難い。そこで、ガイガーカウンターを安価に自作することで放射線教材としてガイガーカウンターをより身近にするとともに、宇宙線を含む放射線の観測と特性の調査を目指した。

2.ガイガーカウンターの仕組み

ガスを封入した筒(GM管)に高い電圧をかけると、筒中に放射線が入ったときガスが電離する。それにより生じた電子を増幅することで放射線量を測定する。



3.製作・実験方法

電池を電源としスイッチで作動し、安定した電圧が供給され、しかも何度も実験可能で継続して測定を行えるガイガーカウンターを製作した。入手・作製のしやすさの観点から、カメラ「写ルンです(富士フィルム)」の内部回路に高電圧をかける。手順は以下の通りである。

- ①カメラを分解し中の基盤を取り出す。
- ②放射線が入るとフラッシュが光るように改造。(図1, 2参照)
- ③GM管 SI22G を接続する。
- ④スイッチ付きの電池カバーを繋ぎ、スイッチで作動できるようにした。
- ⑤歩数計内のふりこの接触部分を銅線で繋いだものを接続した。

4.結果

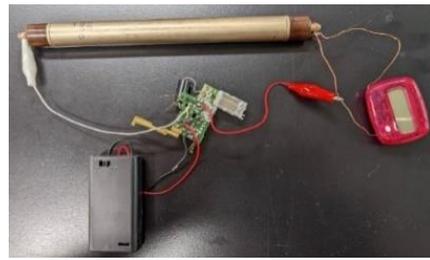
GM 管部には 750V の電圧がかかっていた。発光時のフラッシュの強さは毎回違っていた。10 回実験し、1 分間のカウントの平均は 79.9 回だった。

5.考察

放電時のフラッシュが強いときは放射線の電離によって生じた電子が多いときであり、放射線が GM 管をまっすぐ貫くように入り GM 管内での放射線の滞空時間が長く電離が多いときである。(図 4 参照)

6.結論

3000 円弱の安価なガイガーカウンターを製作することができた。GM 管も自作し、より安価な製作を目指したい。



【図 3】 製作したガイガーカウンター



【図 4】 フラッシュの強さ

最優秀賞受賞ポスター3

光ドップラー効果を考慮してみえる降着円盤の姿

下橋以紗也・福元望月・松井志織・五十嵐潤

(京都市立堀川高等学校)

1.はじめに

降着円盤とはブラックホールなどの質量の大きな星にガスが降着してできる円盤である。ガスは高速で回転しているため、光ドップラー効果によって元の波長とは違う波長の光が地球に届く。

2.目的

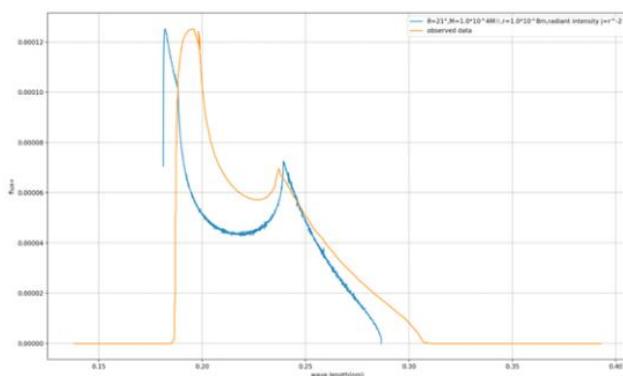
降着円盤上のガスから放射された輝線スペクトルが、特殊相対論的光ドップラー効果によってどれほど変化するのかを調べる。そして、中心にブラックホールがある降着円盤を持つとされるセイファート銀河 MCG-6-30-1 の鉄輝線の観測データ(Tanaka et al. 1995)と比較してそのパラメータを推測する。

3.実験方法

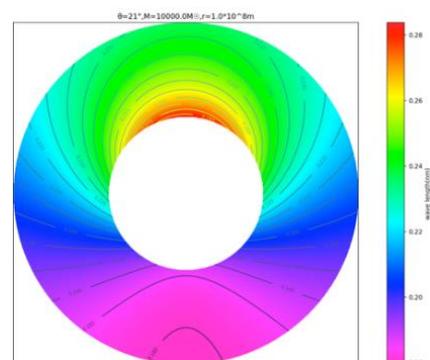
幾何学的に薄く不透明な降着円盤標準モデルに従って(Kato et al. 2008)、降着円盤の軌道傾斜角 θ 、外縁半径 R 、主星質量 M 、放射強度 m の4つのパラメータを変化させながら、放射される輝線をシミュレーションした。その後、MCG-6-30-1の鉄輝線の観測データ(Tanaka et al. 1995)と比較して各パラメータを推測した。

4.結果

各パラメータを変化させると、スペクトルのピークの強さや位置、スペクトルの裾野の形が変化した。これらの結果から、MCG-6-30-1の観測スペクトルにフィットするパラメータは $\theta = 21^\circ$ 、 $m = 2$ であると予想した(図1参照)。降着円盤上の狭い範囲で青方偏移が、広い範囲で赤方偏移が起こっている(図2参照)。



【図1】 MCG-6-30-1の観測された鉄輝線のデータとシミュレーションの比較



【図2】 MCG-6-30-1から放射される鉄輝線の波長の分布の予想

5. 考察

短波長側と長波長側で異なる特徴が現れたのは、光ドップラー効果の非対称性が原因だと考えられる。また、パラメータの変化に対するスペクトルの変化は、各パラメータが変化したことでガスの地球に対する速さと角度が変化したからだと考えられる。

6. 参考文献

- 1) S.Kato et al. (2008) Black-Hole Accretion Disks Towards a New Paradigm. Kyoto University Press.
- 2) Y.Tanaka et al. (1995) "Gravitationally redshifted emission implying an accretion disk and massive black hole in the active galaxy MCG-6-30-15".

ユニット長賞ポスター

FRONTIER で考えるジェンダー平等 #2

宮本汐里（日本獣医生命科学大学 獣医学部獣医学科）

植村優香（京都大学医学研究科 人間健康科学系専攻修士課程）

齋藤良佳（京都大学 医学部医学科）

三垣和歌子（筑波大学大学院 人間総合科学学術院）

下結香（奈良県立医科大学 医学部医学科）

私たちは一昨年から、宇宙開発におけるジェンダーギャップについて検討してきました。この企画は、今回の宇宙飛行士選抜試験の募集要項が発表される直前に、宇宙医学に関心のある学生の団体である、Space Medicine Japan Youth Community (SMJYC) で行われたオンライン飲み会の中で、「身長制限を満たせないために宇宙飛行士を目指せない」という不公平感に複数の学生が共感したことがきっかけで始まりました。今回の選抜試験では基準が緩和されましたが、2008年の選抜試験では応募条件として、身長 158cm 以上 190cm 以下であることが求められました。さらに、宇宙服を着用して船外活動を行うには約 165cm 以上が必要であるという注釈がありました。158cm は日本人女性の平均身長に近い値であり、身長はおおよそ正規分布するため、前回の選抜では日本人女性の半数近くが身長の選抜条件を満たしていなかったということになります。

今回の宇宙飛行士選抜試験で、JAXA 宇宙飛行士としては 3 人目の女性の宇宙飛行士が誕生しました。JAXA 宇宙飛行士においては、山崎直子さんが 2010 年にフライトを行って以来、女性の宇宙飛行士による宇宙飛行が途絶え、長期滞在の経験がまだありません。宇宙飛行士は象徴的な一例ですが、宇宙開発全体を見渡すと、改善傾向にはあるものの依然としてジェンダーギャップに関わるさまざまな課題が残っています。

昨年の宇宙ユニットシンポジウムで「FRONTIER で考えるジェンダー平等 #1」と題しポスター発表を行いました。内容は、ジェンダー問題について話をした経験のほとんどなかったわたしたちが、まずはジェンダーについて口に出して議論をしてみた結果をまとめたものでした。

この議論の中で私たちは、

「現在の宇宙開発での価値観は、将来の宇宙社会の価値観に影響を与えるため、一人一人が、宇宙社会を構築していくという意識をもち、理念・理想を持って宇宙開発に関わっていく必要がある。」

つまり、専門分野に関わらず、宇宙開発に関わるすべての人が宇宙社会について考えることは重要であるという考えに至りました。また、ジェンダーギャップを視点の一つとして用いることには意義があるのではないかと結論づけました。さらに、議論のきっかけとなった身長制限については、ルーツによる体格の差が不利に働いたことが一因であり、ジェンダーギャップを考えることは、障害の有無や国籍など、ジェンダー以外のさまざまな属性について考えることと不可分であることに気づきました。

以下の画像は昨年発表したポスターの抜粋です。

その後、第 68 回日本宇宙航空環境医学会の学生セッションにて「宇宙開発における働き方に関する議論 - 男女比に注目して - 」という発表を行いました。この発表では、主に学生が主体である SMJYC メンバーの女性比率がおおよそ 50%であるのに対し、宇宙航空環境医学会の会員では女性比率が 12%であることに注目し、キャリアのどこかの段階で女性の方が宇宙医学から離れやすいので

はないかという仮説を立て、検討を行いました。議論の中で、宇宙開発にフレキシブルに関わることができる環境を整えることは、性別を問わず、様々な人の宇宙に関わりたいという思いを宇宙開発に生かすことができることに繋がるのではないかと、また、宇宙が身近になっている今ならばそれができるのではないかと、という考えに至りました。そこで、「検討を深める」「環境を整備する」「行動を起こす」の 3 つの側面の活動を長期的に継続することで、「誰でも目指せる宇宙の仕事」という目標を実現することができるのではないかと結論づけました。

学生セッションでの発表の後、学会の先生方から、「来年度の学会では託児所を設置しようと思う」といったフィードバックをいただきました。ジェンダー問題というと、その言葉だけで感情的な反発を受けたり、

FRONTIERで考えるジェンダー平等

わたしたちの提案

- 『理想』 現在の宇宙開発での価値観が将来の宇宙社会の価値観に影響を与えることを一人一人が意識し理念・理想を持って宇宙社会を構築していく
- 『教育』 STEM分野への女子教育の充実や、養育者・教育者をはじめとした社会の偏見の除去に取り組み
- 『キャリア』 女性のロールモデルを増やす
- 『学問領域』 人文的知見を持つ人々の参入促進、および宇宙開発に関わっている人々の人文的知見の向上
- 『デザイン』 新しいものを作るとき、ユーザーとしてなるべく多様な人を想定して作る
- 『地上』 地上にどう還元するかを自分自身でも考える
- 『弱さを隠さない』 失敗や不調をフォローし合い、再チャレンジができる社会を

ジェンダーギャップの視点から見た宇宙社会構築に対する理念・理想

- ・「女性を置き去りにして進む宇宙開発」では、地上での歴史を繰り返すことになってしまう。地上でのジェンダーに関する議論を宇宙分野でもすぐに生かすべきではないか。
- ・宇宙社会のベースには地上社会があるが、宇宙社会が独自に成長していくと、宇宙社会から地上社会が学ぶことが生まれてくる。
- ・属性ありきではなく人ありきで考える。
- ・属性や状況の多様な人々がそれぞれの能力を十分に発揮できる宇宙社会の構築をめざす。
- ・宇宙社会を作っていく0→1の作業は非常に難しいものである一方、新しい概念や価値観を取り込みやすく、大きな可能性を秘めているとも捉えられる。
- ・「だれか取り残していないか？」ということを考え続け、議論しながら進んでいくことは宇宙開発の責務の一つなのではないだろうか。
- ・「女性」以外にも宇宙社会への宇宙社会への参入障壁が大きい属性はある。
- ・ジェンダーギャップの問題は多様性の問題の一つ。

議論全体にネガティブな印象を持たれてしまったりすることもある中、先生方の柔軟さや公平性に改めて尊敬の念を抱くと同時に、主張をすることの意義を感じることができました。

そして 3 回目の発表となる今回は、「行動を起こす」の一例として考えた「ロールモデルの発見と紹介」をテーマとしました。宇宙開発に関わっておられる・関わろうとされている女性の方にお声がけを行い、出産や子育てについてどのように考えているか、性別による不均衡を是正するために社会や個人ができることは何だと考えているか、などの質問を含むアンケートにご回答いただき、結果をまとめたものをポスターとして展示しました。個別のご回答は雑誌をイメージしたデザインに編集し、ポスター交流会の参加者限定で、データの形で配布しました。

子育てについては準備が肝心であるというアドバイスや、何かを好きでいられることは特技のようなものだから、物怖じせずに自身の興味・関心を育ててほしい、といったエールを頂きました。

また、実際の使用はありませんでしたが、何らかの理由でポスターを見づらい場合にはポスターのデータが入った端末を貸し出ささせていただく旨を記載しました。情報保証として不十分ではありましたが、今後学習を進め、よりよい宇宙社会のためできることを行っていきたいと考えています。

今後は、まずは、宇宙開発におけるジェンダーギャップについて、日本以外の国との比較や、医学などのより多角的な視点から検討し、解消のための地道な働きかけを継続していきたいと考えています。また、宇宙開発における他のマイノリティのレンズを通して宇宙開発を見ることで宇宙社会の課題を検討し、よりよい宇宙社会を想像し、アクションを考えていきます。さらに、今回のアンケートの内容を改良した上で、より広範囲の方にご回答いただき、さまざまな人の宇宙に関わりたいという思いを叶えるためのデータベースを作成したいと考えています。

ジェンダー問題は複雑かつセンシティブであり、議論を行っていく中で心理的負荷の大きい場面も多くあります。また、私たちはジェンダー問題やフェミニズムについて専門として学んでいるわけではありません。そのため、私たちがこのテーマについて発表を行ってよいのかという迷いもありました。しかし、今回、賞をいただいたことで勇気づけられ、このテーマは、私たちがもっと本気で取り組むべき・取り組んでよいテーマであると考えようになりました。

自己批判の姿勢を忘れることなく、今後は徐々に議論の輪を広げていきたいと考えています。今後も温かいご指導・ご支援のほど、何卒よろしくお願い申し上げます。

オンライン教室で有効な宇宙教育教材

馬淵正展・川喜多誠二・塩見洋一

（全国宇宙教材コンテスト/自由が丘サイエンスキッズ）

1. 企画意図

2020年新型コロナ禍発生において事実上従来の対面式の実験教室の運営が困難となり、全国の宇宙教育指導者（旧 JAXA SEL）等の協力を得て、インターネットを有効活用した青少年向けオンラインの教室運営の在り方を検討し、その特性を生かした「宇宙教育教材/プログラム」の開発を行った。

2. 教材開発にあたってのオンライン教室の特性の理解

①メリット

- ・ 会場に人を集める必要がない、感染症の状況に開催が左右されない。
- ・ 参加者/講師/事務局の物理的距離が関係ない。旅費、会場費が必要なくプログラムに最適な全国の人材を活用できる、また全国への配信が可能である。

②デメリット

- ・ 複雑で濃密な実験を体験できない。
- ・ リアルなグループワークが不可能である。
- ・ 一体感の共有と深い人間関係の構築が難しい。

3. 特性に基づいた開発コンセプト

- ・ 生徒実験は zoom など講師が遠隔で参加者に製作指導可能な簡易なもの。
- ・ 材料は家庭や 100 円ショップなどで身近に簡単に入手できる（総額 500 円以内）。
- ・ 構造や製作は簡易でも、宇宙・科学技術の原理や仕組みの奥深さを体感できる。

4. 開発教材・プログラム例

①ロボットアーム



国際宇宙ステーションなどで利用されているロボットアームを簡易な工作で体験でき、無重量環境、宇宙開発など、話を広く展開できる。

材料：紙コップ、ビニールひも等

②風船ロケット



風船の空気の推力を使い本物の宇宙ロケットと同じ原理（作用反作用）で飛行する。

材料：風船、ストロー、画用紙、クリップ等

5.展開と今後

2020年10月 ZOOM を利用したオンライン教室の試行開催を始め、2021年4月より更に特化した「138億年宇宙の歴史 ビックヒストリーシリーズ」を全国の宇宙教育指導者の協力により1年半にわたって展開した。

従来では不可能だった多彩な宇宙科学プログラム開発が可能になり、一般参加者も日本国内に留まらず海外からもあったので、所期の目的は達成したと思われる。

今後は、リアル対面のオフライン教室が回復基調なのでオンライン教室の存在意義は薄れる傾向ではあるが、最適の人材を活用するプログラム開発手法、オン・オフの利点を生かしたハイブリット形式の教室運用など将来に生かせるノウハウの構築もできたと思う。



開催年月	テーマ(タイトル)	主な発信地	主な開発教材・プログラム等
2020.10 ～ 2021.3	試行期間 「はやぶさ 2 帰還/宇宙飛行士/望遠鏡/身近な宇宙」	東京/神奈川/名古屋/大阪/滋賀	オフラインとのハイブリット教室 長良隕石、宇宙飛行士選抜試験体験、望遠鏡作り 身近な真空実験等
2021.4	ピックアップ～宇宙の誕生	東京/神奈川	分子モデル作り(ハイブリット)
2021.6	星の一生～核融合	茨城/東京	太陽観察(中継)、立体天の川作り
2021.7	太陽系の誕生と系外惑星	京都/東京	系外惑星観測モデル実験、系外惑星シート
2021.8	夏休み自由研究 総集編 I	愛知/東京	かぶって見れる天球、火星の夕陽作り
2021.9	地球の誕生～動く大陸プレート	北海道/大阪/東京	夕張化石教室、大陸移動パズル・プレート実験
2021.10	生命の誕生～ストロマトライト	香川/東京	大気圧・光合成実験、空気分子モデル作り
2021.11	生物の進化と大絶滅	東京/東京	クレーターインパクト実験
2021.12	天文学と農業のはじまり	東京/東京	黄道 12 星座盤、日時計作り、月・太陽の動きと暦
2022.1	総集編 II	東京/東京	動物進化モデル作り、方位磁石
2022.2	車と鉄道の発明～産業革命	東京/神奈川	蒸気実験と機関モデル、バルーンローバー
2022.3	電気の利用～エネルギー革命 II	兵庫/兵庫/東京	回転と発電、不思議な静電気実験
2022.4	人類 空を飛ぶ～飛行機とロケット	東京/東京	飛ぶ種作り、風船ロケット
2022.5	人類 宇宙へ！～人工衛星と宇宙探査	神奈川/東京	リーマンサットのお話、ミウラ折り、ハニカム構造の実験に
2022.6	人類 宇宙へ！ II ～宇宙で暮らす	茨城/東京	宇宙飛行士コミュニケーション、ロボットアーム
2022.8	夏休み自由研究スペシャル	福井/東京	ポンポンホバークラフト、雲を作る実験、ジャイロカップ
2022.10	情報革命～そして未来へ	埼玉/兵庫/東京	モールス信号実習、情報媒体の歴史、遺伝子

宇宙ユニットの活動やイベントについては、下記サイトをご覧ください。また、宇宙ユニットや本 NEWS に関する皆様のご意見等も気軽に下記メールアドレスまでお送りください。

京都大学 宇宙総合学研究所

<https://www.uss.kyoto-u.ac.jp/>

〒606-8502 京都市左京区北白川追分町 吉田キャンパス北部構内 北部総合教育研究棟 507 号室

編集人：今井 慶悟（宇宙ユニット RA）

Tel&Fax: 075-753-9665 Email: uss@kwasan.kyoto-u.ac.jp

電通総研

宇宙倫理学とは何か ——トピックとポイント——

清水 雄也

30/08/2022



はじめに



自己紹介

所属 京都大学 宇宙総合学研究ユニット 特定助教

- **宇宙倫理学教育プログラム**の開発／実施. (後述)

専門 哲学 (科学哲学, メタ哲学, 応用倫理学)

- 因果関係の哲学, 社会科学方法論, 哲学方法論, **宇宙倫理学**.



宇宙倫理学教育プログラム (SEEP)



文部科学省宇宙航空科学技術推進委託費による事業.



倫理学とは

- 行為やルールの善／悪や正／不正について研究する哲学分野.
- 倫理学を構成する3つの領域.
 - 一般的基準や原理を探究する**規範倫理学**.
 - 個別の領域・トピック・事例を論じる**応用倫理学**.
 - 倫理学で用いられる概念・方法・前提を研究する**メタ倫理学**.

宇宙倫理学が応用倫理学の一種.



ELSIとは

- **E**thical, **L**egal, and **S**ocial Issues
- 新しい科学技術の実用化に際して生じる種々の課題.
 - 医療, 生物科学, 計算機科学など広範な分野で論じられている.
 - 宇宙の探査・開発・利用にも多用なELSI的課題が伴う.
- ELSI的議論の範囲は広義の倫理学と大きく重なる.



倫理と現実

- 倫理学の仕事は「何が善い／正しいことか」を探究すること。
 - 現実として起きていることの記述ではない。
 - 現実として何が起こるのかの予測ではない。
- 他方で、倫理(学)は現実と無関係ではない。
 - 現実の人間／社会は(部分的に)倫理的に動いている*。
 - 倫理的な言説が現実に影響を与えることがある。
 - 倫理学はインプット／アウトプット両面で現実を踏まえる。

* 俗説的な倫理軽視論は単なるチェリーピッキングにすぎないことが多い。



宇宙倫理学／宇宙ELSIのトピック

- 宇宙旅行ビジネスに伴う生命／健康リスク
- 宇宙資源開発と所有権
- 宇宙技術のデュアルユース
- 宇宙安全保障
- 公的資金による宇宙探査
- スペースデブリ
- テラフォーミング など。



宇宙倫理学のポイント

- 人類の宇宙進出を進めていく際の指針(の1つ)になる.
- 地球上での活動について考えているときには暗黙理に考慮されていなかった可能性に議論が及ぶことで, 倫理の一般理論的研究を深めることに資する.
- 地球上で従来支持されてきた倫理的な判断/主張の根拠を再考するための契機となる.
- 宇宙進出を考えることで,かえって地球の貴重さ/重要さがわかる.



宇宙旅行



宇宙旅行の(現段階での)種類

- サブオービタル飛行(宇宙まで上昇してすぐに帰還) [数十万ドル]
- オービタル飛行(地球を周回) [数千万ドル]
- 国際宇宙ステーション(ISS)滞在旅行 [数千万ドル]
- 月周回旅行 [数千万ドル]



宇宙旅行に伴うリスク

- 不確実な健康リスク
 - 宇宙線被曝, 骨量減少, 筋萎縮, 視力低下, 循環器系や免疫系への影響, 心的ストレスなど.
- 致命的な事故リスク
- 途中離脱の不可能性
- 旅行中トラブルの解決困難性



インフォームドコンセント (IC)

- **インフォームドコンセント**が宇宙旅行事業者の責任範囲を定めるための基本的な枠組みになるかもしれない。
 - ▶ 十分なリスク開示に基づいて買い手が判断したならば、それを販売してよいし、何かあっても免責されるという考え方。
 - ▶ 実際、アメリカ(のいくつかの州)では宇宙旅行ビジネス法制度にインフォームドコンセントの枠組みを採用している。



宇宙旅行とICの問題

- 現段階では、提供者側もリスクを十分に把握できていない。
 - ▶ **インフォームド**コンセントの重要な部分が成立しないおそれ。
- 医療とは異なり、生命や健康がかかっているわけではない。
 - ▶ 生命／健康を天秤にかけることがふさわしくないかもしれない*。
- 単なる「買い手の同意」は販売者の免責理由にならない**。

* 医療が非常に特殊な例であると考えべきだろう。 ** たとえばドラッグ。



宇宙・資源・所有権



宇宙資源ビジネスと所有権の問題

- 月や小惑星には水や貴金属などの資源があるが、それらを採掘して利用／販売するビジネスが企てられつつある。
- そこで採掘資源の所有権が問題となる。
 - 誰のものでもない月や小惑星から採れた資源は誰のものか。
 - そもそも誰かのものになってよいものなのか。



宇宙条約

- 第2条「月その他の天体を含む宇宙空間は、主権の主張、使用若しくは占拠又はその他のいかなる手段によっても国家による取得の対象とはならない」
- 天体や空間を国家が所有することは禁止しているが、そこから採掘された資源の扱いについては不明確。
 - 宇宙資源の所有は禁じられていないという解釈が可能。

天体や空間については、私人による所有も禁じられていると解釈される。



近年の動き

- いくつかの国で自国民に採掘資源所有権を認める法が成立。
 - アメリカ(15), ルクセンブルク(17), UAE(19), **日本**(21).
- 新しい国際的枠組みの設定に向けた複数の取り組みが進展。
 - 国連COPUOS, アルテミス合意, ハーグWG.



正当な所有権

- 宇宙資源の正当な所有権はどのようにして得られるか。
 - [1] 制約なし. (単純な早いもの勝ち)
 - [2] 取得可能な量に制約あり. (他者の取得分を十分に残すなど)
 - [3] 取得条件に制約あり. (採掘能力の不平等是正など)
 - [4] 取得不可能.
- 採掘能力に大きな偏りがある現状において, 単純な早いもの勝ちを認めると, 不正義や不平等の維持/拡大を帰結するおそれ.



宇宙技術とデュアルユース



デュアルユース

- **デュアルユース**：物や技術が平和／軍事の両方に利用可能なこと。
- 人工衛星をはじめとする宇宙テクノロジーの多くはデュアルユース可能性を持つと考えられる。
 - 最近の例としてはスペースX社のスターリンク。
- 科学やビジネスのための技術開発が、本来の目的でない軍事に転用される可能性に注意しなければならない。



国家・ビジネス・科学

- デュアルユースは、軍事に直接関わらない科学者や経営者が間接的に戦争やテロリズムに加担する可能性をもたらす。
- ビジネスや科学のための技術開発は、しばしば国家からの支援を受けて実施されるが、そうした際に、経営者や科学者は自らが軍事的な技術開発とどのような関係を取り結ぼうとしているのか熟考する責任があると考えられる。



デュアルユースの広範性

- しかし、宇宙技術のデュアルユース可能性はきわめて広範なためそれを完全に避けようとする、できることが少なくなりすぎる。
- 科学者や経営者が引き受けるべき責任の範囲について、理論的研究や市民的議論を成熟させていくことが重要。



被害可能性

- デュアルユースは、ビジネスや科学にとって、加害だけでなく被害の可能性ももたらすことに注意すべき。
- 軍事目的／平和目的の区別の難しさは、戦時等において、平和利用のための人工物が攻撃対象とされる可能性を高める。
- 特にビジネスにおいては、安定的なサービス提供という顧客に対する責任の観点などからも、デュアルユースに関する制度形成や議論の成熟に関心を向けるべき理由がある。



文献紹介

- 伊勢田哲治・神崎宣次・呉羽真(編), 2018, 『宇宙倫理学』, 昭和堂.
- 呉羽真・伊勢田哲治(編), 2022, 『宇宙開発をみんなで議論しよう』, 名古屋大学出版会.

