

宇宙倫理学教育プログラム外部評価用資料

宇宙倫理学とは

伊勢田哲治

京都大学 文学研究科

iseda213@gmail.com

1

宇宙倫理学(space ethics)とは

- 人間と宇宙との関わりにおいて生じる様々な道徳的問題を検討する
 - 宇宙開発が新しい局面を迎えつつある現在、われわれはなぜ宇宙に行くのか、宇宙に行ったら何が許され、何が許されないのか、をもう一度考え直す必要が生じている。
 - 地球の大気と重力に縛られ、地球の環境を前提とした思考から産まれた倫理は果たして宇宙空間、他天体でも妥当性を持ち続けるだろうか？
 - 将来あるかもしれない異質な他者との出会いにおいてわれわれはどう振る舞うべきだろうか？
- 倫理学の考え方をさまざまな現実問題にあてはめる「応用倫理学」の一種（生命倫理学、環境倫理学、情報倫理学など）

2

宇宙倫理学の具体的なテーマの例

- 宇宙空間の利用にどのような倫理的な制限がかかるか（安全保障、プライバシー、デブリ対策）
- 宇宙へ人を送り出すことにまつわってどういう倫理問題が生じるか
 - そもそも人類が宇宙進出する理由はあるのか
 - 誰が宇宙へ行くのか（公平性、許認可など）
- 宇宙に人が住み始めるとどんな倫理問題が生じるか
 - 惑星改変は許されるか、許されるとしたらどういう条件か
 - 宇宙の共同体はどのように運営されるべきか。宇宙の共同体に特有の倫理的配慮は必要か（労働問題など）
- 宇宙の資源は誰のものか
 - そもそも所有権はいかなる場合に発生するか
- 他の生物・知性と出会ったらどう接するべきか
 - 生命や知性について何が大事なのか。どういう存在なら倫理的に配慮すべき対象になるのか。

3

倫理の視点

- こうした問題について、単に自分の偏見や現状肯定ではなく、**できるかぎり客観性のある原理にもとづいて、できるだけ筋を通して議論する**のが倫理学の流儀。
- テーマとしては宇宙法とも重なるテーマが多いが、問題の捉え方という点では異なる部分もある。
 - **そもそもどのようなルールがあるのが望ましいか**を考えるという意味では法的議論に先立って倫理学の議論が必要
 - 現実の国際的な政治力学やすでに存在する規制から**ある程度自由に**何が倫理的に重要か、何が認められて何が認められないかを考えるモードも必要なはず。

4

倫理の視点

- たとえば生命倫理学では倫理学において自律、無危害、恩恵、公平の4つの基本原則が重要であることが確認され、生命倫理、医療倫理の指針や法制度の基礎となっている。
- 環境倫理学では環境の価値が人間にとっての有用性に還元されるのか否かということが1970年代以降論じられ、それを一つの背景として生物多様性保護などの環境政策の基本的価値観が形成されていった。
- これらの既存の応用倫理学の視点は宇宙倫理学においても参考になる（宇宙開発における公平性、惑星の環境の価値など）

5

宇宙時代の「エクセル方眼紙」にならないために

- しかし、宇宙倫理学は既存の応用倫理学をただ当てはめるだけの分野ではない。
- われわれが普遍的だと思っている価値はもしかしたら地球上のローカルな特殊事情の下でのみ意味をなすものかもしれない。そうした特殊事情を宇宙に進出したあとの世代にも押し付けるのは果たして理にかなっているのか。
- エクセル方眼紙：文書のデジタル化が進行しはじめた当初、エクセルのセルを方眼紙にみたてた「エクセル方眼紙」と呼ばれる書式が多く見られた。
- 紙ベースの文書作成になれたものにとっては自然な発想でも、デジタル時代においてはエクセル方眼紙はエクセルの本来の能力を殺して単に不便にしているだけにすぎない。
- 十分な想像を働かせずに機械的に今の倫理を宇宙時代に当てはめることはデジタル時代にエクセル方眼紙を押し付けるようなことにもなりかねない。

6

宇宙倫理学の国際的な動向

- 宇宙倫理学の国際的動向(2015年まで) については以下の文献が詳しい
 - 呉羽真ほか「宇宙倫理学会: 宇宙倫理学の現状と展望」『宇宙航空研究開発機構特別資料: 人文・社会科学研究活動報告集: 2015年までの歩みとこれから』37-61ページ、2016年3月
 - <https://repository.exst.jaxa.jp/dspace/handle/a-is/563056>
- 倫理学者の宇宙への関心の高まりという点では1980年代に最初の高まりがあった。
 - 1986『宇宙船地球号を超えて』（環境倫理学の考え方を宇宙にも拡張）
 - 1988『モニスト』誌の宇宙探査特集

7

宇宙倫理学の国際的な動向

- その後も宇宙についての倫理的考察は続けられてきた。
 - 2000 UNESCOの報告書『宇宙政策の倫理』
 - 2014『スペース・ポリシー』誌の宇宙倫理特集
- その他、ジェームズ・シュワルツ、トニー・ミリガンらによる論文や著書（『月はだれのものでもない』）が存在し、『スペース・ポリシー』誌をはじめ宇宙政策系の学術誌に論文が発表されている
- 応用倫理学の他の分野に比べると、専門の学会や学術誌がないことに代表されるように、一つの研究分野としてのまとまりは国際的にはまだ薄く、論文や書籍もそれほど多くはない。

8

宇宙倫理学の日本における流れ

- 京都大学宇宙総合学研究ユニットでの共同研究開始 (2012~)
 - 水谷・伊勢田「宇宙倫理学事始---宇宙進出と倫理学」 (第6回宇宙ユニットシンポジウム)
- 応用哲学会でのシンポジウム、サマースクール「宇宙開発について学び、一緒に考える」 (2014年9月8-10日)
- 宇宙倫理学会研究会発足 (2015~)
- 稲葉振一郎(2016)『宇宙倫理学入門』ナカニシヤ出版 (研究会メンバー)
- 伊勢田哲治ほか編(2018)『宇宙倫理学』昭和堂 (研究会メンバーの共著)



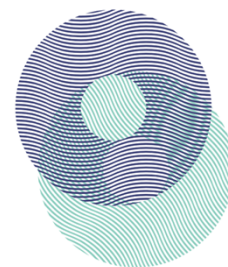
9

宇宙開発のELSI・科学技術社会論

- さまざまな派生プロジェクトも進行
- 京都大学SPIRITS学際型プロジェクト「将来の宇宙開発に関する道德的・社会的問題の総合的研究」
 - <http://www.usss.kyoto-u.ac.jp/wp-content/uploads/2021/02/booklet.pdf>
- 挑戦的研究(開拓)「宇宙科学技術の社会的インパクトと社会的課題に関する学際的研究」
 - 研究成果として『宇宙開発をみんなで議論しよう!』(仮題)出版準備中

将来の宇宙探査・開発・利用がもつ
倫理的・法的・社会的含意に関する
研究調査報告書

京都大学 SPIRITS: 「知の創造」融合チーム研究プログラム・学際型プロジェクト
「将来の宇宙開発に関する道德的・社会的課題の総合的研究」



SPIRITS

10

宇宙倫理学教育プログラムへ

- 宇宙倫理学研究会は、主に哲学者による、哲学的観点からの宇宙開発をめぐる問題の検討
- 哲学の議論はいろいろな視点が提示されて結論が出ないで終わりということも多い。
- 他方、現実の宇宙開発を「正しく」すすめていく上では、現時点でどういうことが問題になっているかを整理した上で、それを踏まえて開発の方針を選択していくという建設的な使い方が必要。
- そうした発想ができるような学際的なバックグラウンドを持った学生の育成が必要ではないかという観点から今回の宇宙倫理学教育プログラムが構想された。

11

宇宙倫理学教育プログラムの目指すもの

- 現在の宇宙倫理学はまだ萌芽的な段階にあり、宇宙開発の具体的な指針に組み込むべき道徳的原則などもまだ見えていない。
 - 生命倫理学はその意味では先行。
 - AIやロボットについては現在倫理的な観点も含んだ指針の策定が進行中
- 宇宙倫理学教育プログラムでは、先行する分野の成果を参考にしつつ、宇宙開発において倫理的原則に基づく開発の指針を作っていけるような人材の育成をめざす。
 - 指針といってもただ単に制約をかけるということではなく、指針があることで安心して研究や開発を展開できるという面もある

12

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



京都大学
研究代表者：嶺 重 慎
(宇宙総合学研究ユニット/
大学院理学研究科)

伊勢田哲治 他編著『宇宙倫理学』
(昭和堂 2018年)

育成する人材像

取り組む課題：

宇宙開発が進展するにつれて生じると予想される倫理的・法的・社会的問題に対応できる人材が希少であること

育成する人材像：

文理の枠を超えて宇宙に関する知識をもち、対応のスキルを身につけ、倫理学を基盤として判断し、問題解決できる人材

事業の目的：

上記人材を育成する教育プログラムを構築・実践し、育成した人材を宇宙開発の現場に送り出すことにより、倫理的判断で世界をリードし、我が国のプレゼンス強化に役立てる

「倫理学を基盤とした判断」とは？

何が問題か？

宇宙倫理の議論が不十分なため、宇宙開発に消極的姿勢が現れかねない

では、どうすればよいか？

「これは許容できないが、ここまではOK」という判断ができ、社会的コンセンサスを得る

そのために必要なことは？

生命倫理の四原則(無危害、恩恵、自律、公平)、環境倫理の原則(生物多様性保護、予防原則)と同様な原則を見だし、社会的に認知されること

適確な判断ができる人材育成 → 宇宙分野の裾野拡大に貢献

京都大学

宇宙総合学研究ユニット(宇宙ユニット)

宇宙開発時代を見越して「宇宙倫理学会」*を組織し、文理融合型の宇宙研究を具現化してきた。

(*宇宙倫理学会：世界的にみてもユニークな組織)



←『宇宙倫理学』

(伊勢田他編 昭和堂 2018年)
宇宙開発に付随して生じる問題に倫理学としてどう取り組むか、総合的・体系的に論じる。

シリーズ『宇宙総合学』→

(柴田他編 朝倉書店 2019年、全4巻)宇宙進出に我々は何を期待するのか？諸分野の専門家が宇宙に行く意味を考える。



本事業提案はこれらの実績をふまえた内容

教育カリキュラムの内容

(学生は各々の主専攻とは別に副専攻として取り組む)

講義(知識を習得)：宇宙に関する基礎知識を幅広く習得

演習(スキルを磨く)：クリティカルシンキングの手法に則り
実践的問題に取り組む

研究(判断力の涵養)：選んだテーマについて考究し発表

	学部1-2回生	学部3-4回生	大学院生
講義 (知識)	学部生向け 講義(文系) 学部生向け 講義(理系)		院生向け 講義(文系) 院生向け 講義(理系)
演習 (スキル)	学部生向け 演習		院生向け 演習
研究 (判断力)	専門研究ゼミ		

・黒字は既存の講義(一部改変)
・赤字は新設

5

事業期間中／終了後の計画

事業期間中：2年半で教育プログラムを完成

初年度：授業内容(シラバス・コースツリー)策定

講義検討(一部入替)、演習・専門研究ゼミテキスト作成

2年度：第一期生(学部・大学院)受入 → 講義・ゼミ・研究

自己・外部評価 → 教育プログラムにフィードバック

3年度：第二期生受入＋第一期生継続

事業終了後：宇宙ユニットの資源(予算・スタッフ)で継続

修了者には宇宙ユニットから修了証発行

(参考) 教育プログラムの年次進行表 (学部学生の例)

令和3年度 (2021年度)	令和4年度 (2022年度)	令和5年度 (2023年度)	令和6年度 (2024年度)	令和7年度 (2025年度)	令和8年度 (2026年度)	・・・ (10年間継続)
講義等の策定	教育プログラム実践と評価		教育プログラムの実行・評価・広報			
	1期生 発表会	発表会	発表会	発表会・修了		
	評価	評価	評価	最終評価		
		2期生	・・・	最終評価・修了		
↑ 本事業期間 (3年間)			3期生	・・・		6

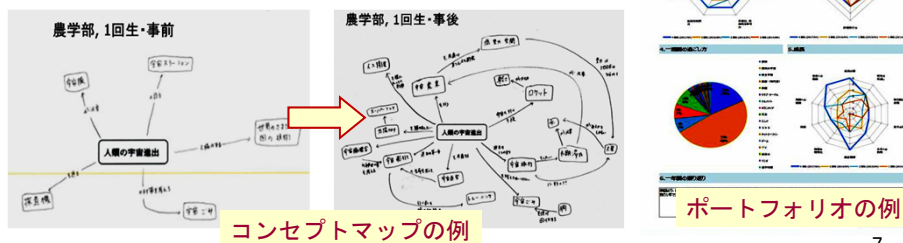
教育プログラムの評価

学生の評価 (学生による自己評価・教員評価)

- ・ **コンセプトマップ** : 用語とリンクを図示(事前・事後を比較)
- ・ **ポートフォリオ** : 入学から卒業・修了まで教育過程の個人記録
- ・ **研究発表会** : 学生による研究成果発表

教育プログラムの外部評価

- ・ 他大学・機関(JAXA等)・関連企業スタッフによる評価会の実施



7

事業成果の発信

宇宙ユニットシンポジウム(毎年)

- ・ 毎年2月に開催
- ・ 小中高校生・大学生、一般市民・企業の方など200余名が参加し**双方向**に交流
- ・ **研究者が参加者から刺激を頂くことも**

宇宙ユニットNEWS (毎月発行) :

- ・ 京大各部局と**全国約30機関**に配布
- ・ 宇宙ユニット主催プログラムの紹介
- ・ 教員・学生による研究最前線解説
- ・ 文理の枠や分野を超えた交流を行う

宇宙ユニットセミナー/研究会/ゼミ...

人類は宇宙に移住できるのか?

2.5日 13:00-17:00 (オンライン)

2.6日 9:00-17:30 (オンライン)

宇宙総合学研究所

宇宙ユニットシンポジウム開催!

2月5日(土)・6日(日)に宇宙ユニットシンポジウム開催!

第1回宇宙ユニットシンポジウムは、2009年開始の歴史をもち、参加者から多くの刺激を受け、宇宙ユニットの発展に大きく貢献しています。今年も、参加者から多くの刺激を受け、宇宙ユニットの発展に大きく貢献しています。

参加費無料・事前申込が必要です

宇宙ユニットシンポジウムは、2009年開始の歴史をもち、参加者から多くの刺激を受け、宇宙ユニットの発展に大きく貢献しています。今年も、参加者から多くの刺激を受け、宇宙ユニットの発展に大きく貢献しています。

8

事業予算と主な使途

人件費：「人材育成する人材」の育成

・ 特定助教 1 名：

外部機関(他機関・企業等)と折衝→ 広がりある講義・演習内容の作成
学生の演習・研究を指導 → 指導力を身につける

・ 大学院生 RA 2 名 (文系・理系)：

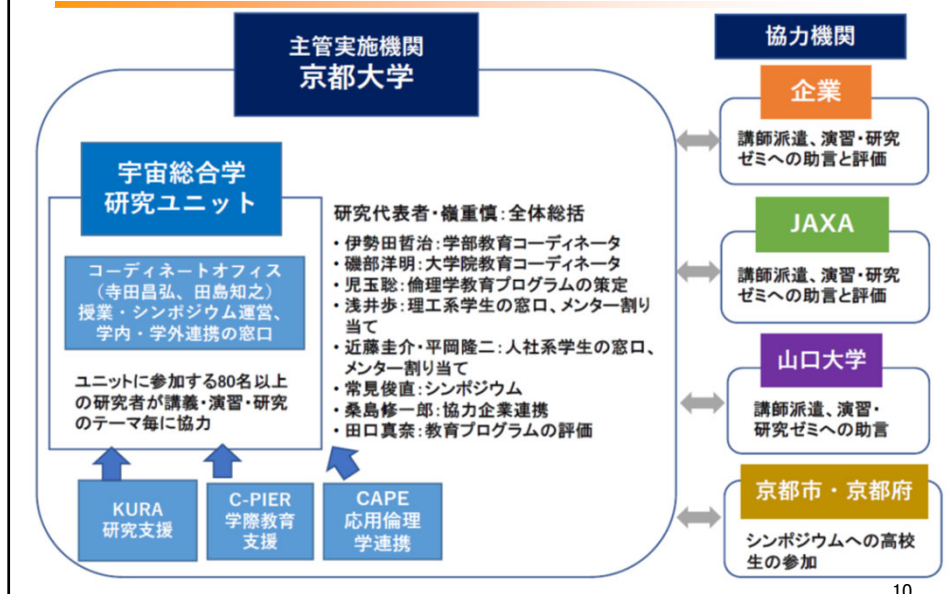
学部生のメンター → 教育経験を積む

旅費：外部機関との折衝や講師招聘など

大 項 目	委託費の額			合計※4
	令和3年度※4	令和4年度	令和5年度	
物品費	1,200	600	600	2,400
人件費・謝金	6,400	12,800	12,800	32,000
旅費	1,200	1,600	1,600	4,400
その他	400	300	300	1,000
間接経費 (上記経費×30%)	2,760	4,590	4,590	11,940
合計	11,960	19,890	19,890	51,740

9

事業実施体制：専任・併任教員を中心に実施



10

まとめ

育成する人材像

宇宙の知識+対応のスキル→倫理的判断→問題解決

京都大学 宇宙ユニット

宇宙開発時代を見越して文理融合型の宇宙研究/委託費実績あり

カリキュラム（副専攻として取り組む）

講義（知識を習得）→演習（スキルを磨く）→専門研究（判断力の涵養）

教育プログラムの評価

コンセプトマップ/ポートフォリオ/研究発表会+外部評価

計画・発信・今後・・・

2年半で教育プログラム完成→シンポジウム/ニュースレターで発信

→事業終了後も宇宙ユニット資源で継続 →宇宙分野の裾野拡大

11

評価審査会(文科省)コメント

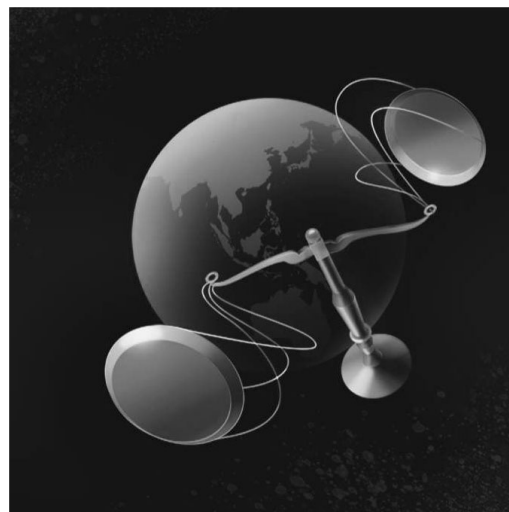
- ・ 倫理学が宇宙開発活動にとって重要な学問分野であり、倫理的な概念をもって宇宙に取り組める人材を育成することは不可欠であると思われる。
- ・ 「宇宙倫理学」の具体的な範疇が不明確であり、カリキュラムや目指す人材像等、十分に説明されていない部分もあるが、事業の中で具体化を図っていただければと思われる。
- ・ これまでの事業採択の結果、素晴らしい組織になってきている宇宙ユニットのなかで、他の技術者や科学者をどう倫理教育していくのか流れを明確にしていきたい。
- ・ 人文社会に相応しい課題であるが、ネットワークの強化と成果の広範な活用に努めてほしい。国内はもちろん国際への広がりも判然としないため、外部との連携を強化することは重要な課題。
- ・ 京都大学以外からも受講者を受け入れる枠組みがあるが、対象として学生を取り掛かりとして外部、社会人への展開を視野に入れて欲しい。

12

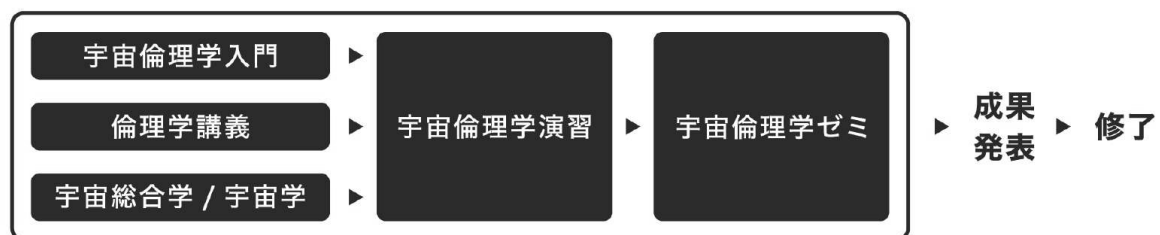
プログラム内容について

清水 雄也

宇宙総合学研究ユニット 特定助教



必修科目



選択科目

選択科目 1 選択科目 2

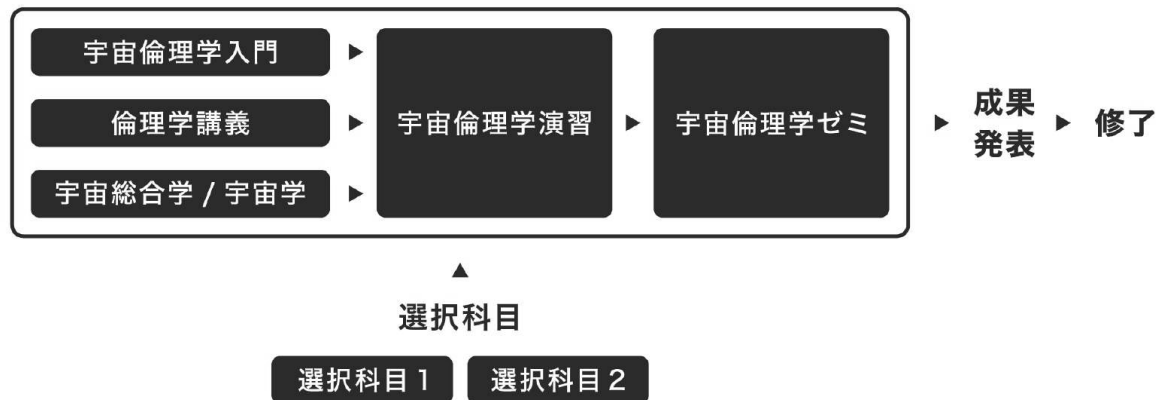
選択科目 (仮)

- 倫理学B
- 理学と社会交流
- 科学コミュニケーション
- 法理学
- 科学哲学
- 江戸の宇宙観（集中講義）
- [院] 科学技術イノベーション政策論
- [院] 現代規範理論
- [院] 有人宇宙医学

成果発表

- **文章提出**
2000, 6000, 18000字の論文
- **口頭発表**
報告会でのプレゼンテーション
外部評価会を兼ねる

必修科目



宇宙倫理学教育プログラムの 評価について

高等教育研究開発推進センター
准教授 田口真奈

本教育プログラムの評価の全体像

外部評価委員による評価

- 年に1度の外部評価会を設定

プログラム全体を通した学生の成長の可視化

- ポートフォリオ評価
- キャップストーン科目でのパフォーマンス評価

本年度に実施したこと

1. 教育プログラムの到達目標の決定
2. 教育プログラムの評価計画の決定
3. 評価方法の決定
4. 評価ツールの決定と導入

1. 本教育プログラムの到達目標

- 育成する人材像の明確化→申請書に記入済み
- 提供する授業ならびに教育プログラムの決定と並行して、それぞれの科目ごとの到達目標を抽出し、最終的な到達目標2分野10項目を決定

到達目標（知識）

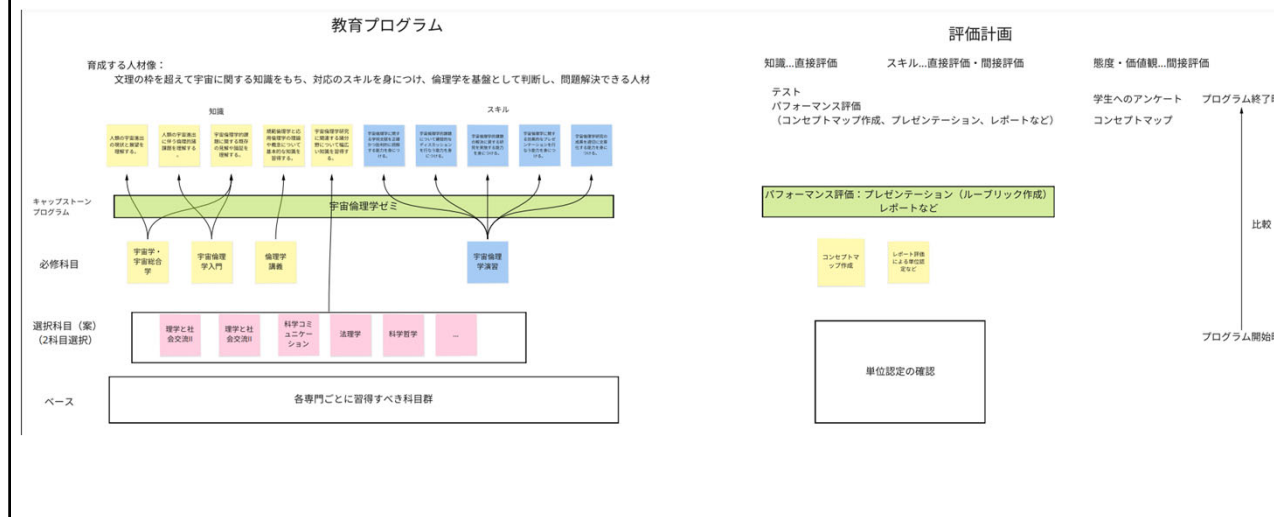
1. 人類の宇宙進出の現状と展望を理解する。
2. 人類の宇宙進出に伴う倫理的諸課題を理解する。
3. 宇宙倫理的課題に関する既存の見解や論証を理解する。
4. 規範倫理学と応用倫理学の理論や概念について基本的な知識を習得する。
5. 宇宙倫理学研究に関連する諸分野について幅広い知識を習得する。

到達目標（スキル）

1. 宇宙倫理学に関する学術文献を正確かつ批判的に読解する能力を身につける。
2. 宇宙倫理的課題について建設的なディスカッションを行なう能力を身につける。
3. 宇宙倫理的課題の解決に資する研究を実施する能力を身につける。
4. 宇宙倫理学に関する効果的なプレゼンテーションを行なう能力を身につける。
5. 宇宙倫理学研究の成果を適切に文章化する能力を身につける。

2. 本教育プログラムの評価計画

別紙参照



3. 評価方法の決定

- コース全体の評価
 - ポートフォリオ評価
 - 態度に関する自己評価（プログラム開始時・終了時）
 - コンセプトマップによる既有知識（プログラム開始時・終了時）
 - 受講した科目（単位取得の確認）
 - 受講した科目において「宇宙倫理学という観点から何を学べたか」に関するリフレクション記述
 - キャップストーン科目（宇宙倫理学ゼミ）
 - プレゼンテーション、レポート
- 各授業科目ごとの評価
 - 宇宙総合学、宇宙学ではコンセプトマップによる評価を導入

4. 評価ツール

1) コンセプトマップ

プログラム全体と一部授業で利用

(各授業の評価は、他にもテスト、レポート評価、プレゼンテーション評価などを行う)

2) eポートフォリオシステム

4 - 1 コンセプトマップ

コンセプト（概念）間の関係を、ノードとリンクとリンク語を使って描いた図

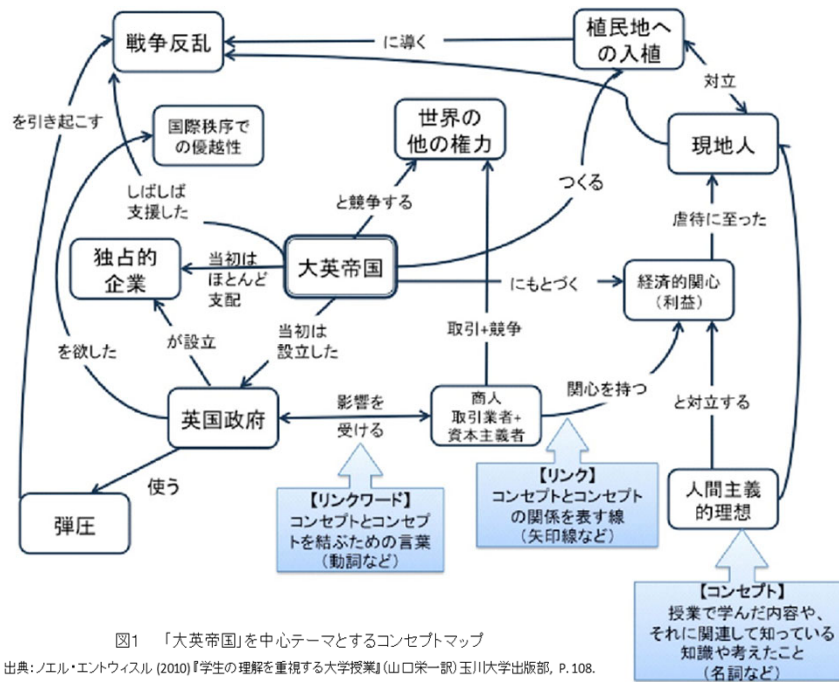
→ 頭の中が可視化される

Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1984). *Learning how to learn*.

New York: Cambridge University Press.

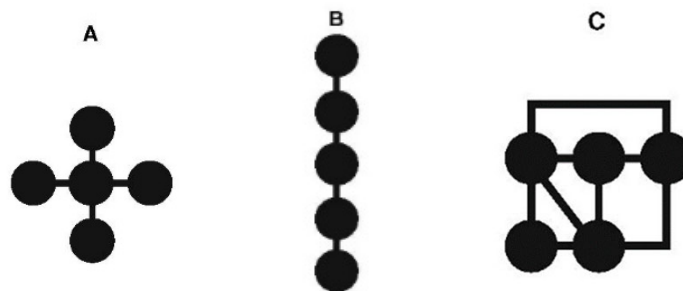
方法

- 授業における **キーコンセプト** を書き出す
- 書き出したキーコンセプトを矢印や線でつなぎ、それぞれがどのような関係にあるのか **リンクワード** を書き込む



11

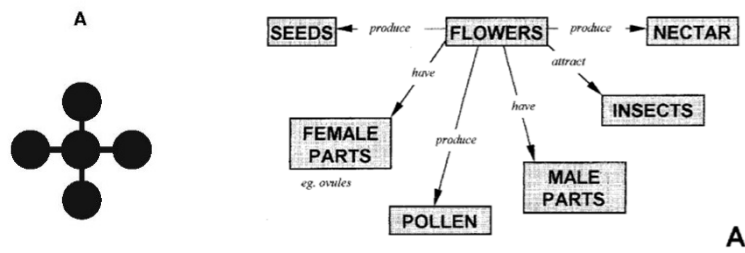
コンセプトマップの種類 (型)



Kinchin, I. M., Hay, D. B., & Adams, A. (2000). How a qualitative approach to concept map analysis can be used to aid learning by illustrating patterns of conceptual development. *Educational Research*, 42(1), 43-57.

12

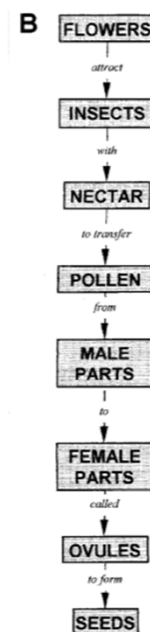
A. スポーク型



すべてのノードが中心テーマから放射線状に伸びている
ノードとノードの間にリンクがあまり見られない

13

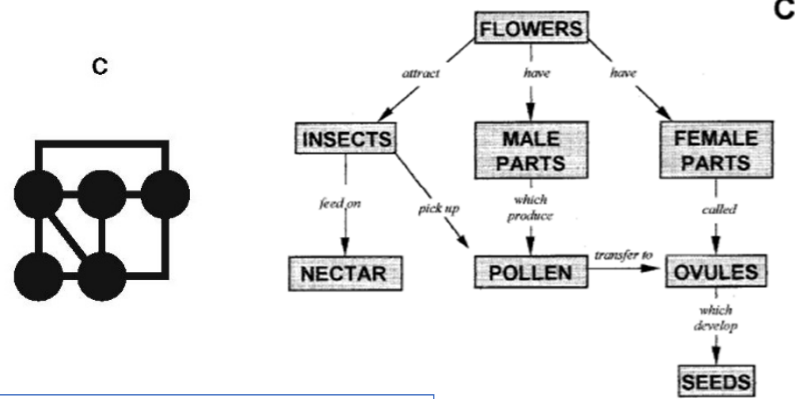
B. チェーン型



ノードが直線的につながっている

14

C. ネットワーク型



統合された階層構造をもつ

15

コンセプトマップと学生の学び

- 授業前・後のコンセプトマップの構造の変化から、学びの深さが推測できる (Hayら)

		BEFORE INTERVENTION	AFTER INTERVENTION	
無学習	NON-LEARNING			knowledge structure remains unchanged
浅い学習	SURFACE LEARNING			some prior-concepts are rejected and new ones are added, but no new links are made and the newly added concepts are not linked to the prior knowledge structure
深い学習	DEEP LEARNING			new concepts are linked to the retained knowledge structure and new links are made between those parts of the prior knowledge structure that are retained

top (organising) concepts ● rejected concepts ○ retained concepts ○ added concepts ●

16

京都大学での導入例

導入例 1：文学部思想文化学系ゼミナール

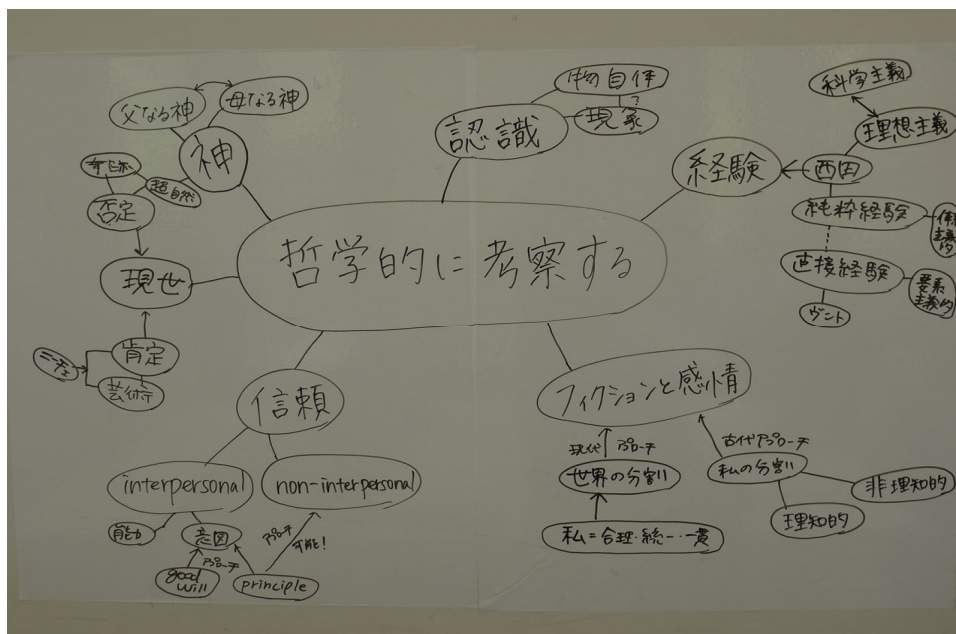
2012年から

- リレー講義の「総括セッション」として最終授業にて実施
- 学生の学習ツールとして

実施の流れ

- キーコンセプトとして「哲学的に考える」を指定
- 講師がそれぞれ講義の要約をし、参考のために、いくつかのキーコンセプトを書き出す
- 学生は複数人のグループでマップを製作、共同発表
- 講師による講評

コンセプトマップ例



導入例 2：宇宙総合学での実施

2018年実施

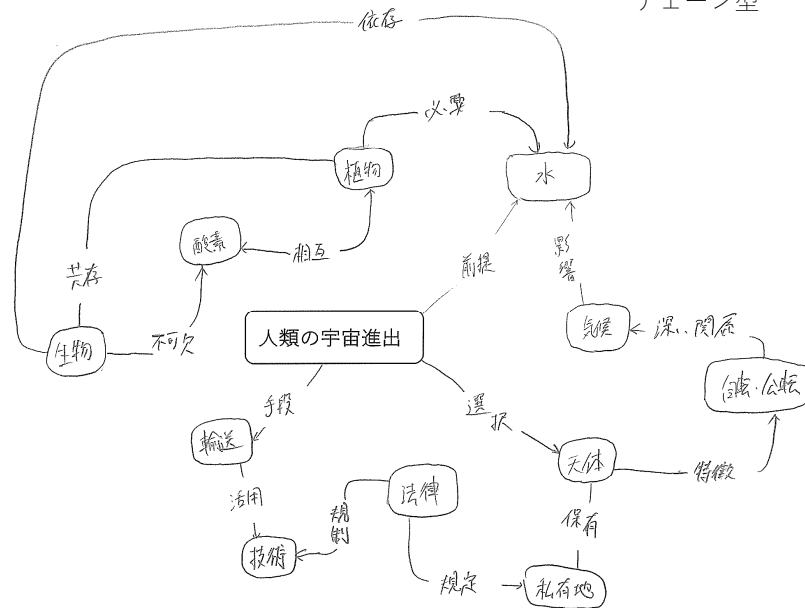
- 個人で作成
- 授業開始時と終了時に作成し、コンセプト数、リンクワード、リンクの多いコンセプトをカウントさせる
- 友人と比較させる



20

工学部, 2回生・事前
チェーン型

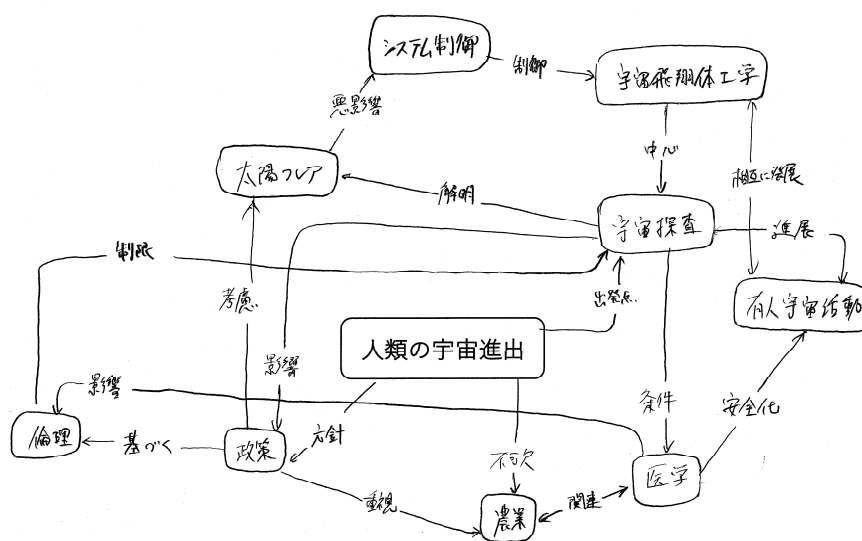
チェーン型



23

工学部, 2回生・事後
ネットワーク型

ネットワーク型



4 - 2 ポートフォリオ評価

- 学生の学習プロセスや、学習成果を蓄積していく方法
- ポートフォリオシステムを検討
 - すでに京都大学に導入されているeポートフォリオシステム「STEP」に機能追加したものを独自導入することを決定
 - プロジェクト終了後も京都大学で自律的に運用できることを重視

ポートフォリオシステムのイメージ



ポートフォリオの活用

- 登録することにより、全プログラム参加者を把握
- プログラム開始時のアンケート
- 履修授業の登録と振り返り
- プログラム終了時のアンケート

→学びのプロセスの可視化

- その他、プログラム担当教員間での情報共有に利用

外部評価シート

評価者氏名 ()

以下の項目ごとに、ご記入をお願いします。ただし、全ての項目にお答えいただく必要はございません。
その他の項目へのご意見、あるいは全体的なコメントについては、最後の自由記入欄にご記入ください。
なお、枠の大きさは、ご自由に改変していただいてもかまいません。

(1) 宇宙倫理学教育に期待するテーマについて	
取りあげるべきテーマがあれば記述してください。	
(2) 教育プログラムの内容について	
評価できる点	
改善できる点	
(3) 教育評価について	
評価できる点	
改善できる点	
(4) 上記以外の項目へのご意見、あるいは全体的なコメント	
(自由記述欄)	

外部評価シート(まとめ)

(1) 宇宙倫理学教育に期待するテーマについて	
取りあげるべきテーマがあれば記述してください。	・宇宙領域に関するテーマについては、既に検討済みと思いますので、宇宙領域を超えたテーマも意識していただきたいです。例えば、有人宇宙開発に関する課題をテーマに宇宙倫理の観点から掘り下げた後、それが現状の国際社会において、具体的にどのような課題の解決に寄与し得るかというような発想です。、「思考を狭めた後に、思考を広げる」取り組みをしていただきたいです。 ・宗教学、地政学、国際政治学、社会学、法学 PR 戦略論、マーケティング戦略論、ビジネス戦略論 ・民間宇宙活動に伴う諸問題(例えば、光害問題や宇宙広告の問題を含む、景観としての宇宙に関わる倫理など) ・チーム活動、国際理解のための外部専門家の講義、演習に外部専門家のインタビューを入れる(全体講義講師ではなく、個々のテーマに関連して文献だけではなく実社会の第一線の生の声を取り入れて研究に生かす。) ・将来的には、宇宙人類学、宇宙生物学との連携が望まれる。
(2) 教育プログラムの内容について	
評価できる点	・「宇宙倫理」という、今後、必ず議論が生ずるテーマに取り組もうとしている点、そして、それを教育プログラムとして確立しようとしている点が、何より秀でていると思います。 ・「宇宙」分野と「我々の実生活・ビジネス・政治」は、切り離せないものとなっているにもかかわらず、「宇宙」の各分野は蛸壺化され、参入障壁が高いことが課題となっている。そのような状況において、本プログラムは、産業界や政治・行政の潜在的なニーズが高いと思われ、今後ますます重要性が増大すると思われます。 ・京都という地の利を活かし、文化・宗教・歴史などの要素を取り入れ、「欧米型の宇宙研究・開発」と「東洋的な宇宙研究」が融合しているところも、本プログラムの魅力の一つと感じます。 ・具体的な倫理課題を学生に提示した上で、その後の基礎理論や演習に入るという進め方は、問題意識を持ってプログラムに取り組むことができるため、素晴らしいと感じました。 ・倫理問題は、誰でも自由に議論できるテーマが多いため、議論がかみ合わないことが多い。したがって、倫理学の学術文献を読み込む演習は、(地味で現実離れした印象があるかもしれませんが)長い目で見ると、大変有効だと思われます。 ・ゼミの成果発表において、ディスカッションやプレゼンを重視していることは、今後の社会実装を鑑みると、非常に有効だと思われます。 ・1年ないしは2年で取得できる総合的なプログラムであり、現役学生にとっても、また専門性を持つ若手社会人にとっても参加しやすいプログラムだと思います。 ・倫理学概論をも含んだ重厚なものとなっている。

改善できる点	・「学際的なバックグラウンドを持つ学生へ」という言葉がありましたが、宇宙領域に限定して思考することが、最終的に学際的なバックグラウンドを持つことにつながる道筋を常に意識して育成に努めていただきたい。 ・「宇宙倫理学の研究者・専門家養成のためのプログラム」と割り切ってしまうのであれば、より密で深い内容に絞るべきですが、「宇宙倫理学というフィールドを活用して、より学際的なバックグラウンドを持つ学生を育成するためのプログラム」ということであれば、知識、スキルに偏らず、「思考」や「志向」といったマインド醸成や、「ハイパフォーマーとしての行動特性(コンピテンシー)」を身に付けさせるような工夫が欲しい。 ・「宇宙倫理学」の範疇・定義に関し、対外的な具体的説明があると、より多くの人に興味を持ってもらえると感じました。 →宇宙倫理学と倫理学の違いは？ →地球の上空 100km 越えの倫理学なのか、もっと包括的な倫理学なのか？ 例えば、土地・資源・環境問題・衛星破壊などの課題に関して、「地球と同じ倫理を当てはめれば良いのでは？」と感じる人は多いと思われる。そういった人に対して、わかりやすく論理的な回答を準備すると良いと思いました。 ・理想(倫理学)と現実(実社会ルール)のギャップを埋めることが重要と思いました。 →実社会における倫理感、宗教的観点、経済・ビジネス・政治・国防・地政学的なパワーバランスや、マスメディア・SNS・PR による社会機運など、さまざまな要素が複雑に絡み合って決定づけられていると思われます。 →よって、上記の講義や演習等も、追加的に本プログラムに取り入れることで、さらに実用的なものになると思われます。 ・理想(倫理学)と現実(実社会ルール)のギャップを埋めるために、ビジネス関係者(大企業、スタートアップ、法曹界等)や、政府・自治体関係者、などとの演習の機会を持つことが有効と思います。 ・実社会では常に結論を求められるため、様々な具体的倫理テーマに対し、(多少無理してでも)「結論」と「それを裏付けるロジックとその背景」を提示すると、本プログラムの実社会での有効性がより増大すると思われます。 ・講義「宇宙倫理学入門」において民間宇宙活動(宇宙ビジネス)を主題として扱う回が1回しかないが、宇宙活動における民間企業の役割が急速に増大している状況を考慮して増やすべきである。 ・演習・ゼミが、多様な分野の学生に対応できるものになっていないように思われる。文献の講読や調査という古典的授業形態に留まらず、科学者倫理・技術者倫理の教育において試みられてきた事例ベースの形態などを取り入れるべきである。 ・卒業後に宇宙というフィールドで貢献する人材と、宇宙の視座を持って宇宙業界外で活躍する人材とそれぞれを想定し、バランスの取れた受講生のいるプログラムとして発展するとよいと思います。 ・完全に履修して認定を受けるのはかなりきつそうである。履修へのモチベーションを上げる方法を開講時間、場所などを含めて検討すべきか。
--------	---

(3) 教育評価について	
評価できる点	・教育指標や評価項目を設定し、可視化・システム化して評価しようとしている点は素晴らしい取り組みだと思います。 ・到達目標を「知識」および「スキル」としていることが、評価できると思います。 →なぜなら、宇宙倫理は、基盤となる知識とそれらを実社会に根付かせるスキルの両立が必要と思われるためです。 ・コンセプトマップの手法は、効果が高いと思われます。 →倫理の問題は、単に論理的な帰結を導くだけではなく、複眼的な視点や俯瞰的な視座が重要で、それらを養うためには、コンセプトマップは優れた手法と思われるためです。 →また、コンセプトマップ自体を、授業前・後で構造変化させ、学びの深さを見るのは、知のPDCA サイクルを回すことができるため、有効と思われます。 ・様々な手法を用いて多角的に総合的に評価する仕組みとなっていると思います。京大で既に実績があり、効率的効果的に評価できるツールに加え、新規で有望なものも取り入れてみるという構成も良いと思いました。 ・導入部ではあまり厳しすぎない基準でよいと思う。最終のコース履修認定もあまり厳格にならないでよいのではないか。
改善できる点	・知識・スキルだけで評価するのではなく、マインド、コンピテンシー（行動特性）等で評価する方法も検討していただきたい。 ・評価方法として、コンセプトマップを活用することはとても面白い試みだと思いますが、具体的にどのように評価していくのかは検討した方が良いと思いました。 ・さらに、マインドやコンピテンシーを評価する際には、さらに踏み込んだ評価が必要かもしれません。 ・「スキル」の到達目標に関して、宇宙倫理を社会実装するためには、ロビー活動、PR 戦略、マーケティング戦略、世論形成など、社会における実践的な手法も取り入れると、さらに効果が高まると思いました。 ・SDGs の社会実装から学ぶヒントがありそうな気がします。 ・コンセプトマップ作成に当たり、iPadなどのタブレットを利用し、アップデートやディスカッションをより柔軟にすることを検討してみるのも有効かもしれません。 ・個々の学びに加え、チーム活動（チームでの役割、貢献度）の評価も取り入れては？
(4) 上記以外の項目へのご意見、あるいは全体的なコメント	
(自由記述欄)	・ぜひ、新しい風を入れつつ、日本および国際社会をリードする宇宙倫理教育プログラムに発展していただきたいです。 ・今後、本プログラムによって、下記の「問い」に対する見識が深められることを望んでいます。 ① イスラム圏における月面利用や火星移住に関する倫理感と、欧米や日本のそれとは、何か異なることはあるのか？

	② 「火星を地球の R&D 施設みなし、ゲノム合成技術によるテラフォーミング実験を行い、その成果を活用し地球課題を解決する」という考え方は、正しいのか？ ③ 陸海空宇宙の技術を最大限活用してエネルギー開発を行うことで、次世代のエネルギー覇権を握ることを目的とした、“Smart Energy Development”というビジョンは、正しいのか？ ④ 「宇宙エレベーターを活用し、地球上の放射性廃棄物を宇宙の果てに投棄すること」は正しいのか？ ⑤ 米ソの冷戦によって宇宙産業は大きく飛躍したが、現代の米中対立による宇宙開発競争は歓迎・促進すべきことなのか？ ⑥ 「地球が減びても人類が生き延びるため、宇宙移住を準備する」や「地球を大切に使うため、重化学工業を宇宙に移転する」という観点・プロジェクトは、むしろ地球環境に対する(ブーメラン的)警鐘効果があるため、積極的に行うべきと考える。しかし、本当にそうなのか？ ⑦ 高速2地点間輸送によって、宇宙産業が航空産業を凌駕する状況を促進すべきか？海外との往来が船舶から航空機に替わったことを鑑みると、航空機から宇宙気に替えることも推進すべきと考えるが、本当にそうなのか？ また、高速 2 地点間輸送の早期実現を目指すため、まずは国防利用の必要性を唱えることに倫理的問題はあるのか？ ⑧ 宇宙と地球の結節点である「スペースポート(宇宙港)」は、どうあるべきか？また、その周辺のまちづくりはどうあるべきか？ ⑨ 地球上の土地の所有権は、政治体制や文化によって考え方が異なる。にもかかわらず、宇宙での土地所有権の在り方を定義づけることは、本当に可能なのか？ ・倫理学教育と隣接分野(法、政策、科学コミュニケーション等)の教育の接続方法が明確でない。ただしこれは、宇宙倫理学に限らず、他の分野でも有効な方策が見つかっていないと思われるため、やむをえないところもある。 ・宇宙ユニットが組織として継続的に宇宙倫理学研究に取り組んできたとはいえない。こうした過去の経緯を真摯に反省しない限り、事業終了後も宇宙倫理学教育の取り組みが継続されるのかは疑問である。 ・宇宙活動のプレーヤはここ数年来、飛躍的に拡大しています。グローバル化、民間主導型、国際協働型といったところが特徴かと思います。加えて活動領域の拡大や技術の進歩に伴い、安全保障や地球外天体や空間の資源(産業)利用も課題です。法律(国際条約や協定)で整理できる利害関係の前に道徳や倫理がありますが、多様な文化背景の下、この分野における国際議論(協調)の道はなかなか厳しいところだと思います。一方日本の特性としてなかなか強権とはいかない文化性において今後の日本のプレゼンスの発展には、そうした認識も持った人材が各所にいる(ethic の国際調整課題については日本の〇〇さんがリーダーとして信頼できると国際的に思ってもらえる)ことが重要と思料します。
--	--

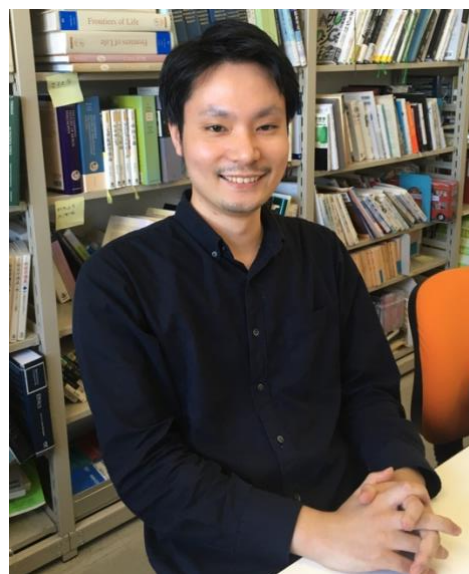
宇宙総合学研究ユニット NEWS 2021 年 10 月号



新たに着任した人文社会委託費リサーチアシスタント(RA)の紹介 立場貴文

私の所属は京都大学大学院文学研究科倫理学専修で、専門はルードヴィヒ・ウィットゲンシュタインという 20 世紀の哲学者の研究です。

伝統的に京都大学の倫理学専修では、思想研究だけでなく生命倫理学や情報倫理学などの応用倫理学も修めるように指導されています。このことを私たちは「二足の草鞋を履く」という風に呼んでいます。私もこれまで、上述のウィットゲンシュタインの思想研究に加え、ビデオゲームの倫理学や化粧の倫理学などについて研究してきました。そして今回は宇宙倫理学に携わることができるということで、大いに興奮しています。宇宙を題材にしたフィクション作品はその数も豊富で、その中には実に興味深い倫理的な問題を提示しているものもあります。また、現実の宇宙開発等に目を向けても既存の議論の枠組みでは容易に解決できない問題が多くあり、これらの問題について他のメンバーのみなさんと議論するのは研究者として楽しみです。教材や教育プログラムの開発等にも関わることになると思いますが、自分にとっても受講者にとっても面白いものになるよう、一生懸命取り組んでいきたいと思っています。



名越俊平

私は理学研究科宇宙物理学教室の博士課程にて、地球から数十億光年離れたクエーサーの研究をしています。

私は趣味で手品をやっており、学部生時代にはマジックバーに定期出演していたくらい熱中していました。手品では、表から見える現象を裏から単純な機構で実行していることが多く、その構造の美しさこそ私が手品に惹かれる 1 番の理由です。これまで様々な一流の手品を見てきて、不可能に見える現象に何度も出会ってきました。その裏側が単純であることを知るたびに、私が如何に狭い視野でしかモノを考えられなかったのかを突きつけられてきました。このような経験があるため、私が不可能だと感じることに直面したら、まずは自分の視野の狭さこそが原因で、不可



能だと誤認していると考えことにしています。

ここ数年、私が実現できないか考えている不可能なことは、「長期的な基礎研究を、短期的な経済活動の一部に構造的に埋め込む」ことです。私の研究で言い換えると、宇宙の研究に対して、人々がお金を払う社会的構造を作るということです。これが実現すると、私は研究者と富豪の両方を目指すことができるわけですが、現状では不可能に思えます。宇宙の場合は、近年は宇宙ビジネスがホットワードとなっており、そこにヒントがあるかと考えましたが大半のビジネスモデルが成立するとは思っていませんでした。しかし、SpaceX 社が千機以上の人工衛星を稼働させて実際にサービス提供間近まで漕ぎ着けている様を見て、また自分の視野の狭さを痛感しました。数千機の人工衛星を一度に稼働させられるという発想が一切無かったのです。私は宇宙ビジネスがどんな構造になっているのかが無性に知りたくなり、実際に飛び込んでみて、現在は研究と並行して民間企業にて人工衛星の設計業務に携わっています。

宇宙開発に携わっていると、様々な倫理的、社会的問題を考えさせられます。宇宙ユニットでの活動を通して、多様なバックボーンを持つ皆さまがどのような考え方で宇宙と関わっているのかを知れたら幸いです。どうぞよろしくお願いします。

第 15 回 京都大学宇宙ユニットシンポジウムのご案内

「人類は宇宙に移住できるのか？ —文理融合型宇宙教育の開発と実践—」

京都大学宇宙総合学研究ユニット(宇宙ユニット)では、文理の枠を超えた幅広い領域を射程に、人類と宇宙に関わる諸問題の研究と教育を推進しています。宇宙ユニットが主催する 15 回目のシンポジウムでは「宇宙への移住」に焦点をあてます。

民間企業の参入を受けて宇宙開発の動きが急加速しています。現在、複数の企業が宇宙観光の実現に向けた計画を進めており、一方でイーロン・マスク率いるスペース X 社は火星移住を掲げたプロジェクトを開始しました。かつて S F の中で閉じた話題であった他惑星への移住は、今や現実のものとなりつつあり、その機運は年々高まっています。

しかしながら、他惑星への移住のハードルはまだかなり高いことは言うまでもありません。計画推進に先だって検討すべき課題が山積みではないでしょうか。人類はこの難題をどのように解決してゆくのか。本シンポジウムでは、文系・理系を問わず最新の研究をベースに多方面からの知見を持ち寄り、人類の宇宙移住に関する議論を行います。

日時 : 2022 年 2 月 5 日(土) 13:00-17:00、6 日(日) 10:00-17:30

開催形態 : オンライン (ポスター発表に関しては対面開催も検討中)

参加費 : 無料

申し込み : 要申し込み (11 月以降ウェブサイトにてご案内します)

登壇者は決まり次第、以下ウェブサイトに掲載します。

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

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
10月22日(金) 15:00-16:30	<u>第4回宇宙学セミナー</u> 講師：嶋宮 民安 氏（有人宇宙システム株式会社 有人宇宙技術部 主任技師） タイトル：「国際宇宙ステーションの運用と閉鎖環境 - 交信担当(CAPCOM)の役割」 概要：人類史上最大の宇宙建造物、国際宇宙ステーション(ISS)。2000年に始まった有人運用はすでに20年を超え、これまでに200名を超える宇宙飛行士がISSへのフライトを果たしました。その管制センターは世界に複数あり、それぞれに交信担当がいます。宇宙飛行士との交信、その工夫や苦労とは？ ISSにおける閉鎖環境の不便さや対策と共に話します。	Zoomによるオンライン開催 (事前申込制) 下記のQRコードまたは以下のURLからお申し込みください  https://kyoto-u-edu.zoom.us/join/register/tZckce-vrjssGtV8KD7v5nQWpIU4LVcjhdzU
11月1日(月) 16:45-18:15	<u>第5回宇宙学セミナー</u> 講師：藤原 洋 氏 (株式会社 ブロードバンドタワー 代表取締役会長兼社長 CEO、一般財団法人花山宇宙文化財団 評議員、宇宙ユニット BBT 部門特任教授) タイトル：「企業家の夢・宇宙への夢」 概要：企業家は、夢を持って事業を創ることを自己のテーマとしている。 最初に、歴史的に、天文学が天体物理学へと発展する経緯となった大型天体望遠鏡開発が始まった19世紀末から21世紀へ向けての企業家と望遠鏡開発の歴史について述べる。次に宇宙をビジネスとしてとらえる企業家の登場について紹介する。最後に日本における宇宙科学、宇宙開発のあるべき姿について展望する。	Zoomによるオンライン開催 (事前申込制) 下記のQRコードまたは以下のURLからお申し込みください  https://kyoto-u-edu.zoom.us/join/register/tzMpcOirrD0iGtayrTAUYlIVXoACM8j02GFb
11月22日(月) 15:00-16:30	<u>第6回宇宙学セミナー</u> 講師：片山 俊大 氏（一般社団法人スペースポートジャパン 共同創業者&理事／(株)電通） タイトル：「秒速でわかる！宇宙ビジネス～宇宙業界と宇宙じゃない業界の、あたらしい関係性～」 要旨：決まり次第、HPに掲載します。	ハイブリット形式（対面＋zoom）を検討中。決まり次第、HPに掲載します。

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

閉鎖居住実験の最新動向

篠原正典

帝京科学大学 生命環境学部

出“ゆりかご”の時代へ

「地球は人類のゆりかごである。しかし、人類はゆりかごにいつまでも留まっていけないだろう。」この News を手にしている方なら聞き覚えのある言葉だろう。ロシアの科学者ツオルコフスキーによる百年以上前の言葉とされる。

人類はいま、地球軌道上に宇宙ステーションを有している。国際宇宙ステーション（以降 ISS）には、星出彰彦さんを船長とする 4 名の宇宙飛行士が宇宙空間で生活しながら各種ミッションにあたっているが、実に 20 年以上にわたり人類の宇宙での生活が維持され続けている。そして、この原稿を執筆している 2021 年 9 月、民間人 4 名による宇宙旅行（スペース X 社「インスピレーション 4」ミッション）も無事に成功した。職業宇宙飛行士が搭乗しない宇宙船で 3 日間にわたり ISS より高い、すなわち地球からより遠い軌道で地球を回って旅行を楽しんだという。

人類が月に降り立ってから 50 年以上、宇宙飛行士が宇宙で暮らし続けて 20 年以上が経ち、宇宙への観光旅行が催行される今日、ツオルコフスキーが想い描いた人類が“ゆりかご”を脱して暮らす時代は、彼の信念・想像の域に追いつき、現実のものとなりつつある。

出“ゆりかご”の課題

しかし、出“ゆりかご”には、いまだ検討すべき課題が少なくない。宇宙放射線や重力の変化の人体への影響評価はもちろん、限られた物理的・社会的環境下で長期間過ごすことがヒトの心身の健全性やパフォーマンス維持にどう影響するのか、そして、“ゆりかご”地球が与えている全ての物質と全てのサービス、すなわち、空気・水の再生、食料の生産、廃棄物の分解・循環、これらを再構築できるのか…、未だ検討を続けている最中なのである。

繰り返される閉鎖居住実験

そのため、世界各地で過去何十年にもわたり閉鎖居住実験が繰り返されてきた。現在運用されている、もしくは具体的に設計されている施設を列举してみよう。ロシア・IBMP の NEK、中国・北京航空科学大の Lunar Palace-1（以降、月宮）、独・DSR の EDEN ISS、奥・オーストリア宇宙フォーラムおよびイスラエル宇宙局による AMADEE 20、そして、宇宙開発の本家米国にいたっては民間施設として現在はアリゾナ大が関与しているバイオスフィア 2（図 1、以降、BS 2）、200 回をゆうに超えるミッションを繰り返している火星協会の MDRS、そして NASA が関与する Hi-SEAs、HERA、Mars Base Alpha（来年度完成予定）…。実に多数の施設があり様々な目的のもとに閉鎖居住実験が進められている。日本・JAXA においても、宇宙飛行士の選抜試験にも用いている「閉鎖環境適応訓練施設」を援用し、8 名のボランティア被験者に負荷をかけて生理・心理の変化やそれらの遠隔診断を検討するための 2 週間の閉鎖実験を繰り返し行い、その成果を報告している。私自身も、本来の専門はイルカ類を対象とする動物行動学であるが、青森県六ヶ所村の（公財）環境科学技術研究所・閉鎖型生

態系実験施設（Closed Ecology Experiment Facilities（以降、ミニ地球 CEEF））で行われた閉鎖居住実験に、2000 年より研究者兼居住者として 6 年間参加した。水・空気・食料をほぼ完全に自給し最終的に 2 名を 4 週間にわたり閉鎖居住させた実験であった（図 2 左上、左下）。

このような実験を繰り返す背景・目的には、いまだ長期有人宇宙ミッションの最終形がみえないこと（月は 3 人？火星は 6 人？など人員規模も未定）や、異なる国家間で技術供与し合えないという政治的な問題もあるかもしれないが、より現実的な問題として、いまだ食料生産を組み込んだ閉鎖環境の構築には改良の余地があり、ヒトの生理心理・パフォーマンスにはいまだ尽きぬ不安がつきまとい、さらに、こうした実験が教育・啓蒙などに貢献する側面も大きいからであろう。



図 1：バイオスフィア 2 の外観(左)。1990 年代前半に 8 名による壮大な閉鎖居住実験が行われた。その後、コロンビア大学が運営に関与した際に、「環境学」を学べる合宿施設を併設していた（右上・右下）。執筆者撮影 2003 年。



図 2：ミニ地球 CEEF の外観（左上）。この建屋の内部に閉鎖施設を構築している。コンクリートを使用していないため、このようにステンレス張りの独特な内観（左下）。植物栽培区で長く太く育ったシュンギクを収穫する筆者（右）。

少し具体的な例をあげよう。その実験から 25 年が経った今も他に類をみない壮大な人体実験であった BS2 では、1991 年より 8 名が 2 年間に渡り閉鎖環境で生活を試みた。しかし、コンクリートや土壌に酸素が吸収され、食料が予定通り生産できず備蓄食料を利用しても体重が著しく減少し、また、アリ

やゴキブリなど小動物が大発生し、外部のサポートチームとも不和を生じ、内部では8名の居住者が4対4に分かれて対立を深め…など様々な問題が起こった。1994年からの二度目の7名による実験も、実はこの一度目の居住者による妨害のためにおよそ半年で中断となってしまっている。しかし、閉鎖実験の役目を終えてから、コロンビア大学の環境学の修士号の短期集中習得コースの合宿地として利用され（図1 右上・右下）、次いでアリゾナ大学の様々なフィールド系調査の実験施設としても利用されてきた。もう20年近く前になるが、私が視察で訪問した際、請われてミニ地球 CEEF の実験概要を紹介したのだが、集った研究者や学生が引き続き聴講した講演は、環境の専門家による世界の水銀汚染の現状に関するものであった。また、施設は開放運転しつつも、部分的にビニールのカーテンなどで簡易閉鎖をして高 CO₂ 環境をつくり出し、パルプがどう育ち、ガなどの昆虫がどのように行動が変わるかを調べるなど環境系の研究がいくつも進められていた。そして、それらにはすべて説明のボードが設けられ、一般客を対象とした有料ツアーも頻繁に催行されていた。

このように、閉鎖実験は様々な成果が得られ課題も抽出できると同時に、やがてその目的も変化していくことがある。こうした個別の事例をばらばらに紹介しては誌面が足りないのので、私なりに目的別に大きく三つにまとめて概要を紹介したい。図3を参考にしつつ読み進んでほしい。

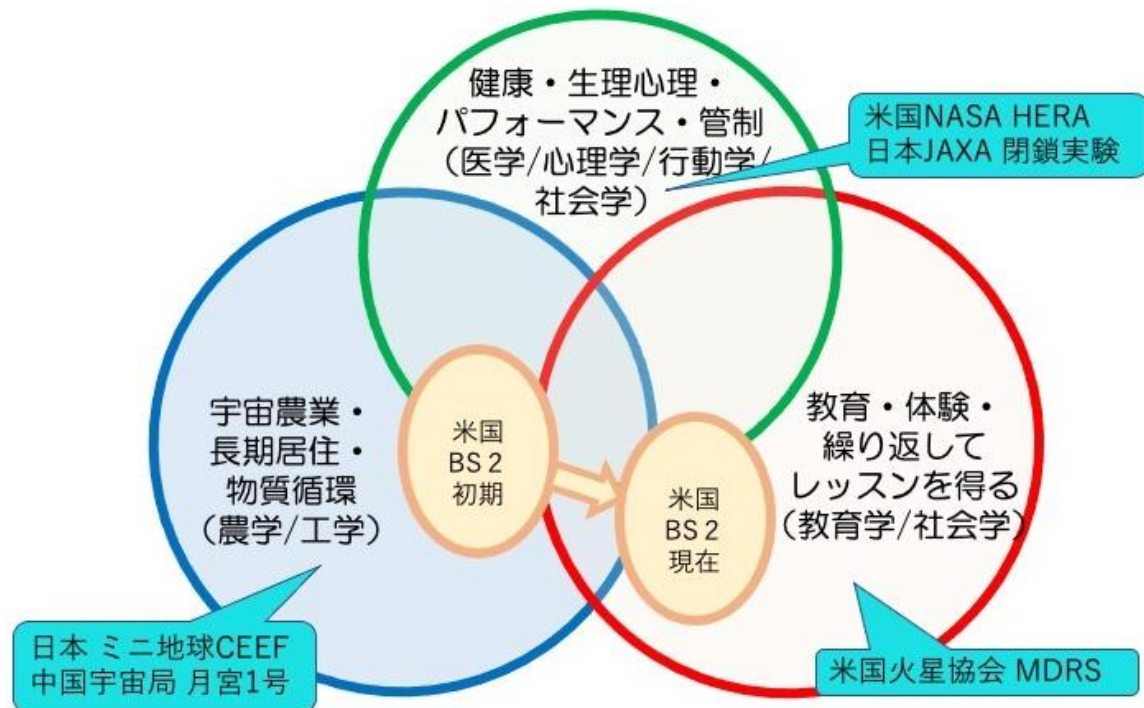


図3：閉鎖居住実験を三つの目的にわけて整理することができる。それぞれに該当する主要な学問分野を括弧内に、代表施設・実験を吹き出しで表している。

第一の目的：居住者の生理心理の変化やパフォーマンス維持を調べる

まず、ほぼすべての実験で意識される課題は、閉鎖環境下でのヒトの生理心理の変化やそれらの遠隔でのモニタリングであろう。単調な環境に物理的に隔離され、特殊な作業環境におかれ、コミュニケーションが制限されることで生理心理に影響がでること、また、グループダイナミクスにも、地上管制との関係性にも影響がでることが知られている。現在、頻繁に学術報告がなされているのが NASA の HERA 模擬

実験で、期間は 45 日ほどであるが、閉鎖環境下で睡眠時間を短く（8h 摂る睡眠を平日 5h に）し、生理心理ストレスやパフォーマンス低下の様子を報告するなど、活発に実験を繰り返している（まさに人体実験…）。HERA を運用している NASA Human Research Program の HP によれば、いま現在も火星の月フォボスへの有人探査ミッションの一部を仮想した 4 名の閉鎖実験を行っている。まだ報告は少ないが、NASA とハワイ大による Hi-SEAs を利用した実験（通常は科学者 6 名で 1 年間）では火星での居住作業環境を模し、管制との通信に 30 分の遅延を設けた運用がなされるなどしている。

第二の目的：宇宙農業技術および物質循環技術を確立する

日本のミニ地球 CEEF は、その第一の目的が 100%に近い気密性の閉鎖生態系を構築し物質をしっかりと循環させることにあった。私たち居住者側から「今後計画されるであろう有人宇宙ミッションを想定して、管制との通信に人為的なデレイを設けては」などの実験生活のデザインへの提案をしたが、「まずこのシステムが食料生産と物質循環ができ、ヒトが健康に居住できたという確認を得るのが第一義であるから」との理由で却下された。もっともだと、妙に納得したので今でも覚えている。

現在、ISS は部分的な物質循環機能を有して宇宙飛行士の生活を維持しているが、再生できているのは空気と水の一部であり、相当量の水と食料の全てをせせとロケットで打ち上げることで維持されている。レタス様野菜を育てる Veggie と呼ばれる設備も稼働させ、一度地上に持ち帰って安全を確認した次の年に、油井亀美也さん含む 3 名の宇宙飛行士が食した。これが宇宙で育てた野菜を宇宙で食した宇宙開発史上初の試みで、2015 年のことである。リアル宇宙では食料生産はこのレベルなのである。

月、火星など地産地消で利用できる水（月）、水と CO₂（火星）があるとされるが、これらを除けば、ほぼ完全に近い再生産技術・物質循環技術を確立できないと出“ゆりかご”は叶わない。ツオルコフスキーも回転式宇宙都市の内部に生産拠点としての農場を描いていた。食料生産をしっかり行い物質循環の度をあげるいわゆる“宇宙農業”の技術開発の必要性は疑う余地がなく、じつはその研究開発史も長い。旧ソ連軍、米軍の軍事研究からはじまり実に 60 年以上の歴史がある。この開発史を辿るだけでも大変な情報になるので JAXA 月面農場検討 WG の報告などを参照して頂きたい（参考文献 1）。ここで少しだけ、私のかかわったミニ地球 CEEF の紹介をさせて頂く。有人のミッションに関しては完全に外国任せの感が否めない日本にあって、実は 2000 年初頭、もう 20 年も前に史上類をみない閉鎖度・循環率での居住実験が行われていた。先見の明を持った当時航空宇宙技術研究所 NAL の新田慶治さんによって先導され、多くの工学・農学の研究者が参画し、青森県六ヶ所村に新設された環境科学技術研究所の主要プロジェクトの一つとして進められた。当初 2 名が 120 日、完全閉鎖環境の中で暮らすようデザインされたミニ地球 CEEF は総建設費のべ 200 億円にのぼったともいわれる。最終的に 2 名 4 週間のミッションが 2007 年に完遂され、その技術目標を達成し、現在は居住実験としての役目を終えている。私はその 4 名の居住者の 2 番目（B）として採用され、6 年ほど閉鎖居住実験の研究者兼居住者として参画し、23 種類の植物を育てる農作業をはじめ各種トレーニングを閉鎖施設の中で行って過ごした。扉を閉じた閉鎖実験にものべ 42 日間（1 週間を 6 度）参加してきた。実験の詳細は多胡（参考文献 2）の報告他に詳しいのでここでは割愛するが、50 m² の作付面積でヒト一人が

維持できるとの NASA の試算を上回り、90m² で 2 名の栄養を産出でき、食料自給率に関しても最終的に 9 割を超える高さを達成し、閉鎖実証実験としては今日でも世界最高峰の成果を誇る。

表 1 にミニ地球 CEEF のような代表的なミッションや施設の再生の程度をまとめたので参考にしてほしい。疑問符を付したところは実際に物質を回さず、計算上で辻褄合わせをした部分があることを意味している。

ミッション/ビークル/施設 mission vehicle base	実施国	年代(yr)	再生の程度 (regeneration ability)			
			空気 Air	水 Air	食料 food	固形廃棄物 Waste
Apollo	USA	1960s~	×	×	×	×
Space Shuttle	USA	1980s~	×	×	×	×
Mir	CCCP	1980s~	△	△	×	×
Biosphere	USA	1990s~	○ → ×	○	○ → △	◎
L-M-LSS	USA	1990s~	○	○	△	×
ISS	INT	2000s~	○	× → ○	×	×
ミニ地球(CEEF)	JPN	2000s~	○	○	○	○?
月宮一号	CHN	2010s~	○?	○?	○?	○?
MeLissa	EU	2020s??	○?	○?	○?	◎?

表 1：代表的な閉鎖実験や閉鎖施設の再生の程度。MeLissa はヨーロッパ宇宙局による要素技術研究であり、統合しての施設などはない。

さらに、今の宇宙農場技術でこうした地上テストベッドから実物を作成し、宇宙（まずは月面）に打ち上げ・組み立て・運用することがコスト的に見合うかの検討もなされ、月面で水が得られ 10 年以上の連続運用を前提とするのであれば、現在の ISS の再生技術レベルの基地を作り地球から食料を打ち上げ続けるより安価に運用できると試算されている（参考文献 1）。

第三の目的：教育・啓蒙・娯楽、あるいは、繰り返し実験することでレッスンを得る

ミニ地球 CEEF での閉鎖居住生活は 1 週間を 1 セットとしており、火曜日の昼にスタートし、火曜日の昼にでてきていた。この最後に収穫するのがシュンギクであったのだが、高照度・高 CO₂ 下で、食べるには苦勞するほどに太く長く育ったシュンギクを手につつ「僕がはき出した CO₂ を吸ってこんなにも大きくなり、逆に僕はこいつが与えてくれた O₂ と栄養でこの一週間を生きてきたのだなあ」と心から感謝しながらエアロックを開け、リアル地球に戻っていた。このような“生かされている”と心から感じる体験は、実験を通して得られる技術的・学術的知見とは比較が難しいが、地球人として極めて貴重な経験となったととても有難く思っている。

上述の二つとは一線を画し、このような“学びを得る”といった目的での閉鎖施設も多数建設され、また建設計画が進んでいる。当初より工学技術開発的な目的は乏しく、閉鎖施設が与えてくれる教育・啓蒙・娯楽的側面や、あるいは繰り返し得られるレッスンを得ることを目的として作られる施設である。英国のエデン・プロジェクト、塙およびイスラエルの AMADEE 20、米国の MDRS、中国の火星基地 1 号がある。国内でも村上裕資さんが率いるフィールドアシスタントによる南極探査船 SHIRASE5002 を用いた SHIRASE EXP.なども様々なレッスンを得ることを目的とした閉鎖居住実験といえるだろう。建設中

のものとしてはドバイのマーズ・サイエンス・シティがおそらく BS2 をしのぐ施設となるであろう。興味がある人はぜひここに挙げたキーワードを参考に調べてみてほしい。

本来は食料生産設備も有しその実証実験を期待された施設が、現在はこうした目的にも利用される、BS2 のような例も珍しくはない（図 1）。京大宇宙総合研究ユニットがアリゾナ大学と提携して行う SBC2 もまさに閉鎖実験施設のこの第三の目的への転用例の一つであるといえよう。

限られた資源・エネルギー・空間で暮らす宇宙のような極限環境をイメージして開発された技術、そして、健全な心身を保って暮らす具体的なノウハウは、これをそのまま地球での日常生活で実践すれば、それは間違いなく、地球環境に優しいものになろう。宇宙オタクが、採算や喫緊の技術的問題を度外視して勝手に妄想している、という段階はもう過去のことで、こうした技術や試みが、人類全体が地球の上で優しく持続可能に暮らす新しいノウハウを得るレッスンになる…このような意識を皆で共有すべきであろう。

今後の課題と期待 ～遅れている分解の技術、ゲノム編集・細胞培養技術の利用～

食料生産をとともなう物質循環システムの構築のための今後の課題として、固形廃棄物 (solid waste) の処理方法の検討があげられる。システム全体を閉鎖した統合的な物質循環実験は未だ行われていない。ミニ地球 CEEF においても閉鎖循環度は 90% 半ばなどと報告されているが、分解のために要していた湿式酸化（高温高压の水の中で酸化分解を進める）装置は統合をせず計算で辻褃合わせをしており（参考文献 2）、中国・月宮においても、最近の 370 日の閉鎖実験では固形廃棄物の 1/3 が循環されずストックされたまま実験を終えた（参考文献 4）。将来的には発酵を使うとしているが統合実験の情報は無い。JAXA 月面農業検討 WG では、分解に高温メタン発酵の採用方針が示され、速度計算も発酵槽の容積も検討されている（参考文献 1）。しかし、食料生産技術に比べ明らかに遅れており、早い時期の実証実験が期待される。

つい先日（9 月 15 日）、国内初となるゲノム編集トマトが販売された。Integri Culture 社が世界の最先端をいく培養細胞肉の利用も、JAXA も参画する「スペースフードスフィア」のなかで検討されている。こうした先端技術も、間違いなくこれからの有人宇宙ミッションのデザインのなかで有力な選択肢であろう。つまみはゲノム編集野菜でお酒の代わりには再生水になるであろうが、いつか月から地球を見上げて乾杯する日が来ることを楽しみにこの紹介を終えたい。（図 4）

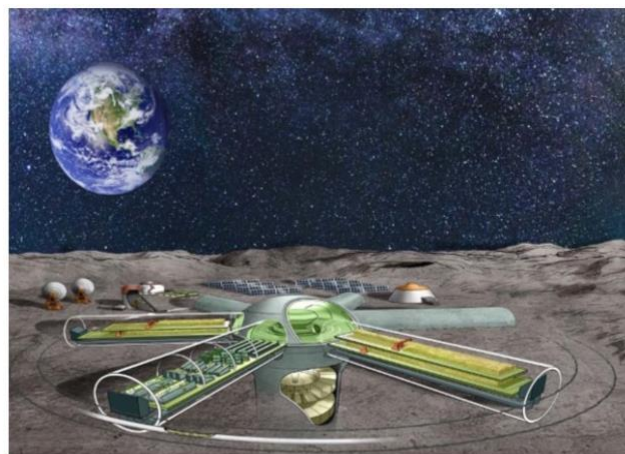


図 4：JAXA 月面農場検討 WG の検討結果を基に描かれた月面基地のイメージ。放射状に延びた六つの植物栽培区があり、居住区はその中央の下に設置されている。（参考文献 1 より）

参考文献：

- 1：月面農場WG検討報告書第1版 JAXA-SP-19-001 (JAXA レポジトリ)
- 2：多胡靖弘, “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, 2015. アドスリー社
- 3：C. Dong ほか“Element Cycling and Energy flux Responses in Ecosystem Simulations Conducted at the Chinese Lunar Palace-1,” Astrobiology 17(1) 78-86, 2017.
- 4：「「月宮」実験が終了 計 370 日間は世界最長」 China News Service 2018.5.19, <http://www.afpbb.com/articles/-/3175157>, 2018.10.17

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.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：堀山勝輝

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

宇宙総合学研究ユニット NEWS 2021 年 11 月号



新メンバーの紹介

清水雄也（しみず・ゆうや）氏

所属：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 特定助教

専門：宇宙倫理学・科学哲学

自己紹介：来年度から始まる宇宙倫理学教育プログラムの開発を担当します。以前より宇宙倫理学研究会に参加し、伊勢田ほか（編）『宇宙倫理学』（昭和堂、2018 年）では、第 2 章「宇宙倫理学とエビデンス—社会科学との協働に向けて」を執筆しています。研究分野としては、宇宙倫理学のほかに科学哲学を専門としており、因果概念・社会科学方法論・哲学方法論といったテーマに取り組んでいます。様々な分野の方々と関わりながら、宇宙ユニットの新しい教育プログラムを作り上げていけることを楽しみにしています。



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、準備状況や活動内容などを定期的にお知らせします。

1. 新スタッフの雇用

11月1日付けで特定助教として清水雄也さんが赴任しました（「新メンバーの紹介」参照）。

RAのお二人（先月号で紹介済み）とともに委託費プログラム推進の実務を担っていただいています。

2. 教育プログラムの策定

来年度から開始する教育プログラムは、文系・理系を問わず、それぞれの専門の勉強や研究を始めている／始めつつある学生（学部生・大学院生）が、いわば副専攻として、宇宙倫理学に関する知識を得、演習のスキルを身につけ、専門研究を実施するプログラムです。修了者には宇宙ユニットから修了証が発行されます。

教育プログラムは、①学部教育プログラム（講義、演習、専門研究ゼミ）、②大学院教育プログラム（講義、演習、専門研究ゼミ）からなります。このうち講義は京都大学が提供する正規の授業であり、演習・専門研究ゼミは宇宙ユニット独自の教育活動です。いずれも京大生はもちろん、学外の方も受講できるよう配慮します。（以下の情報は暫定的なものもあり、随時変更される可能性があります。）

① 学部教育プログラム

a. 講義

- 必修科目
 - * 科学哲学科学史特殊講義（宇宙倫理学入門）：文学部科目、前期月曜4限か5限（新設、宇宙倫理学で扱うトピックの入門講義）
 - * 宇宙総合学：全学共通科目（宇宙ユニット提供）、前期火曜5限（宇宙に関するテーマを網羅的に概観する講義）
 - * 系共通科目(倫理学A/B)：文学部科目、前期・後期金曜2限（倫理学に関する基礎的な講義、前期と後期は独立、いずれか一方が必修）
- 選択科目
 - * 宇宙科学入門（全学共通科目）、工学倫理（工学部）など現在選定中

b. 演習・専門研究ゼミ（内容策定中）

- * 宇宙倫理学演習：後期（新設、宇宙倫理学の諸テーマを論じるためのスキルを磨くもの）
- * 宇宙倫理学ゼミ：通年（新設、各自選びとったテーマについて1年間かけて考究を深めるもの）

② 大学院教育プログラム

a. 講義

- 必修科目（「宇宙学」以外は学部と共通）
 - * 宇宙学：大学院横断科目（理学研究科提供）、後期火曜5限（宇宙に関するテーマを概観し考究を深める講義）
- 選択科目
 - * 技術者倫理と技術経営（工学研究科）など現在選定中

b. 演習・専門研究（学部と共通、内容策定中）

現在、プログラムの修了要件、および学外受講者の受け入れ体制について検討中です。詳細は、決まり次第、ユニット NEWS でお知らせします。

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22日(月) 15:00-16:30	<u>第6回宇宙学セミナー</u> 講師：片山 俊大 氏（一般社団法人スペースポートジャパン 共同創業者&理事／(株)電通） タイトル：「秒速でわかる！宇宙ビジネス～宇宙業界と宇宙じゃない業界の、あたらしい関係性～」	Zoom による事前申込制のオンライン開催です。下の URL からお申し込みください。  https://kyoto-u-edu.zoom.us/join/HNFILYhI1hEz31_UGp9duqdQ

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

国際宇宙ステーションの運用と閉鎖環境 - 交信担当 (CAPCOM)の役割

ISS Flight Controllers, Capsule Communicators, and Life in Closed Environment

嶋宮 民安

Tamiyasu Shimamiya

有人宇宙システム株式会社

Japan Manned Space Systems Corporation

人類史上最大の宇宙建造物、国際宇宙ステーション(ISS)。2000年に始まった有人運用はすでに20年を超え、これまでに200名を超える宇宙飛行士がISSへのフライトを果たしました。その管制センターは世界に複数あり、それぞれに交信担当がいます。宇宙飛行士との交信、その工夫や苦労とは？ISSにおける閉鎖環境の不便さや対策と共にお話します。

The international space station (ISS), the largest orbital research facility ever constructed in human history, has logged more than two decades of continuous manned operations and accommodated more than 200 astronauts. This article explains the role of flight controllers at ISS Mission Control Centers, focusing on the role of Capsule Communicators and the difficulties and measures of life in Closed Environment.

国際宇宙ステーションの運用管制室

国際宇宙ステーション(ISS)の主要な運用管制室 (Mission Control Center, MCC) はヒューストン、ハンツビル、ミュンヘン、モスクワ、筑波にあり、管制官は常に協調し運用しています。全体をリードす

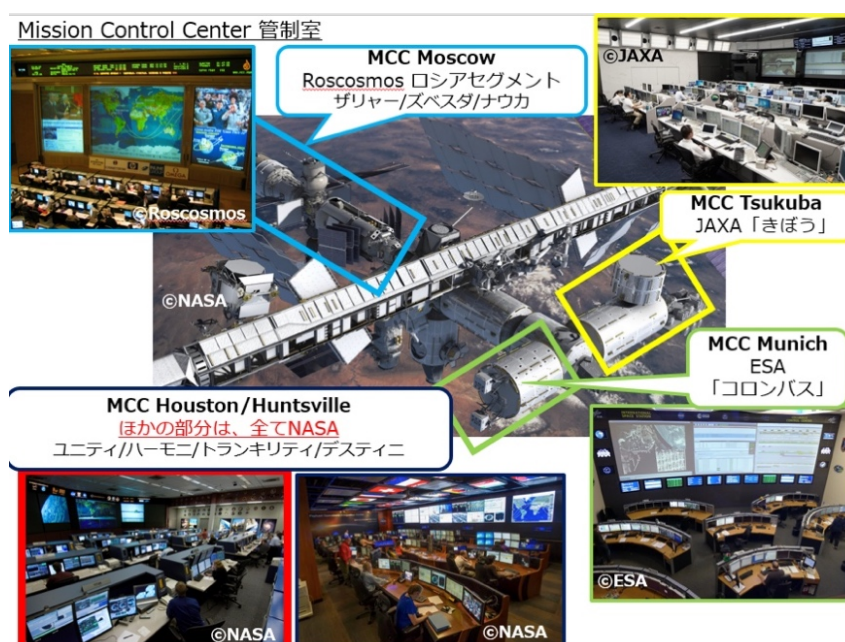


図 1 ISS の管制室

るのはヒューストンで、ハンツビルは NASA の実験運用を担います。モスクワはロシアセグメントを運用し、ミュンヘンは ESA のコロバス、筑波は JAXA の「きぼう」モジュールを運用しています（図 1）。

ISS 運用の管制官

ダイナミックな ISS 運用を知っていただくため、主にヒューストンの管制官の作業例とともに紹介します。今、地球の周回軌道には ISS と同速度（秒速 7.9km）で飛び交うたくさんの宇宙ゴミ（デブリ）があり問題となっています。例えばもし ISS にデブリが近づいてきたら管制官はどのように対処するのでしょうか。約 10 cm ほどのデブリは米国国防総省により識別されています。追跡を担当する管制官 TOPO (Trajectory Operations Officer) はデブリの衝突確率が高くなった場合、必要に応じモスクワの管制室に対しロシアセグメント側にあるスラスターの噴射を依頼します。これにより ISS の軌道が変更され、デブリを事前に避けることができます（図 2）。一方で細かいデブリは追跡できずいつの間にか衝突し、ISS を破損させている場合があります（図 3）。船内外には複数のカメラがあり状況を監視できますが、このような映像システムとともに制御システム、通信システムを所掌している管制官を CRONUS (Communication Radio Frequency Onboard Network Utilization Specialist) と言います。デブリは居住区画に衝突し穴を開けることも想定されています。衝突によりキャビンに減圧が生じた場合、クルーは緊急手順に従い自身の帰還船の健全性を確認した後、リーク発生源となった損傷箇所の特定制業を行います。このような減圧を含むクルーの生命維持に直結する緊急事態（他に火災や有毒物質の漏洩）に中心的な役割を果たすのは ETHOS (Environmental Thermal Operating Systems) という管制官です。ADCO (Attitude Determination Control Officer) はトラス部分に搭載された Control Moment Gyroscope (CMG) を所掌し平時の ISS の姿勢を制御しています。空気漏れ等で姿勢に影響を受ける際は、モスクワ管制室主導によるスラスターでの姿勢制御に移行します。姿勢維持ができないとソーラーパネルを太陽に向けることが困難になり SPARTAN (Station Power, Articulation, Thermal and Analysis) が所掌する電力システムや熱制御にも影響が出ます。このとき各 MCC の管制官は電力削減や実験運用制限をすることで協力します。また、通信アンテナが中継衛星を捉えられなくなると、交信やコマンドングが不可能になります。



図 2 デブリ回避運用

ISS 計画では全てが複合したこのような事態をこれまで経験したことはありません。しかしロシアが 1986 年から 2001 年まで 15 年間運用していた MIR（ミール）では、ドッキング試験をしていた貨物船プログレスが誤って MIR に衝突し、空気漏れから姿勢制御能を失い、電力消失や通信途絶を経験しています（図 4）。過去の経験と国際協力によって、このような事態が起こらないよう、ISS は運用されています。

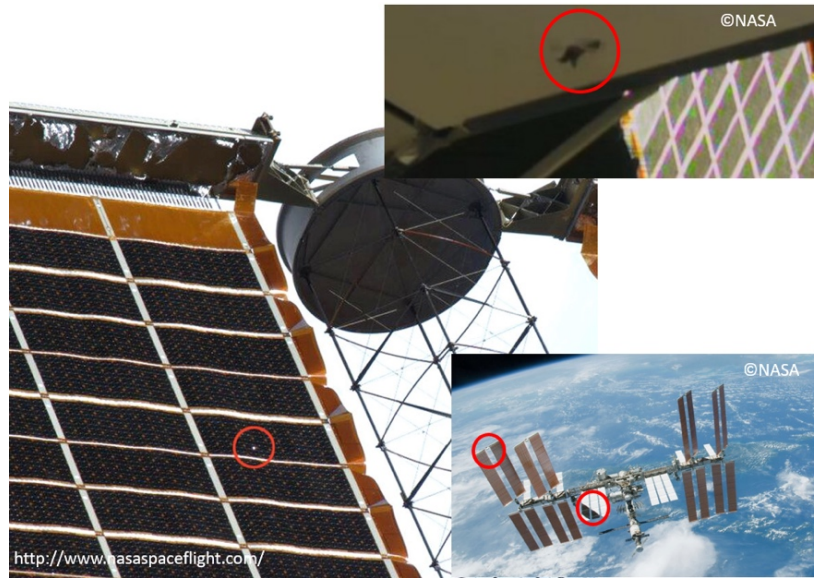


図 3 デブリによる破損



図 4 ミール宇宙ステーション

ISS 運用と閉鎖環境

ISS の生活は閉鎖環境を伴います。過去の知見から、閉鎖環境では人間関係、プライバシー、異文化、孤独、緊張などがストレスとなることが認識されていますが、運用者は宇宙飛行士の本音を認識することは、どれくらいできているのでしょうか。宇宙飛行士の本音はどうすれば知ることができるか、過去 Stuster J. が ISS クルーに対し行った JOURNALS という実験が良い示唆を与えてくれます。宇宙飛行

士が ISS 滞在中に日記を書き、その内容の分析から日々どのような事柄に関心があり、どのような不満を持ち何に満足を得ているかを知ること、最適な支援に寄与しようというものでした。日記は「その時」の気持ちをそのまま残すことができます。また、参加した宇宙飛行士は、書き残すことがストレスの発散になり振り返りの機会を得たと言います。参加した 20 名の宇宙飛行士はそれぞれ 4-6 ヶ月の滞在で、実験は 2003 年から 2016 年にかけて行われました。匿名かつ特定できる周辺情報は削除されたデータとして見るすることができます。内容は、共有物品の使いっぱなし、に關することから、共同生活によって生じる日常の些細な不満、自身は充実していても、地上に残した家族が気がかりというもの、娯楽の選択肢の少なさに關するもの、地上から常にカメラで一方向的にモニターされていること、軌道上の不便さ（物が散乱し置けないこと）の地上の無理解、スケジュールに裁量がないこと、間違っている作業手順書や収納手順書への不満、謝辞を多用する交信への不満、などがある一方で、地上や同僚飛行士とのチームワークの良さ、仕事の達成感に關する内容も多くありました。

このようなことから、軌道上作業については宇宙飛行士側の裁量をできるだけ増やすこと、管理部門の関与を減らすこと、地上要員と宇宙飛行士との接点を多く作ること、宇宙飛行士が積極的に交信担当業務を経験すること、手順確認作業を経験すること、経験のある宇宙飛行士が情報を共有することなどが推奨されています。これらの日記により、宇宙飛行士が軌道上での日々をどのように感じ生活しているのか、実感を持ってより具体的に伝わってきます。耳の痛いコメントも多いですが、留意すべき示唆に富む内容です。事実を知り慢心しないことが、より安心安全、そして快適な運用につながります。

交信担当（CAPCOM）の役割

各 MCC には Flight Director がいて、その Flight Director が集約した地上の意思を宇宙飛行士に伝える交信担当がいます。交信担当は Capsule Communicator、または Spacecraft Communicator と呼ばれ CAPCOM（キャプコム）と略されます。NASA は有人宇宙計画初期からスペースシャトルの時代まで、搭乗員と宇宙船を知る立場として CAPCOM には予備クルーを充てていました。しかし ISS 計画は一度始まってしまうと 365 日運用が続き人員が不足するため、宇宙飛行士以外からも採用するようになりました。ヒューストンの交信担当は CAPCOM、ハンツビルの 実験交信担当は PAYCOM、ミュンヘンは EUROCOM、筑波は J-COM、モスクワは GRAVINI（Главный）と呼ばれます。

交信担当が宇宙飛行士へ伝達するときは、スムーズな理解のためにまず概要説明から入り、その後に細かい手順指示へ入ることを心がけます。その際、他の管制官は作業を止め、交信担当が間違った情報を伝えていないか確認します（図 5）。このように宇宙飛行士への情報伝達は交信担当のみを通して行われますが、どうしてなのでしょう。その作業分野に精通した専門家たちに、宇宙飛行士と直接話をさせた方が効率もよく、伝言ゲームにならずに済むと考える人もいるでしょう。しかし、想像してください。ISS の一日は忙しく、宇宙飛行士は分刻みで修理や実験に注力し、たくさんの作業をこなします。そこにタイミングも考えず、複数人からまとまりなく作業指示が出たらどうでしょうか。行き違いによって作業ミスにもつながりますし、宇宙飛行士にストレスを与え、やる気を削いでしまうでしょう。さらに、軌道上の作業コストは桁違いに高く、かつ複数の作業が並行で行われています。交信をするチャンネルであるボイスループは常に忙しいため、交信はいつも正確、簡潔、そしてタイムリーであることが求められます。特殊な会話様式

に精通した交信担当の必要性がここにあります。また、交信担当はリアルタイムのやりとりだけでなく、宇宙飛行士が使用する作業手順書も事前に確認します。実はこれが不要な会話の往復を減らすための効果的な作業です。会話と同じく正確性、簡潔性、一貫性の他、見慣れない用語、わかりづらい図、遠回しな表現、情報過多、繰り返しが無い、といった観点から俯瞰的にチェックします。要するに初見で速やかに頭に入らない手順や説明は、軌道上の貴重な時間の無駄使いになるのです。それに留まらず読み手（作業員である宇宙飛行士）の士気も下げかねません。言うまでもなく、交信担当自身の準備不足のせいで宇宙飛行士の作業を止めては本末転倒ですので、事前準備には多くの時間を費やします。予期せぬ計画変更や手順不備などにも対応できるよう、軌道上の作業を熟知することが宇宙飛行士の信頼につながります。

伝えることだけでなくさらに大切なことは、交信担当が“Crew Advocate”（“クルーの代弁者”が近い訳でしょうか）として、宇宙飛行士の視点から運用に臨むことです。宇宙飛行士はきびしい現場で作業しているので、地上がその意に沿えないときには納得できる理由が必要です。軌道上の状況を想像し宇宙飛行士に不利益になるような状況があれば躊躇なくチームに意見し調整します。距離が離れた顔の見えない相手には、対応が事務的になってしまう傾向が少なからずあります。そのため、交信担当は管制室と宇宙飛行士の心理的な距離感にはいつも敏感でなくてはなりません。宇宙飛行士たちはISSへのフライト前に数回、「きぼう」モジュールの訓練のために来日します。地上チームはお互いに知り合い「顔の見える運用」とするために、その時間を有効に利用します。宇宙飛行士だけでなく日々ボイスループのみで会話をしている他国の管制官や訓練インストラクターも来日することがあり、同じように親交を深めます。運用管制はチームワークであり、一人の力だけでできることは限られています。ここに述べたことは、交信担当だけでなくISSに携わる全ての管制官が身につける基本的な技量です。それぞれの役割が連携し協調することで日々のISSの安全な運行がなされます。このように、宇宙飛行士もすごいけど、宇宙を支える管制官たちも結構すごいこと、ご理解いただけましたでしょうか？



図5 交信中のCAPCOM

筆者紹介

1972 年千葉県生まれ。北里大学衛生学部修士課程修了。1996 年より山梨医科大学（現 山梨大学）でストレス反応の研究と教育に従事、博士（医学）。2008 年、有人宇宙システム株式会社に入社し運用要員訓練を開始。2021 年現在、有人宇宙技術部 JEM 運用管制/交信担当（J-COM）チームリード。

参考文献

1. The International Space Station Operating an Outpost in the New Frontier, NASA-SP-2017-634
2. https://www.nasa.gov/mission_pages/station/news/orbital_debris.html
3. Beware the situation: how JSpOC tracks space debris: ROOM, Issue #1(1) 2014
4. Bryan Burrough; DRAGONFLY – An Epic Adventure of Survival in Outer Space., ISBN 0—6-093269-4
5. Stuster. J.; Behavioral Issues Associated with Long Duration Space Expeditions: Review and Analysis of Astronaut Journals Experiment 01-E104 (Journals): Final Report, NASA/TM-2016-218603
6. <https://www.masterclass.com/articles/what-is-capcom#3-essential-capcom-responsibilities>
7. Uhlig T., Mannel T., Fortunato A., and Illmer N.; Space-to-Ground Communication for Columbus: A Quantitative Analysis, Hindawi Publishing Corp., eScientific World Journal. Vol. 2015, Article ID 308031

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.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：名越俊平

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

宇宙総合学研究ユニット NEWS 2021 年 12 月号



第 15 回宇宙ユニットシンポジウムの参加受付開始

テーマ：人類は宇宙に移住できるのか？—文理融合型宇宙教育の開発と実践

日時：2月5日（土）13:00-17:00/ 6日（日） 9:00-17:30

形式：オンラインを基本、ポスター展示交流会は対面開催

宇宙ユニットが主催する 15 回目のシンポジウムでは「宇宙への移住」に焦点をあてます。民間の参入を受けて宇宙開発への動きが急加速する現代、人類による他惑星への移住は現実味を帯び始めつつあります。人類は惑星移住の技術的ハードルをどのように飛び越えるのか。本シンポジウムでは文理を問わず多方面から知見を持ち寄って議論を行います。一方で、宇宙開発や惑星移住に伴って生ずる倫理的・社会的・法的問題の存在も見逃すことはできません。そこで本シンポジウムでは、こうした課題に倫理学を基盤としてどう取り組むかについても考えます。

詳細は以下ウェブサイトをご覧ください。

<https://www.uss.s.kyoto-u.ac.jp/symp/15th/>

(京都大学宇宙総合学ユニット HP 内「第 15 回宇宙ユニットシンポジウム」)

ポスター発表とシンポジウムの参加申し込み受付を開始しました！

ポスターの出展申し込み（〆切 12 月 21 日） <https://forms.gle/6n7Qip7CYbM9TUx8>

シンポジウム参加（オンライン）の申し込み <https://forms.gle/Z6L9FMkfDi99KqJq9>

ぜひ奮ってご参加ください！

京都大学宇宙総合学ユニット 第15回シンポジウム

人類は宇宙に移住できるのか？

——文理融合型宇宙教育の開発と実践

2.5(土) 13:00~17:00 [オンライン]
シンポジウム講演会

2.6(日) 9:00~17:30 [オンライン]
シンポジウム+ パネルディスカッション
JAXA宇宙飛行士講演 [オンライン]
ポスター展示交流会「宇宙研究の広場2022」 [対面]

〇 司理者
高井 雄 (理研研究戦略部長)

〇 実行委員
吉川 真、稲富 裕光 (宇宙航空研究開発機構)
関根 康人 (東京工業大学 地球生命科学研究科)
永嶋 巧利 (理研 4R)
大野 秀也 (理研 4R)
寺田 昌弘、田島 知之 (京都大学 宇宙総合学ユニット)
山根 龍亮 (京都大学 総合生命学専攻)
伊藤田 哲治、児玉 聡 (京都大学 文学部研究科)
浅井 歩 (京都大学 理学部研究科)

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
〆切 <https://www.uss.s.kyoto-u.ac.jp/symp/15th/>
主催：京都大学宇宙総合学ユニット
共催：京都大学文学部理学部総合文化研究センター
後援：京都府教育委員会、京都府教育会、宇治市教育委員会、宇治市教育委員会、宇治市教育委員会

開催報告 宇宙霊長類学ワークショップを開催しました！

2021 年 12 月 4 日(土)に京都嵐山で、宇宙霊長類学ワークショップとしてニホンザルの観察会を開催しました。宇宙ユニット学生 6 名、教職員 3 名が参加しました。霊長類学を専門とする宇宙総合学ユニットの田島知之が観察指導を行い、ニホンザルの社会性について解説しました。参加者たちは密集状況が霊長類の行動と社会関係にもたらす影響について議論し、閉鎖環境で人類が居住する際に起こりうる問題について考えました。



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 17 日 (金) 15:00-16:30	<u>第 7 回宇宙学セミナー</u> 講師：川端 裕人 氏 (作家) 題名：「宇宙時代に「色覚」を捉え直す」	Zoom による事前申込制のオンライン開催です。下の URL からお申し込みください。 https://kyoto-u-edu.zoom.us/join/register/tZEQdO2rrDsjE9cqixh62Pii838RbWIkth5g 

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

宇宙倫理学

——より良い宇宙進出のあり方を考える——

清水 雄也

宇宙総合学研究ユニット 特定助教

私は、宇宙倫理学教育プログラムの推進を担当する哲学者として、宇宙総合学研究ユニット（以下、宇宙ユニット）に先月着任しました。この教育プログラムは、文部科学省の宇宙航空科学技術推進委託費（「人文社会×宇宙」分野越境人材創造プログラム）を受けて実施される事業（題目「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」）で、今年度中にプログラム内容を策定し、来年度から第1期生の受け入れを開始します。

ところで、宇宙ユニットに関わる／関心を持つ方の多くにとって、「宇宙倫理学」や「哲学」というのはあまり馴染みのないものかもしれません。そこで新任の自己紹介を兼ねて、本号と次号で私の研究分野について簡単に紹介してみたいと思います。

宇宙倫理学

宇宙ユニットにおける私の主な担当分野は宇宙倫理学ですので、そこから始めましょう。まず倫理学とは、倫理／道徳にまつわる諸問題を扱う哲学分野です。しばしば、倫理学は大きく3つの下位分野に分けられます。倫理的な基本原則の理論的探求を行なう規範倫理学、個別の領域やトピックに関わる倫理的問題を研究する応用倫理学、倫理学で用いられる概念や方法それ自体を論じる「倫理学の哲学」としてのメタ倫理学です。宇宙倫理学は応用倫理学の一分野であり、生命倫理学、環境倫理学、情報倫理学、動物倫理学などと並んで位置づけられます。また、そうした応用倫理学の中でも、ロボット倫理学や人工知能倫理学と並ぶ新しい分野です。

では、新興の応用倫理学分野である宇宙倫理学とはどのようなものでしょうか。私も参加している宇宙倫理学会（宇宙ユニットと応用哲学・倫理学教育研究センターの共同プロジェクト）では、宇宙倫理学を「人間と宇宙との関わりにおいて生じる様々な道徳的問題を検討する分野」と特徴づけています。その範囲は広く、私たちがすでに直面している問題から遥か遠い未来に生じるかもしれない問題まで、非常に多様なトピックが宇宙倫理学の名の下で論じられつつあります。いずれの問題も興味深いものですが、その中でも私が最も重視し関心を持っているのは、現在から100年間程度のスケールで地球人類が直面することが予想される（あるいはすでに直面している）いわゆる「近い」問題です。「近い」問題に含まれるトピックとしては、たとえば、スペースデブリ（宇宙ゴミ）の増大、大規模な地球外資源採掘、月や火星の（いわゆる「テラフォーミング」を含む）環境改変、民間宇宙旅行、宇宙（軌道）エレベーター建設などに伴う諸問題があります。こうしたトピックを扱う倫理学的議論には、既存の応用倫理学諸分野の拡張／交差として見ることができる部分があり、その意味で、宇宙倫理学は「総合応用倫理学」的な側面を持っているとも言えます。

地球人類の宇宙進出に伴う道徳的諸問題を扱う宇宙倫理学が持つ重要な特徴の1つは、従来の倫理学研究で半ば暗黙の前提となっていた「地球においては」という条件設定を意識的に取り外した議論を展開する点にあると言えます。このことは、単に既存の規範倫理学や応用倫理学の成果を宇宙進出に伴う倫理的問題に適用する以上の意義を宇宙倫理学に与えています。というのも、この特徴のために、宇宙倫理学の個別的なトピックについて論じる際には、既存の倫理学的議論が持つ普遍性や一般性の射程を再考するという作業を（相対的に多く）伴うことになるからです。このため、宇宙倫理学は応用倫理学の一分野であると同時に、規範倫理学やメタ倫理学にも興味深いフィードバックをもたらすことが期待される分野でもあるのです。

私は、宇宙倫理学をより合理的かつ学術的価値の高いものとするために、様々な科学分野と協働することの重要性を強調したいと思っています。たとえば、大規模な（科学的目的のためのサンプリングとは異なる規模の）地球外資源採掘の倫理的問題を論じるためには、そうした資源採掘を実現するための工学的技術はもちろん、それを可能にする法的枠組み、それがもたらす経済的な利益や格差、それが天文学に与える影響、その前提と帰結の両側で働く国際政治的な権力関係など、種々の知見が必要になるでしょう。あるいは、民間の（必ずしも高度な選抜や訓練を経ていない多くの人々を地球外に連れ出す）宇宙旅行に関する倫理的考察を進める際には、その工学的リスクや経済的効果、微小重力環境滞在が人体にもたらす宇宙医学的な影響、宇宙旅行が普及することによる文化や教育への影響といった多岐にわたる知見が要求されるはずです。そして、そうした知見の多くは、当然ながら狭義の倫理学（哲学）によって獲得できる性質のものではありません。また、地球人類の宇宙進出は、近年急速に進展しているとはいえまだまだ端緒についたばかりであり、それに関わる諸科学の知見も充実しているとは言い難い状況です。そのため、宇宙進出に伴う倫理的問題を先取的に論じるためには、諸科学分野の研究者と協働しながら、各個別問題を論じるために必要な知見を体系的に集約していくことが重要となります。良い宇宙倫理学には、先端的な宇宙科学技術や、まだあまり開拓されていない宇宙社会科学との協働が欠かせないのです。そして、宇宙倫理学者には、幅広い知見を集約し利用するための広範な科学リテラシーが求められることになるでしょう。

前段落で論じた内容については、拙稿「神話と証拠——宇宙進出の倫理学」（清水 2019）と「宇宙倫理学とエビデンス——社会科学との協働に向けて」（後述の『宇宙倫理学』第2章）でももう少し詳しく論じています。また、宇宙倫理学の要点をコンパクトに論じたアクセスしやすい記事としては、伊勢田哲治さん（宇宙ユニットメンバー）の「異星生物・異星人に出会うときの倫理——宇宙倫理学のすすめ」（伊勢田 2020）や、呉羽真さん（元宇宙ユニットメンバー）の「宇宙倫理学プロジェクト——惑星科学との対話に開かれた探求として」（呉羽 2017）があります。より詳しい内容を知りたい方は、宇宙倫理学研究会の成果物でもある論集『宇宙倫理学』（伊勢田ほか 2018）をぜひ読んでみてください。

最後に、宇宙倫理学を知っていただくにあたり、1つ強調しておきたいことがあります。それは、宇宙倫理学は宇宙進出の様々な試みに反対することを目的とするものではないということです。「倫理」という言葉は、新しい領野を切り開くような活動を阻むものとして理解されることがあります。たしかに、先端的な知を追求する人にとって、それは自分のしたいことをするためにクリアしなければならない（余計な）ハードルであると感じられることも少なくないでしょう。しかし同時に、倫理そのものが一般に不要／有害であると

思っている人は滅多にいないでしょう。私たち（の多く）は、自分たちの暮らす世界が倫理によって秩序づけられていることを望んでいるように思われます。この両義性は、どこから来るのでしょうか。

おそらく重要なのは、内実と根拠の明確性と合理性です。他人から「倫理」を説かれたとき、あるいは要求されたとき、それに反感を抱く典型的な理由の 1 つは、その意義や根拠がわからない、あるいは理に適合していると思えないというものでしょう。「倫理」に対して抱かれがちな悪印象や警戒は、倫理的要求に直面した際に経験された不明確さや不合理さにしばしば由来しているように思われます。

宇宙倫理学は、宇宙進出への意欲に水を差す（discourage）ことも肩を持つ（encourage）ことも最初から目的とするものではありません。何らかの活動に反対／賛同する場合には、その意義と根拠を明らかにし、それが理に適合していることを説得的に論じることを目指す知的活動です。つまり、宇宙倫理学は、より良い宇宙進出のあり方を知的かつ合理的に探求するための学問分野なのです。その基本的な思考様式は、「最大限に大局的な費用便益分析」とでも呼ぶことのできるものであり、その意味において何の神秘もないものだとは私は考えています。

以上、宇宙倫理学の概要と私のスタンスを紹介してきました。次号では、宇宙倫理学に対する私の関心や考え方のベースにもなっている科学哲学とメタ哲学について紹介します。

文献

伊勢田哲治, 2020, 「異星生物・異星人に出会うときの倫理——宇宙倫理学のすすめ」, 『宇宙総合学研究ユニット NEWS』2020 年 4 月号: 3-7. (URL: https://www.usss.kyoto-u.ac.jp/wp-content/uploads/2021/03/usss-news_202004.pdf)

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, 2017, 「宇宙倫理学プロジェクト——惑星科学との対話に開かれた探求として」, 『日本惑星科学会誌』26(4): 174-81. (URL: https://www.jstage.jst.go.jp/article/yuseijin/26/4/26_174/_pdf/-char/ja)

清水雄也, 2019, 「神話と証拠——宇宙進出の倫理学」, 『現代思想』47(12): 29-35.

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.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：立場貴文(宇宙ユニット RA)

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