

「有人宇宙活動のための総合科学研究教育プログラムの開発と実践」の成果の概要について

実施体制	主管実施機関	京都大学	実施期間	平成31年度～ 令和3年度 (3年間)	実施規模	予算総額(契約額) 5.1百万円		
	研究代表者名	特定教授 土井隆雄				1年目	2年目	3年目
	共同参画機関	東京慈恵会医科大学・愛知医科大学・ 岐阜医療科学大学・アリゾナ大学				1.7百万円	1.7百万円	1.7百万円

背景・全体目標

有人宇宙活動に関わる分野は、宇宙理工学、宇宙医学、生命科学、情報学、エネルギー科学、環境科学などが融合して成り立つ極めて学際的な総合科学である。そのため我が国の有人宇宙活動を支える人的基盤を強固なものとするには、様々な学問分野を理解し、実践的に活躍できる人材を輩出することが重要である。これまで京都大学では、有人宇宙活動のための総合科学教育プログラムとして講義・実習・社会連携から成なる特徴的な教育プログラムを開発してきた。本課題ではこれまでのノウハウを生かし、更に大学院レベルの専門的な総合科学研究教育プログラムに発展させ、有人宇宙活動を行う上で極めて重要な宇宙滞在の人体への影響という課題を中心に、様々な専門的知識や社会連携などを習得できるプログラムを構築する(図1)。また、知識の習得だけでなく、有人宇宙ミッションを模擬した実習プログラムなども通じて、国内だけでなく海外教育機関とも連携し、国際的な研究教育基盤を確立する。

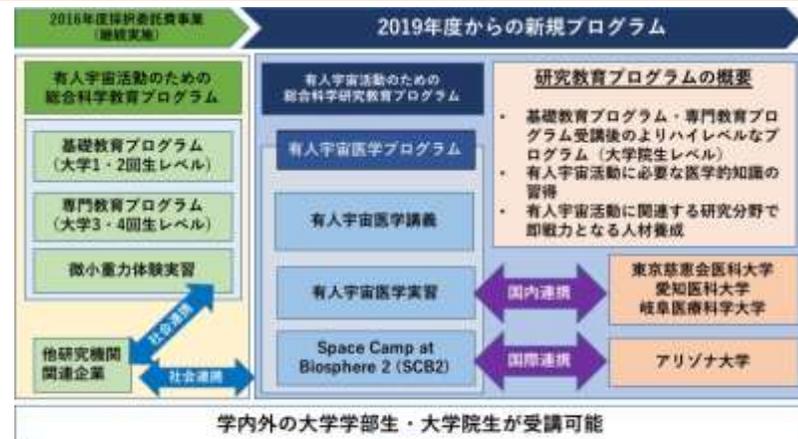
全体概要・主な成果

本課題では、自然科学及び人文・社会科学をはじめとする有人宇宙活動に必要な学問分野を網羅すると同時に研究活動にも焦点を当て、有人宇宙活動に特化した「総合科学研究教育プログラム」を構築し、学部生及び大学院生に対して実践した。

平成28年度採択委託費事業で開発した基礎教育プログラムと専門教育プログラムを継続実施した。特に基礎教育プログラムでは、有人宇宙活動に焦点を当てた「有人宇宙学入門」を新たに開講した。有人宇宙医学プログラムでは、日本で初めての宇宙医学に関する講義と実習を行った。また、アリゾナ大学と協力することによって日米の学生に対してスペースキャンプを行い、将来の有人宇宙探査活動を模擬した実習プログラムを構築した。これら研究教育プログラムの教育効果の評価として、コンセプトマップ・学生アンケートを活用し、学際的な講義や実習の定着度などを評価し、その結果をフィードバックさせてよりよい内容に改善できる体制を整えた。

さらに京都大学大学院総合生存学館に有人宇宙活動に関する研究教育活動を恒常的に推進するために、産学連携を基本とした有人宇宙学センターを設立した。

本課題期間中に開発・実践されたすべての活動の相互関係を明確にすることによって、有人宇宙活動を志す学生が総合科学教育プログラムの体系的な受講計画を立てるために、これらの内容を網羅した教育プログラムのコースツリー・カリキュラムの作成を行い、学外教育機関にも提供できるようにまとめた(図2)。



専門的知識を持った即戦力となる人材の育成

図1 有人宇宙活動のための総合科学研究教育プログラム構成



図2 有人宇宙活動のための総合科学研究教育プログラムコースツリー 1

① 教育プログラム（継続）：基礎教育プログラムの開発と実践

実施内容・成果

【基礎教育プログラム 概要】

有人宇宙活動に必要な総合科学：有人宇宙学は、人間と時間と宇宙を繋ぐ学問であり、宇宙の進化、生命の進化、文明の進化、及び宇宙開発の進化を規定するものである。その理念のもとに令和2年度に学部1・2回生を対象とした京都大学既存の宇宙総合学（講義）として、有人宇宙活動のための総合科学教育プログラム（基礎教育プログラム）を提供した。さらに令和3年度には後期に提供される専門教育プログラム：有人宇宙学（講義）とより整合性を高め、有人宇宙活動に特化した学術分野（表1）を網羅するために、新しく有人宇宙学入門（講義）を開講した。有人宇宙活動のための学術分野を図3に示す。有人宇宙学入門では6つの領域（天文学、ロケット工学、宇宙医学（機能性宇宙食）、宇宙実験学、宇宙経済学、宇宙社会学（閉鎖環境））を新しく導入した。基礎教育プログラム：有人宇宙学入門及び専門教育プログラム：有人宇宙学によって本課題で定義した13の学術領域を包含する教育プログラムが完成した。

有人宇宙学入門の教育効果は、受講学生によるコンセプトマップ作成・解析により評価した。受講学生は、有人宇宙学全講義前後で「有人宇宙活動」を中心ワードとしてコンセプトマップを作成した。その後、初回に自身が作成したコンセプトマップを再配布し、各自でコンセプトマップの構造が受講の前後でどのように変化したかを解析した。その結果、全員についてノード、リンク語の数が増加し、構造も単純なスポーク委型やチェーン型からネットワーク型へ変化していたことから、有人宇宙学入門による学習効果が十分にあったと結論づけられた。

宇宙総合学及び有人宇宙学入門の受講学生は自然科学系ばかりでなく人文社会科学系の学生も多く、分野を超えて積極的に講義に参加した。表2に各年度の受講者数と単位認定者数を示す。

表2 基礎教育プログラムの受講生

年度	講義名	受講者数	単位認定者数
令和2年度	宇宙総合学	135	115
令和3年度	有人宇宙学入門	27	20

※前期実施講義のため、初年度は委託費事業として開講はなし

表1 有人宇宙活動学術分野

分野	学術領域	地球社会	宇宙
自然科学 (理系)	有人宇宙活動	生存圏拡大	宇宙ステーション
	ロケット工学	輸送システム	有人・貨物宇宙船
	宇宙医学	医療	宇宙医療・宇宙食
	宇宙生命科学	農林業	宇宙における食糧生産
	宇宙木材工学		
	宇宙実験	工学・科学	宇宙工学・宇宙科学
	宇宙環境工学	地球環境	月・惑星・小惑星
	天文学	地球・宇宙・起源	太陽系・銀河・宇宙
	宇宙探査工学		
	宇宙居住学	社会基盤	宇宙社会（物質基盤）
人文社会科学 (文系)	宇宙霊長類学	社会・文明	宇宙文明・進化
	宇宙人類学	文化	宇宙文化
	宇宙経済学	経済活動	宇宙産業・宇宙商業化
	宇宙法	社会・政治	国際協力・国際政治
	宇宙社会学（閉鎖環境）	大衆活動	宇宙社会（精神基盤）



図3 有人宇宙活動学術領域マップ

② 教育プログラム（継続）：専門教育プログラムの開発と実践：有人宇宙学講義

実施内容・成果

【専門教育プログラム（講義・演習）概要】

専門教育プログラムとして、学部生及び大学院生に対して有人宇宙学（講義）を提供した。有人宇宙学（講義）は、有人宇宙活動についての実践的知識を与えると同時に最先端の研究や技術情報を提供することによって、学生が個々の専門分野を選択することに直接役立てられる専門的知識を獲得することを目的とした。前期の有人宇宙学入門（講義）と合わせて、有人宇宙学の13の学術分野を網羅する。

専門教育プログラム講義：有人宇宙学

「宇宙を知る」「宇宙を生きる」「宇宙を考える」「宇宙をつくる」の4つのテーマに基づいた10回のリレー講義を実施した（表3）。

専門教育プログラム演習：有人宇宙学演習

受講学生は4つの班に分かれて班ごとに「150人の人間が暮らす小社会を、宇宙空間（1班）、月（2班）、火星（3班）、小惑星または外惑星の衛星（4班）、に建設するための基礎設計をせよ」という課題に取り組んだ。演習方法としては、有人宇宙学における4つの研究課題（宇宙を知る、宇宙を生きる、宇宙を考える、宇宙を作る）に沿って進める。それぞれの研究課題では次の検討を要求した：

- 演習1. 宇宙を知る：各場所の環境を調べる（重力、放射線、大気、水など）
- 演習2. 宇宙を生きる：1の環境に適する生態系は何か（食料生産を如何に行うか。自給自足するための条件は何か）
- 演習3. 宇宙を考える：1、2の条件を満たすための小社会構造は何か（どのようなルールが必要か。どのような社会基盤が必要か）
- 演習4. 宇宙を作る：1、2、3の条件を満たすための技術課題は何か（現存する技術で対応可能か。新しい技術が必要か）

講義「有人宇宙学」を受講する学生は、演習1で小社会建設地の環境を知り希望する建設地を選び、演習2でエネルギーや空気・食物の供給方法を、演習3で小社会の構造を考えた。演習4では、小社会の全体の仕組みをまとめて発表した。さらに、有人宇宙学演習の最終報告として各演習班は設計した小社会をポスターにまとめ（図4）、宇宙ユニットシンポジウムで発表した。

表3 「有人宇宙学」におけるリレー講義一覧

テーマ	講義名	担当講師
有人宇宙学	有人宇宙学	土井隆雄
宇宙を知る	宇宙環境工学	山敷庸亮
宇宙を知る	宇宙探査工学	清水幸夫
宇宙を生きる	宇宙生命科学	保尊隆享
宇宙を生きる	宇宙木材工学	村田功二
宇宙を生きる	宇宙医学	寺田昌弘
宇宙を考える	宇宙霊長類学	足立幾磨
宇宙を考える	宇宙法	青木節子
宇宙を作る	宇宙人類学	岡田浩樹
宇宙を作る	宇宙居住学	稲富祐光



図4 有人宇宙学演習：150人が暮らす宇宙小社会の設計

③ 教育プログラム（継続）：専門教育プログラムの開発と実践：有人宇宙学実習

実施内容・成果

【専門教育プログラム：有人宇宙学実習】

専門教育プログラムにおける有人宇宙学実習は、有人宇宙ミッションを模擬した体験学習であり、4種類の異なった課題【天体観測実習】・【模擬微小重力実験】・【閉鎖環境実習】・【宇宙無線通信実験】を計6日間かけて体験することによって分野横断型学習から有人宇宙活動に関する包括的な視点と基礎知識を身につけることを目的とする。参加学生9名は、3名をひとつの班として6日間を過ごすことにより、共同生活の中でチームワーク（小社会）がどのように形成されていくのかを体験する（図5）。

天体観測実習

系外惑星の測光観測では、恒星の前面を惑星が横切る時に発生する減光現象（トランジット）を観測することで、惑星の大きさや軌道を調べることができる。天体観測実習においては、系外惑星観測システムを使い、恒星の周りを公転する系外惑星天体をトランジット法で観測し、その惑星の軌道要素を計算し、惑星の表面温度を求めることを実習課題に設定した。表面温度を求めることによって、その惑星が居住可能かどうかの推測が可能となる。トランジットは、比較的小型の望遠鏡で観測可能であり、しかも京都府のような明るい市街地が近くにあっても軌道解析に必要な品質のデータを得ることができる。



図5 有人宇宙学実習 花山天文台

模擬微小重力実験

模擬微小重力実験では、3Dクリノスタットを使い、植物（ガーデンクレス）の根の初期成長を観察することで、重力の植物の成長に及ぼす影響とその重力感知機構の特性を調べることを実験課題に設定した。クリノスタット上の試料が受ける重力環境は、方向均一化のみであり、完全な微小重力環境とは異なる。図6において、左側の装置が3Dクリノスタット、中央と右側の装置は地上対照実験装置である。地上対照実験装置は自動回転機構を持たないが、手動で任意の回転位置に試料を固定することができる。右側の装置では、根の初期成長期間内に90度だけ回転させる。この回転により、根に働く重力方向が90度変わるので、根が重力方向に屈曲する様子を観察することができる。



図6 3Dクリノスタット：模擬微小重力発生装置

閉鎖環境実習

本実習全体のベースとなる環境は、携帯電話を利用せず実習指導者等を除く外部との社会的関係を絶ち、かつ限られた施設（就寝はテント）と敷地内で5泊6日に渡り寝食を共にしながら、上述の講義受講・実験・観測を3人1班で取り組んでいくという、日常生活とは大きく異なる疑似的な閉鎖環境とした。この環境を有人宇宙ミッションの閉鎖環境になぞらえ、実習全体を通して、履修者自らが自身の心身をモニタリングする方法を実践・体得し、現れうるストレスをデータ化し考察することを目的とする“閉鎖環境”実習を行った。また、教員側は、各班の仕事能率を観察することによって、それぞれのチームワークがどのように構築されていくのかも着目した。

宇宙無線通信実験

令和2年度から有人宇宙学実習に新たな課題として宇宙無線通信実験を取り入れた。宇宙ミッションでは、地上との会話及びデータのやり取りは全て無線で行われる。将来の月や火星での有人宇宙活動を想定すると、地球と違って大気層・電離層がないために、衛星を使った通信が主流となることが予想される。そのため、今回の有人宇宙学実習では、アマチュア無線衛星を使った宇宙無線通信実験を行った（図7）



図7 八木アンテナを使った宇宙無線通信実験

④ 研究教育プログラム（新規）：有人宇宙医学講義

実施内容・成果

【有人宇宙医学講義 概要】

人類の宇宙進出は、特に技術的發展に伴って益々活況となっている。スペースシャトルから国際宇宙ステーション（ISS）に宇宙ミッションが移行し、宇宙滞在が益々長期化している。今後は月面ミッションや火星ミッションなどで数年単位の滞在も現実のものとなる。そのため有人宇宙医学講義を確立し、今後の有人宇宙活動に向けて、人体への宇宙滞在の影響がどのようなものであるかを学び、将来的にその対策方法の解明に従事する人材育成を行なった。この講義では、地上での臨床医学との共通点や違いなどについても学習し、宇宙医学と地上医学の関係性を理解する能力を得た。有人宇宙医学講義の受講者数を表4に示す。

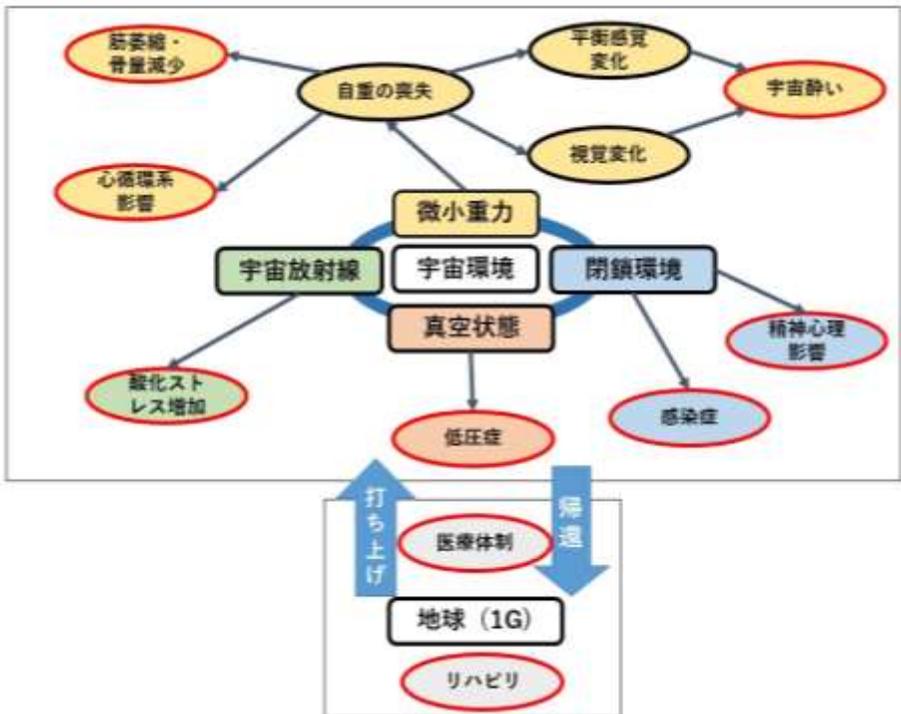


図8 有人宇宙医学講義の重要項目相関図

有人宇宙医学講義の重要項目の相関関係を図8に示す。宇宙環境は大きく分けて、微小重力・宇宙放射線・閉鎖環境・真空状態といった地上とは異なる環境であり、地上でのサポート体制も重要である。以下に各項目の特徴を解説する。

【微小重力による影響】

地上での1Gの環境に適応した我々の人体は、微小重力に晒されると自重を感じなくなる。そのため、重力負荷の喪失により、骨格筋の萎縮や骨量減少が生じる。また、体液シフトにより心循環器系へ影響を与える。更に平衡感覚の乱れや視覚変化によって、宇宙滞在初期は宇宙酔いの現象が生じる。

【宇宙放射線による影響】

ISSで暴露される1日の放射線量は、地上で半年程度浴びる放射線量に等しい。しかし、低線量で長期間被曝するという環境は、地上とは異なる。

【閉鎖環境による影響】

ISSでの閉鎖環境生活は、我々の精神心理に大きく影響する。特に少人数で、なおかつ言葉や文化が違う宇宙飛行士が共同して長期間生活する環境は容易にストレスが蓄積する状況である。

【真空状態による影響】

宇宙での真空環境における船外活動では、宇宙服のみが人体の保護を行う。宇宙服内部は低圧に保たれており、長期間の船外活動は低圧症の危険も大きくなる。

【地上でのサポート体制】

宇宙環境に適応した状態で地上に帰還する際には、地上の1G環境に再適応する必要がある。そのため、帰還後はリハビリテーションを行う必要があり、また打ち上げや帰還時、宇宙滞在時の宇宙飛行士への健康サポート（医療体制）も大切な項目である。

表4 有人宇宙医学講義の受講者数

年度	受講者数 (京大)	受講者数 (外部)
令和2年度	6	30
令和3年度	21	23

⑤ 研究教育プログラム（新規）：有人宇宙医学実習

実施内容・成果

【有人宇宙医学実習 概要】

参加学生が実体験を通じて宇宙医学研究の重要性を理解し、将来の研究分野への興味を深めることを目的に、有人宇宙医学実習を実施した。今後、有人宇宙ミッションは益々長期間に及ぶことが予想され、宇宙環境が人体に及ぼす影響を解明することは重要になる。宇宙医学研究はまさにこの分野を研究する学問であり、より実践的な宇宙医学関連研究者を育成することは急務である。令和2年度ならびに令和3年度は、東京慈恵会医科大学・愛知医科大学・岐阜医療科学大学との連携により京都大学外からも学生を募集し、宇宙医学実習を実践した。有人宇宙医学実習の参加者数を表5に示す。

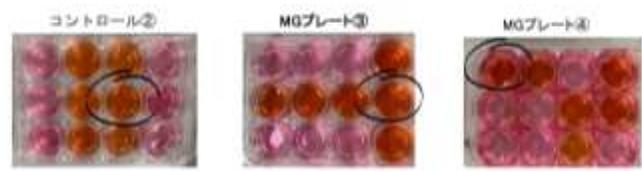
東京慈恵会医科大学においては、実習期間中は「微小重力への生体応答」というテーマで、クリノスタット（Gravite）での細胞培養実験を通じて微小重力環境が筋細胞へ及ぼす影響を解析した（図9・10）。結果として、微小重力下でも細胞増殖は行える。但し17時間後の結果を考えると、筋芽細胞の増殖は微小重力下で抑制される可能性はある。今回の実習では、実験手技の習得も十分でなかったため、より習熟してばらつきのないデータを取得し、実験結果を比較する必要がある。また、2日間の培養条件であったが、もう少し長期間の模擬微小重力下の実験も行う必要があると考える。

岐阜医療科学大学では、宇宙医学研究の概論と宇宙服開発について講義を受け、宇宙の極限環境が人体に及ぼす影響とその対応策について学んだ。参加学生は、講義後の実習として宇宙服開発におけるプロトタイプの見学と、人工遠心機やGalvanic Vestibular Stimulation（GVS：前庭系を外から電気刺激する方法）を実際に体験した（図11）。



図9 実習の風景@東京慈恵会医科大学

SF試薬による色の変化



細胞が割れ落ちてしまったコントロール②の試薬入りウェルは細胞が見られるMGプレートの試薬入りウェルよりも色が薄い
⇒細胞がきちんと染色されている！

図10 細胞培養実験の結果の一例@東京慈恵会医科大学

表5 有人宇宙医学実習の参加者数

年度	参加者数 (京大)	参加者数 (外部)
令和2年度	3	9
令和3年度	2	2



図11 実習の風景@岐阜医療科学大学

⑥ 研究教育プログラム（新規）：スペースキャンプ SCB2

実施内容・成果

【スペースキャンプ（SCB2）概要】

Biosphere 2 は、人類が他惑星に移住した際に閉鎖された狭い生態系の中で生存することが出来るのかを検証する目的で建造されたアリゾナ大学が運営管理する巨大な準閉鎖人工生態系である。日本並びに米国の学生に対してスペースキャンプをBiosphere 2 (Space Camp at Biosphere 2: SCB2) で実施し、国際的な学生交流を通じた宇宙教育プログラムを作り、さらに将来的な有人宇宙活動を担う人材育成ができる国際宇宙教育拠点の構築をめざした。日本人学生5名、アメリカ人学生5名を各年度に選抜し、スペースキャンプ（SCB2）を実施した。

【国内実習】

令和2年度はコロナ感染症対策のために日本人学生が渡米することができず、急遽国内実習を実施した。国内実習は、Biosphere 2の海洋、熱帯雨林、砂漠に対応するように海洋実習は京都大学白浜海象観測所、森林実習は京都大学芦生研究林（図12）、砂漠実習は鳥取大学乾燥地研究センターで実施した。アメリカ人学生との交流は、各国内実習の終了後にオンライン交流会を実施し、令和3年2月21日にSCB2バーチャル国際シンポジウムを開催した（図13）。令和3年度も国内3カ所において国内実習を行い、その結果はオンライン交流会でアメリカ人学生にも共有できるようにした。

【アリゾナ実習】

令和3年度は日本人学生3名、アメリカ人学生5名が参加し、5泊6日のスペースキャンプをBiosphere 2で実施した（図14）。スペースキャンプでは、B2の熱帯雨林（図15）・海洋（図16）・砂漠の環境を用いた講義や実習を通して、有人宇宙探査活動についての学習の機会を提供した。スペースキャンプ中、参加学生同士はコミュニケーションを深め、様々な課題をチームで取り組むことによって、チームワークの形成も順調に行われた。実際の有人宇宙ミッションは、国際協力が前提であることから、スペースキャンプは、専門教育プログラムの有人宇宙学実習をより実践的国際的に発展させたものとして十分な意義がある。



図12 森林実習（芦生研究林）



図15 SCB2熱帯森林実習



図13 SCB2バーチャル国際シンポジウム（令和2年度）



図14 スペースキャンプ（SCB2）（令和3年度）



図16 SCB2海洋実習

⑦ コーディネートオフィスの活動

実施内容・成果

【Moon Village Association Symposium】

Moon Village Association (MVA) は、2017年に設立された国際NGOで、近い将来に月面で行われる有人宇宙活動を見据えて活動している団体である。第3回目となる国際シンポジウムは、京都大学宇宙ユニット・東京理科大学宇宙コロニーセンター・慶応義塾大学がホストを務め東京と京都において開催され、総計393名が参加した。12月8日の京都プログラムでは、午前中はMVAが取り組む活動の説明があり、各国の宇宙機関やJAXAによる将来計画の紹介や、月面ミッションのビジョンが提示された。午後は多くの学生（高校生・大学生・大学院生）や企業研究者が、月面居住に関して研究した成果を発表するポスターセッションが行われた。

【宇宙ユニットシンポジウム】

有人宇宙活動と宇宙教育をテーマとして扱う一般向けのシンポジウムを令和元・2・3年2月に開催した（図17・18）。このシンポジウムは、有人宇宙活動に対する関心が広く社会で高まる事と、多様な視点の取り込みで学生自身への教育相乗効果を得ることを主目的としている。人類の宇宙進出、宇宙社会の構築など、将来の有人宇宙活動に関連した各分野の専門家を招き、本教育プログラムを受講した学生も参加した。宇宙ユニットシンポジウムの参加者数を表6に記載する。3年間で計1197名の参加者があった（表6）。

表6 令和1・2・3年度の宇宙ユニットシンポジウム参加状況

	R1	R2	R3
ポスター出展数	59	41	42
参加人数	308	418	471

【宇宙ユニットNEWS】

大学内外の研究者間交流を促進させる機能のひとつとして「宇宙ユニットNEWS」を毎月1回のペースで月初めに発行した。宇宙ユニットNEWSは、本事業による有人宇宙活動のための総合科学教育プログラムに関連する講義やイベントの情報を掲載し、その開催報告等を簡易にまとめている。（宇宙ユニットNEWSは、メーリングリストで配布及びWebページに掲載）



図17 令和元年度宇宙ユニットシンポジウムでのポスター発表の様子

図18 令和3年度宇宙ユニットシンポジウムの開催告知フライヤー

⑧ 研究教育プログラム（新規）：総括

実施内容・成果

【総括】

本課題から開発を始めた有人宇宙活動のための総合科学研究教育プログラムは、平成28年度に本委託費事業に採択され実施してきた総合科学教育プログラムの発展型であり、より専門性を高めた人材育成プログラムである。これら全体プログラムを通じて大学学部生から大学院生レベルを網羅し、有人宇宙活動に関わる分野で活躍できる人材を育成することが主目的である。有人宇宙活動には様々な学問分野が関連しており、異分野の融合により更なる発展が期待される。そのため、本プログラムでは様々な分野を網羅した講義・実習・社会連携活動を通じて、学生自らが学び、考え、実践していくことをめざした。

特に本課題では、将来の有人宇宙ミッションでの宇宙飛行士への人体影響の理解を深めるため、医学・生物学系の拡充を図った。有人宇宙医学プログラムでは、東京慈恵会医科大学・愛知医科大学・岐阜医療科学大学との連携により、人が宇宙に展開する活動を総合科学研究として医学面から探求できる人材育成を目指した実習を実施した。さらにアリゾナ大学が所有している準閉鎖人工生態系Biosphere 2を活用し、国際宇宙教育プログラムへの発展をめざした。本事業で学んだ学生は、高い専門性を持つと同時に有人宇宙活動を大局的に捉えることが可能になり、新しい有人宇宙ミッションの提案や宇宙産業の創出に積極的に貢献することができる。

さらに本課題では3年間の受講学生の進路先調査を行った。令和元年度は20名（学部卒業生12名、修士修了生8名）、令和2年度は16名（学部卒業生13名、修士修了生2名、博士修了生1名）、令和3年度は14名（学部卒業生8名、修士修了生5名、博士修了生1名）、計50名である。そのうち京都大学大学院に進学したのは25名、他大学大学院に進学したのは6名、民間企業に就職したのは10名、官公庁に就職したのは3名、その他6名である。

総合研究教育プログラムで開発された各講義及び実習に参加した総学生数を表7に示す。基礎・専門教育プログラム参加学生数は258名、有人宇宙医学プログラム（有人宇宙医学講義及び実習）参加学生数は103名、スペースキャンプ（SCB2）参加学生数は20名、宇宙機関・企業意見交換会に参加した学生数は100名、有人宇宙学研究センター研究活動に参加した学生数は25名、学会などで研究発表した学生数は24名である。総計530名の学生に対して総合科学研究教育プログラムを実践した。学生による学会での発表数が24回を数えたのは、有人宇宙活動のための研究活動の成果が出ていることを証明している。さらに本課題成果の社会発信のために実施したMoon Village Association Symposiumと宇宙ユニットシンポジウムの参加者総数は1590名に達し、十分な社会発信が実現できている。

有人宇宙活動は社会的に極めて高い関心を集めており、また宇宙に人間社会を展開するという意味で社会を大きく変容させていくポテンシャルを有している。本課題は社会に新しい方向性を与えると同時に現代社会が持つ様々な課題を宇宙的視点から解決をはかる可能性があるという点で公益に資する。また、宇宙航空人材育成のための新しい研究教育プログラムを開発・実践すると同時に国際連携による研究教育活動を展開していくという点で、社会的に極めて大きなインパクトを持つ。本事業で育成する総合科学的知識を備えた若手人材は、有人宇宙活動のみならず社会の様々な領域で活躍できる能力を身に付けることが可能である。

表7 有人宇宙活動のための総合科学研究教育プログラムへの参加者数

教育プログラム名称	R1	R2	R3	総数
宇宙総合学/有人宇宙学入門(基礎教育)	-	115	20	135
有人宇宙学・有人宇宙学実習(専門教育)	20	15	18	53
有人宇宙ゼミ(専門教育)	20	17	33	70
有人宇宙医学講義・実習(研究教育)	7	48	48	103
SCB2スペースキャンプ(研究教育)	-	10	10	20
宇宙機関・企業意見交換会	18	31	51	100
有人宇宙学研究センター研究活動	-	-	25	25
研究発表(学会)	7	5	12	24
学生参加者総数	72	241	217	530
Moon Village Association Symposium	393	-	-	393
宇宙ユニットシンポジウム	308	418	471	1197

その他の成果

これまで得られた成果 (特許出願や論文発表数等)	特許出願	査読付き 投稿論文	その他研究発表	実用化事業	プレスリリース・取材対応	展示会出展
	国内：0 国際：0	国内：1 国際：0	国内：27 国際：3	国内：0 国際：0	国内：24 国際：0	国内：23 国際：0
	受賞・表彰リスト			N/A		

成果展開の状況・期待される効果

本課題の成果によって令和2年度に京都大学大学院総合生存学館に有人宇宙学研究センター（ソーシャルイノベーションセンター・有人宇宙学研究領域）が設置されたことは特筆に値する（図19）。有人宇宙学研究センターは、宇宙木材研究、宇宙居住研究、宇宙放射線研究、宇宙教育研究、及び宇宙・地球探査技術研究の5部門を持ち、有人宇宙活動について協力企業と共同で研究教育活動を推進していく計画である。

宇宙教育部門では宇宙ユニットと共同で本課題で開発された有人宇宙活動のための総合教育プログラムの講義・実習を継続して実施していく。宇宙ユニットが提案した「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」は令和4年度文部科学省の宇宙航空科学技術推進委託費宇宙航空人材育成プログラムに採択され、さらに宇宙医学に関する人材養成を続けていく予定である。

宇宙木材研究部門はすでに住友林業株式会社との共同研究「宇宙における樹木育成・木材利用に関する基礎的研究」を立ち上げ、世界初の木造人工衛星の開発及び将来の月・火星における樹木育成のための基礎研究を開始している。特に木造人工衛星の開発は、宇宙開発におけるカーボンニュートラルの実現めざす一歩であり、地球の環境問題の解決に寄与することができる。また、宇宙で木材という新しい資源が利用できるようになれば、地上での木材産業が宇宙に進出し、新しい宇宙木材産業を構築できる可能性も待つ。有人宇宙学研究センターが提案した「宇宙木材産業の創出をめざした宇宙材料としての木材利用の探究」は令和4年度文部科学省の宇宙航空推進科学技術推進委託費宇宙航空脱炭素技術等創出プログラムに採択されている。

今後の研究開発計画

本課題では有人宇宙活動のための総合科学研究教育プログラムの開発と実践を行い、特に有人宇宙医学講義・実習及びスペースキャンプ（SCB2）を開発した。有人宇宙医学講義・実習については、宇宙ユニットが文部科学省の宇宙航空科学技術推進委託費宇宙航空人材育成プログラムとして継続実施していく。また、本課題の成果として京都大学に有人宇宙学研究センターが設立されたことにより、有人宇宙学研究センターの宇宙教育研究部門は、有人宇宙活動のための教育プログラムを継続実施し、宇宙木材研究部門は文部科学省の宇宙航空科学技術推進委託費宇宙航空脱炭素技術等創出プログラムとして新しく宇宙における樹木育成・木材利用に関する基礎的研究を発展させていく計画である。



図19 有人宇宙学研究センターの設立

(参考1) 有人宇宙医学講義・実習：コンセプトマップ・アンケートによる評価

実施内容・成果

【コンセプトマップによる教育効果の評価】

各講義・実習において教育効果を定量的に評価するために、コンセプトマップ^(※)を活用した。各講義・実習の前後に、「微小重力の生体反応」を中心テーマとして学生が作成したコンセプトマップを比較することによって、学習効果の可視化が可能か、コンセプトマップが評価ツールとして有効かも含めて教育効果を検討した。コンセプトマップ解析結果を図20に示す。

コンセプトマップ解析例（2021年度有人宇宙医学講義での解析）

【ノード数の変化】

講義前の平均値は14.3、講義後は20.3であり、約1.41倍となった。ほとんどの学生のコンセプトマップでノードは増加していた。講義を受講することによって専門的知識が増えたと想像できる。

【リンク数の変化】

講義前後で平均値の変化は16.8から25.5となり、約1.52倍となった。こちらもノード数の結果と同様に、ほとんどの学生のコンセプトマップでリンク数は増加していた。講義後のコンセプトマップを見ると、講義内で触れた内容や専門外の単語も並ぶようになっており、知識の幅が広がったように思われる。

【ノードの内容変化】

宇宙放射線、「筋萎縮」、「体液シフト」、「宇宙酔い」といったノードが複数の履修者に共通してみられるようになった。もともと宇宙で生じる変化のイメージとして、宇宙放射線や宇宙酔いといったポピュラーな用語を講義を受けることによって、さらにイメージ付けできたと思われる。

【アンケートによる教育効果の評価】

講義並びに実習終了後にアンケートを取得し、その評価を行った。講義終了後に6名の学生から取得したアンケート結果（令和3年度）をみると、進路を選択する際に役立つ情報を獲得できたかどうかの問いに関し、5段階評価の内、4名の学生が最高得点5の評価を付けた。2、3の評価を付けた学生はそれぞれ1名だった。宇宙医学という専門的講義だったにもかかわらず、多くの学生が講義内容に満足したことを示している。

※ 概念地図ともよばれるもので、コンセプト（概念）間の関係を、ノードとリンクとリンク語（linking word）を使って描いた図であり、通常、中心に置かれた焦点質問（focus question）をめぐるコンセプト間のつながりを、階層的なネットワーク構造で図示したものである。コンセプトマップは、中心テーマ、ノード（コンセプトを入れる。名詞や名詞句など）、リンク（コンセプト間の関係を → や + で示す）、リンク語（関係性を説明する。動詞や動詞句など）という要素によって構成される。

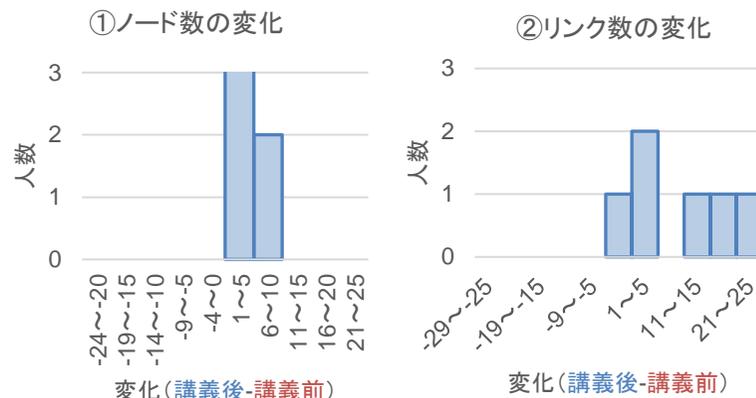


図20 コンセプトマップ解析結果

<アンケートによる講義全体の感想の一例>

- 休日はゴロゴロと過ごすことが多かったが、筋萎縮を防ぐために意識的に運動するようになった。技術的な難しさからか微小重力環境下での分子生物学的な研究はまだ少ないようなので、微小重力応答の詳細な機構が今後明らかになることを期待したい。
- 宇宙医学について学ぶ機会が少ない中、この講義に参加できたことはとても貴重な体験であり、多くの学びを得た。また宇宙医学だけでなく、地上での研究状況や先生方の経歴についてもお話して下さったため、私自身の今後の人生や研究方針にとっても参考になった。
- 他大学からの受講を受け入れて頂き感謝している。今後活かせるように頑張りたい。
- 他大学の生徒にも聴講する機会を与えてくださり、大変感謝している。宇宙医学に関する研究に携わりたいと思いながら、何をしてもよく分からず踏みとどまっていた。今回の貴重な授業によって、そのヒントを得ることができた。

(参考2) スペースキャンプ (SCB2) : コンセプトマップ・アンケートによる評価

実施内容・成果

【コンセプトマップによる教育効果の評価】

SCB2の学習効果を調べるためにコンセプトマップによる評価を行った。今回の中心テーマは、「Human Space Activities」である。コンセプトマップの作成はSCB2初日(2022年2月13日)と最終日(2022年2月17日)の2回行った。今回のSCB2アリゾナ実習に参加した学生は8名であり、アメリカ人学生5名、日本人学生3名である。図21にコンセプトマップ解析結果を示す。

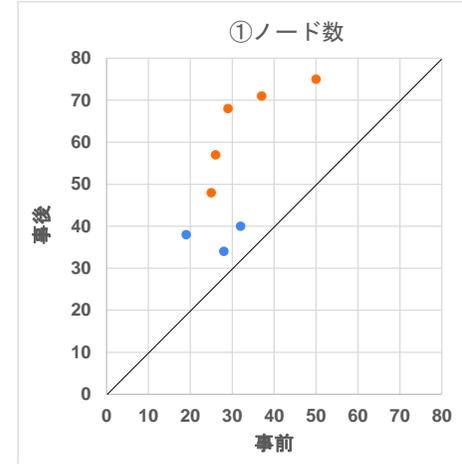
図21よりSCB2前に比べてSCB2後の方がノード数及びリンク数が全員増加していることがわかる。この理由としては、実習を通して様々な分野の講義を受けて知識が広がったと同時に、海洋・森林・砂漠・宇宙通信・系外惑星といった多方面に関わる実習により、習った知識の理解度が上がり、有人宇宙活動についてより包括的な考え方ができるようになったと考えられる。特に事前・事後の増加率はアメリカ人学生が大きい。その原因としては次の3つが考えられる。

1. アメリカ人学生は非常にポジティブにSCB2の経験を捉えた。
2. 日本人学生は日本国内での実習で「有人宇宙活動」に対する概念をすでに持っていた。
3. 日本人学生は英語によるSCB2の実施にハンディがあった。

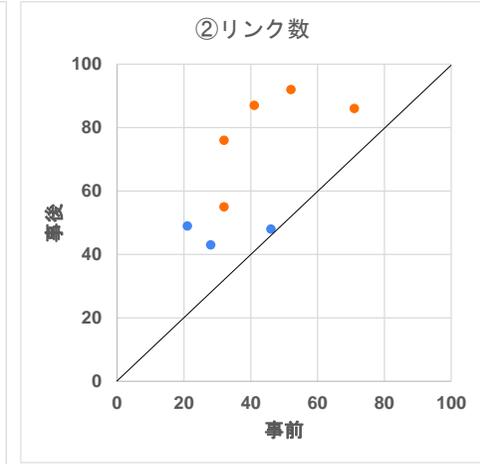
1回目のコンセプトマップではチェーン型、スポーク型が3人、ネットワーク型が5人だったのに対し、2回目のコンセプトマップでは8人全員がネットワーク型であった。このことから、スペースキャンプに参加することによって、各学生はコンセプトを網羅的に考える総合力が養われたと判断できる。

【アンケートによる教育効果の評価】

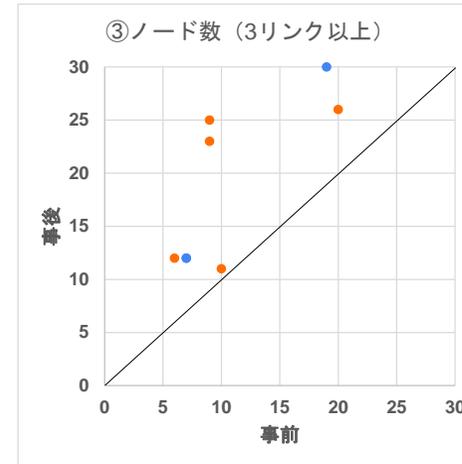
コンセプトマップによる教育効果の評価のみならず、実習全体の様々な面についての学生意見を収集するために、アンケートを取った。満足度、興味、キャリア形成への役立ちを5段階評価してもらうと同時に各講義及び実習について意見を書いてもらった。5段階評価は、1: Extremely Well、2: Very well、3: Moderately well、4: Slightly well、5: Not at all である。その結果、満足度についての質問への回答は全員が全て1、興味やキャリア形成に関する質問への回答も全て1であり、参加学生全員がスペースキャンプ(SCB2)を非常に高く評価した。



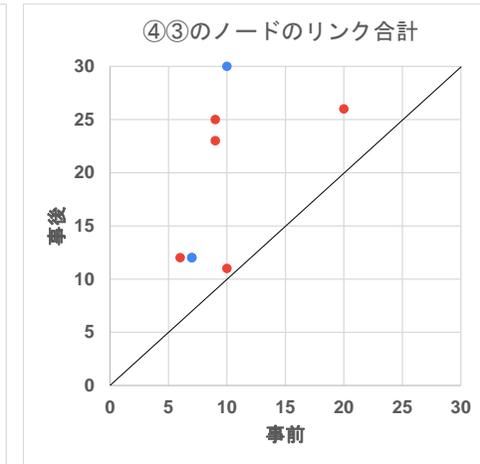
ノード数の変化



リンク数の変化



3リンク以上のノード数の変化



③ノードのリンク合計の変化

図21 コンセプトマップ解析結果
青色: 日本人学生 赤色: アメリカ人学生

事後評価票

令和4年3月末現在

1. プログラム名	宇宙人材育成プログラム
2. 課題名	有人宇宙活動のための総合科学研究教育プログラムの開発と実践
3. 主管実施機関・研究代表者	国立大学法人京都大学・土井隆雄
4. 共同参画機関	
5. 事業期間	平成31年度（令和元年度）～令和3年度
6. 総経費	51百万円
7. 課題の実施結果	
(1) 課題の達成状況	
<p>「所期の目標に対する達成度」</p> <p>◆ 所期の目標</p> <p>有人宇宙活動に関わる分野は、宇宙理工学、宇宙医学、生命科学、情報学、エネルギー科学、環境科学などが融合して成り立つ極めて学際的な総合科学である。そのため我が国の有人宇宙活動を支える人的基盤を強固なものとするには、様々な学問分野を理解し、実践的に活躍できる人材を輩出することが重要である。これまで京都大学では、有人宇宙活動のための総合科学教育プログラムとして講義・実習・社会連携からなる特徴的な総合科学教育プログラムを開発してきた。</p> <p>本課題では、前回の①有人宇宙活動のための総合科学教育プログラムを継続実施するのに加えて、更に大学院生をも対象とした②総合科学研究教育プログラムに発展させ（図1）、有人宇宙活動を行う上で極めて重要な有人宇宙医学を中心に国内だけでなく海外教育機関とも連携し、国際的な研究教育基盤を確立する。さらに③コーディネイトオフィスの活動として、他研究機関や企業との連携を深め、研究成果の社会発信を行い、本プログラムを教育教材としてまとめる。</p>	
<p>The diagram illustrates the 'Integrated Science Research Education Program'. It is divided into two main sections: '2016年度研究委託事業 (継続実施)' and '2019年度からの新規プログラム'. The 2016 section includes '有人宇宙活動のための総合科学教育プログラム' with sub-components: '基礎教育プログラム (大学1・2年生レベル)', '専門教育プログラム (大学3・4年生レベル)', and '微小重力体験実習'. The 2019 section includes '有人宇宙活動のための総合科学研究教育プログラム' with sub-components: '有人宇宙医学プログラム', '有人宇宙医学講義', '有人宇宙医学実習', and 'Space Camp at Biosphere 2 (SCB2)'. A '研究教育プログラムの概要' box lists: '基礎教育プログラム・専門教育プログラム受講後のよりハイレベルなプログラム (大学院生レベル)', '有人宇宙活動に必要な医学的知識の習得', and '有人宇宙活動に関連する研究分野で即戦力となる人材養成'. Partnerships are shown with '東京慈恵会医科大学', '愛知医科大学', '岐阜医療科学大学', and 'アリゾナ大学'. A note states '学内外の大学学部生・大学院生が受講可能'. The final goal is '専門的知識を持った即戦力となる人材の育成'.</p>	
<p>図1 総合科学研究教育プログラム</p>	

◆ 達成度

本課題は以下のとおり、所期の目標を十分に達成した。

① 有人宇宙活動のための総合科学教育プログラムの実施

1-1. 基礎教育プログラムの実施

有人宇宙活動に必要な総合科学：有人宇宙学は、人間と時間と宇宙を繋ぐ学問であり、宇宙の進化、生命の進化、文明の進化、及び宇宙開発の進化を規定するものである。その理念のもとに令和2年度に学部1・2回生を対象とした京都大学既存の宇宙総合学（講義）として、有人宇宙活動のための総合科学教育プログラム（基礎教育プログラム）を提供した。さらに令和3年度には後期に提供される専門教育プログラム：有人宇宙学（講義）とより整合性を高め、有人宇宙活動に特化した学術分野を網羅するために、令和3年度に新しく有人宇宙学入門（講義）を開講した。有人宇宙活動のための学術分野を図2に示す。有人宇宙学入門では6つの領域（天文学、ロケット工学、宇宙医学（機能性宇宙食）、宇宙実験学、宇宙経済学（宇宙商業化）、宇宙社会学（閉鎖環境））を新しく導入した。基礎教育プログラム：有人宇宙学入門及び専門教育プログラム：有人宇宙学によって本課題で定義した13の学術領域を包含する教育プログラムが完成した。

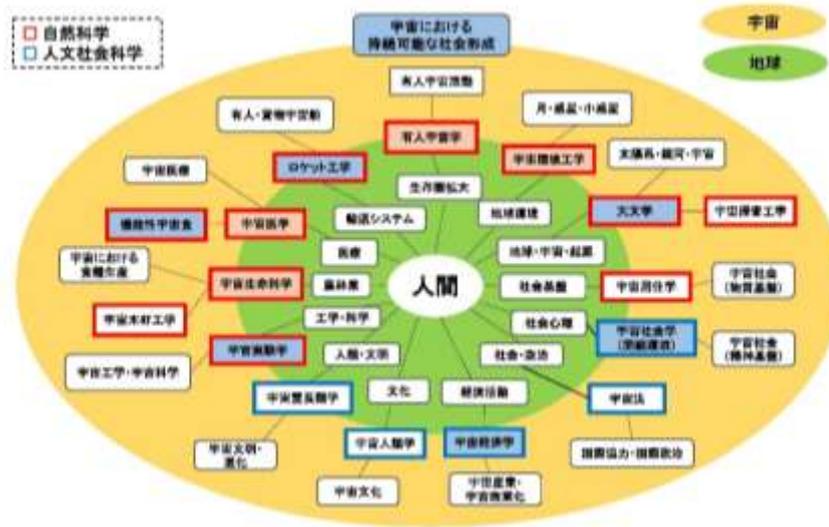


図2 有人宇宙学を構成する学術領域マップ

有人宇宙学入門の教育効果は、受講学生によるコンセプトマップ作成・解析により評価した。受講学生は、有人宇宙学全講義前後で「有人宇宙活動」を中心ワードとしてコンセプトマップを作成した。その後、初回に自身が作成したコンセプトマップを再配布し、各自でコンセプトマップの構造が受講の前後でどのように変化したかを解析した。その結果、全員についてノード、リンク語の数が増加し、構造も単純なスポーク型やチェーン型からネットワーク型へ変化していたことから、有人宇宙学入門による学習効果が十分にあったと結論づけられる。

宇宙総合学及び有人宇宙学入門の受講学生は、自然科学系ばかりでなく人文社会科学系の学生も多く、分野を超えて積極的に講義に参加した。本課題では、令和2年度においては前回の継続として「宇宙総合学」を実施し、135名が履修し、115名が合格した。令和3度は有人宇宙活動に特化した「有人宇宙学入門」では、27名の学生が履修し、20名の学生が合格した。

1-2. 専門教育プログラムの実施

1-2-1. 専門教育プログラム講義

専門教育プログラム講義：有人宇宙学講義

専門教育プログラムとして、学部生及び大学院生に対して有人宇宙学講義を提供した。有人宇宙学講義は、有人宇宙活動についての実践的知識を与えると同時に最先端の研究や技術情報を提供することによって、学生が個々の専門分野を選択することに直接役立てられる専門的知識を獲得することを目的とした。「宇宙を知る」「宇宙を生きる」「宇宙を考える」「宇宙をつくる」の4つのテーマに基づいた10回のリレー講義：有人宇宙学を実施した。前期の有人宇宙学入門と合わせて、有人宇宙学の13の学術分野を網羅する。

専門教育プログラム演習：有人宇宙学演習

受講学生は4つの班に分かれて班ごとに、「150人の人間が暮らす小社会を、宇宙空間（1班）、月（2班）、火星（3班）、小惑星または外惑星の衛星（4班）、に建設するための基礎設計をせよ」という課題に取り組んだ。演習方法としては、有人宇宙学における4つの研究課題：宇宙を知る、宇宙を生きる、宇宙を考える、宇宙を作るに沿って進める。各研究課題では次の検討を要求した：

演習1. 宇宙を知る：各場所の環境を調べる

（重力、放射線、大気、水など）

演習2. 宇宙を生きる：1の環境に適する生態系は何か

（食料生産を如何に行うか。自給自足するための条件は何か）

演習3. 宇宙を考える：1、2の条件を満たすための小社会構造は何か

（どのようなルールが必要か。どのような社会基盤が必要か）

演習4. 宇宙を作る：1、2、3の条件を満たすための技術課題は何か

（現存する技術で対応可能か。新しい技術が必要か）

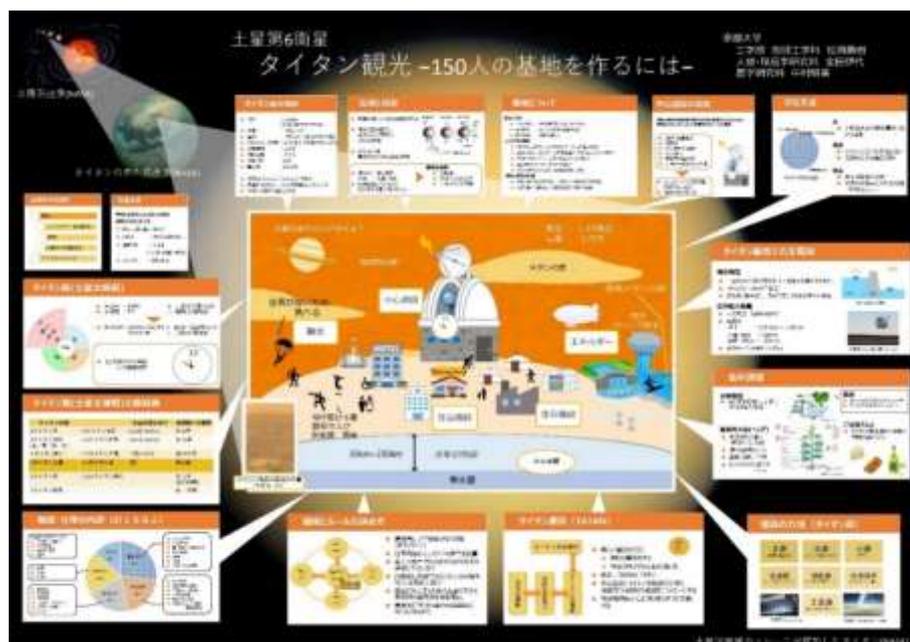


図3 150人が暮らす土星の衛星タイタン社会（令和3年度）

受講学生たちは3回の演習での発表を通して社会についてのアイデアの改善を重ね、最後の4回目の演習で自分達が設計した社会について発表を行った。優秀な「宇宙における社会」に関しては受講学生がポスターにまとめ、宇宙ユニットシンポジウムで発表した。図3は令和3年度の土星第6衛星タイタンに作った社会のポスターである。タイタン社会の研究では、受講学生は人間生活の基本となる暦に着目し、新しいタイタン暦を発表した。暦の研究は、自然科学と人文社会科学が融合された良いテーマになることを示した。有人宇宙学講義の結果として、令和元年度は11名、令和2年度は6名、令和3年度は10名の学部生・大学院生が有人宇宙学講義の修了証書を得た。

1-2-2. 専門教育プログラム実習：有人宇宙学実習

有人宇宙学実習は、宇宙環境及び有人宇宙活動の理解を深めることを目的として【天体観測実習】・【微小重力実験】・【宇宙無線通信実験】・【閉鎖環境実習】を実施した。

宇宙ミッションでは、地上との会話及びデータのやり取りはすべて無線で行われる。また、将来月や火星での有人宇宙活動を想定すると、地球と違って大気層・電離層がないために、衛星を使った通信が主流となることが予想される。そのため、本課題の有人宇宙学実習では、アマチュア無線衛星を使った宇宙無線通信実験を新しく導入し、前回までの【天体観測実習】・【微小重力実験】・【閉鎖環境実習】と合わせて4つの課題を行った。

実習では令和元・2年度は各9名、令和3年度は8名の学生が3名ずつ3つの班に分かれて参加した。令和元年度は京都大学花山天文台で遂行した（図4）。令和2・3年度は、コロナ感染症対策のために花山天文台を使うことができなかったために、京都大学吉田キャンパスにおいて実施した（図5）。6日間という短い期間ではあるが、各班とも分業による課題遂行が実践できチームワークの形成に成功すると同時に、自身のストレスが閉鎖環境でどのように変化するかを観察した。



図4 花山天文台における実習（令和元年度） 図5 吉田キャンパスにおける実習（令和2年度）

令和2年度から有人宇宙学実習に新たな課題として宇宙無線通信実験を取り入れた。宇宙ミッションでは、地上との会話及びデータのやり取りは全て無線で行われる。将来の月や火星での有人宇宙活動を想定すると、地球と違って大気層・電離層がないために、衛星を使った通信が主となることが予想される。そのため、今回の有人宇宙学実習では、電波の基礎を学ぶ電波教室を受講した後（図6）、アマチュア無線衛星を使った宇宙無線通信実験を行った（図7）。



図6 電波教室



図7 八木アンテナを使った宇宙無線通信実験

② 総合科学研究教育プログラムを開発し、有人宇宙活動を行う上で極めて重要な有人宇宙医学を中心に国内だけでなく海外教育機関とも連携し、国際的な研究教育基盤を確立する

2-1. 有人宇宙医学講義の実施

人類の宇宙進出は、特に技術的發展に伴って益々活況となっている。スペースシャトルから国際宇宙ステーション（ISS）に宇宙ミッションが移行し、宇宙滞在が益々長期化している。今後は月面ミッションや火星ミッションなどで数年単位の滞在も現実のものとなる。そのため有人宇宙医学講義を確立し、今後の有人宇宙活動に向けて、人体への宇宙滞在の影響がどのようなものであるかを学び、将来的にその対策方法の解明に従事する人材育成を行うことは急務である。基礎教育プログラムでの基礎的知識の習得を終えた学生を対象に、宇宙医学研究分野で即戦力として活用できる項目の習得を目的として、それぞれ専門家を招聘し、令和2年度は合計36名（京大生6名、外部生30名）、令和3年度は合計44名（京大生21名、外部生23名）の参加があった。

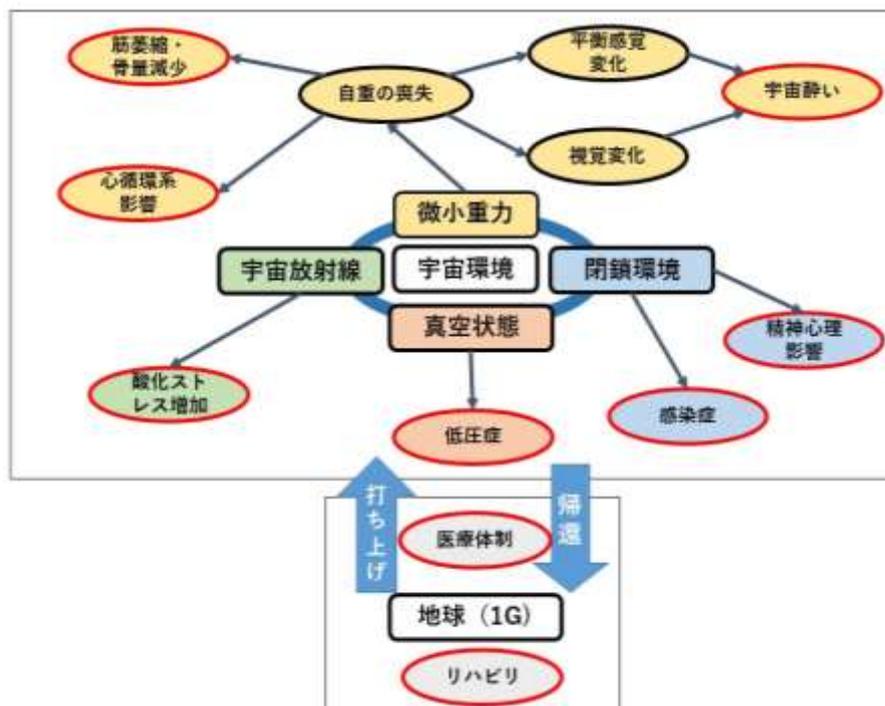


図8 有人宇宙医学講義テーマの相互関係

有人宇宙医学講義の到達目標は、宇宙環境が人体へどのような影響があるかを理解することである。さらに今後数年単位に及ぶ宇宙滞在においてどのような問題点があり、それを解決するために何をやる必要があるかなど、自身で考察する能力を養うことである。有人宇宙医学講義の各項目で重要となるテーマの相関関係を図 8 に示す。宇宙環境は大きく分けて、微小重力・宇宙放射線・閉鎖環境・真空状態といった地上とは異なる環境であり、地上でのサポート体制も重要である。有人宇宙医学講義では上記の重要項目をテーマに講義を実施した。

【微小重力による影響】

地上での 1G の環境に適応した我々の人体は、微小重力に晒されると自重を感じなくなる。そのため、重力負荷の喪失により、骨格筋の萎縮や骨量減少が生じる。また、体液シフトにより心循環器系へ影響を与える。更に平衡感覚の乱れや視覚変化によって、宇宙滞在初期は宇宙酔いの現象が生じる。これら微小重力環境による身体影響を理解し、その対策を考慮することは今後の有人宇宙ミッションにとって引き続き重要な課題である。

【宇宙放射線による影響】

ISS で受ける 1 日の放射線量は地上で半年程度浴びる放射線量に等しい。しかし、低線量で長期間被曝するという環境は地上とは異なる。このような放射線状況下でどのような人体影響があるかを理解することは重要であり、酸化ストレスの増加による細胞への影響を学習する必要がある。

【閉鎖環境による影響】

ISS での閉鎖環境生活は我々の精神心理に大きく影響する。特に少人数で、なおかつ言葉や文化が違う宇宙飛行士が共同して長期間生活する環境は容易にストレスが蓄積する状況である。また、このような閉鎖状況で感染症などのリスクに対してどのように対応するかも大きな課題である。

【低圧による影響】

宇宙での真空環境における船外活動では、宇宙服のみが人体の保護を行う。宇宙服内部は低圧に保たれており、長期間の船外活動は低圧症の危険も大きくなる。低圧症が宇宙飛行士に及ぼす影響を学習する。

【地上でのサポート体制】

宇宙環境に適応した状態で地上に帰還する際には、地上の 1G 環境に再適応する必要がある。そのため、帰還後はリハビリテーションを行う必要がある。打ち上げや帰還時、宇宙滞在時の宇宙飛行士への健康サポート（医療体制）も大切な項目である。宇宙ミッション前・中・後にどのように宇宙飛行士をサポートしているのかを学習することが必要である。また、地上での臨床医学との共通点や違いなどについても学習し、宇宙医学と地上医学の関係性を理解する能力を得た。

2-2. 有人宇宙医学実習の実施

有人宇宙医学実習は、参加学生が実体験を通じて宇宙医学研究の重要性を理解し、将来の研究分野への興味を深めることを目的にしている。今後、有人宇宙ミッションは益々長期間に及ぶことが予想され、宇宙環境が人体に及ぼす影響を解明することは重要になる。宇宙医学研究はまさにこの分野を研究する学問であり、より実践的な宇宙医学関連研究者を育成することは急務である。令和 2 年度ならびに令和 3 年度は、東京慈恵会医科大学・愛知医科大学・岐阜医療科学大学との連携により京都大学外からも学生を募集し、宇宙医学実習を実践した。



図9 実習の風景@東京慈恵会医科大学

令和2年度ならびに令和3年度は、東京慈恵会医科大学・愛知医科大学・岐阜医療科学大学との連携により京都大学外からも学生を募集し、宇宙医学実習を実践した。東京慈恵会医科大学においては、実習期間中は「微小重力への生体応答」というテーマで、クリノスタット（Gravite）での細胞培養実験を通じて微小重力環境が筋細胞へ及ぼす影響を解析した（図9）。岐阜医療科学大学では、宇宙医学研究の概論と宇宙服開発について講義を受け、宇宙の極限環境が人体に及ぼす影響とその対応策について学んだ（図10）。参加学生は、講義後の実習として宇宙服開発におけるプロトタイプの見学と、人工遠心機や Galvanic Vestibular Stimulation（GVS：前庭系を外から電気刺激する方法）を実際に体験した。令和2年度は12名、令和3年度は4名の参加があった。



図10 実習の風景@岐阜医療科学大学

2-3. Biosphere 2及び国内におけるスペースキャンプ（SCB2）の実施

Biosphere 2 は、人類が他惑星に移住した際に閉鎖された狭い生態系の中で生存することが出来るのかを検証する目的で建造されたアリゾナ大学が運営管理する巨大な準閉鎖人工生態系である。日本並びに米国の学生に対してスペースキャンプ：Space Camp at Biosphere 2（SCB2）を Biosphere 2で実施し、国際的な学生交流を通じた宇宙教育プログラムを作り、さらに将来的な有人宇宙活動を担う人材育成ができる国際宇宙教育拠点の構築をめざした。日本人学生5名、アメリカ人学生5名が令和2及び3年度に選抜され、総計20名がSCB2に参加した。

【国内実習】

令和2年度はコロナ感染症対策のために日本人学生が渡米することができず、国内実習を実施した。国内実習は Biosphere 2 の海洋、熱帯雨林、砂漠に対応するように海洋実習は京都大学白浜海象観測所、森林実習は京都大学芦生研究林（図11）、砂漠実習は鳥取大学乾燥地研究センターで実施した。アメリカ人学生との交流は、各国内実習の終了後にオンライン交流会を実施し、令和3年2月21日に SCB2 バーチャル国際シンポジウムを開催した（図12）。令和3年度も国内3カ所において国内実習を行い、その結果はオンライン交流会でアメリカ人学生にも共有した。



図11 森林実習（芦生研究林）



図12 SCB2バーチャル国際シンポジウム（令和2年度）

【アリゾナ実習】

令和3年度は日本人学生3名、アメリカ人学生5名が参加し、5泊6日のスペースキャンプを Biosphere 2 で実施した（図13）。スペースキャンプでは、Biosphere 2 の熱帯雨林（図14）・海洋（図15）・砂漠の環境を用いた講義や実習を通して、有人宇宙探査活動についての学習の機会を提供した。スペースキャンプ中、参加学生同士はコミュニケーションを深め、様々な課題をチームで取り組むことによって、チームワークの形成も順調に行われた。実際の有人宇宙ミッションは国際協力が前提であることから、スペースキャンプは専門教育プログラムの有人宇宙学実習をより国際的に発展させたものとして考えられる。参加学生はSCB2の実習成果を国内及び国際学会で発表することにより、SCB2に関する考察を深めることができ研究的意義を高めることができた。結果として、アリゾナ大学と共同でBiosphere 2を利用した研究教育活動を実践する国際的な研究教育基盤の構築を完了した。



図13 スペースキャンプ(SCB2)



図14 SCB2熱帯雨林実習



図15 SCB2海洋実習

2-4. 総合科学研究教育プログラムの評価

2-4-1. 有人宇宙医学講義・実習の評価

【コンセプトマップによる教育効果の評価】

各講義・実習において教育効果を定量的に評価するために、コンセプトマップを活用した。各講義・実習の前後に、「微小重力の生体反応」を中心テーマとして学生が作成したコンセプトマップを比較することによって、学習効果の可視化が可能か、コンセプトマップが評価ツールとして有効かも含めて教育効果を検討した。コンセプトマップ解析結果を図16に示す。

コンセプトマップ解析例（2021年度有人宇宙医学講義での解析）

【ノード数の変化】

講義前の平均値は14.3、講義後は20.3であり、約1.41倍となった。ほとんどの学生のコンセプトマップでノードは増加した。講義を受講することによって専門的知識が増えたと想像できる。

【リンク数の変化】

講義前後で平均値の変化は16.8から25.5となり、約1.52倍となった。こちらもノード数の結果と同様に、ほとんどの学生のコンセプトマップでリンク数は増加していた。講義後のコンセプトマップを見ると、講義内で触れた内容や専門外の単語も並ぶようになっており、知識の幅が広がったように思われる。

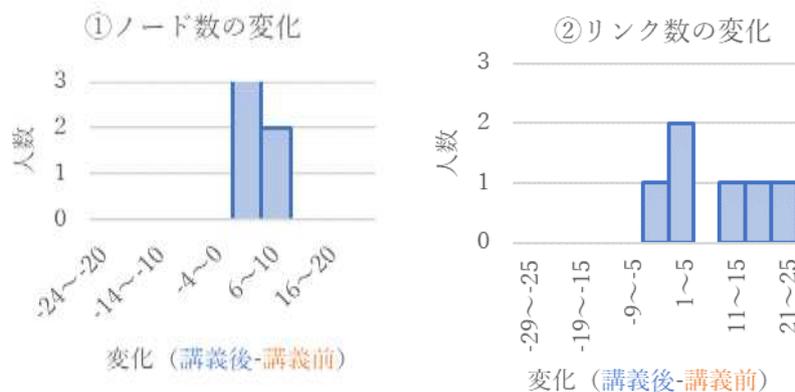


図16 コンセプトマップ解析結果

【アンケートによる教育効果の評価】

講義並びに実習終了後にアンケートを取得し、その評価を行った。講義終了後に6名の学生から取得したアンケート結果（2021年度有人宇宙医学講義アンケート）を見ると、進路を選択する際に役立つ情報を獲得できたかどうかの問いに関し、5段階評価の内、4名の学生が最高得点5の評価を付けた。2、3の評価を付けた学生はそれぞれ1名だった。宇宙医学という専門的講義だったにもかかわらず、多くの学生が講義内容に満足したことを示している。

2-4-2. スペースキャンプSCB2の評価

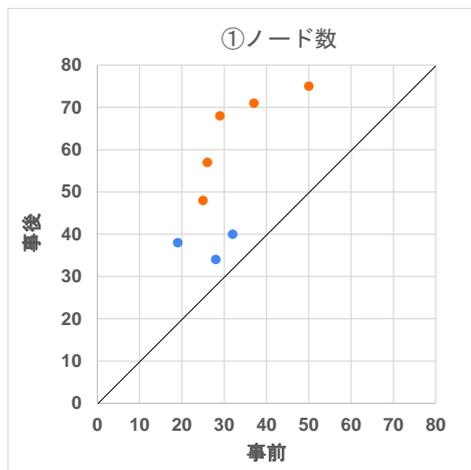
【コンセプトマップによる教育効果の評価】

SCB2の学習効果を調べるためにコンセプトマップによる評価を行った。今回の中心テーマは、「Human Space Activities」である。コンセプトマップの作成は、SCB2初日（2022年2月13日）と最終日（2022年2月17日）の2回行った。今回のSCB2アリゾナ実習に参加した学生は8名であり、アメリカ人学生5名、日本人学生3名である。図17にコンセプトマップ解析結果を示す。

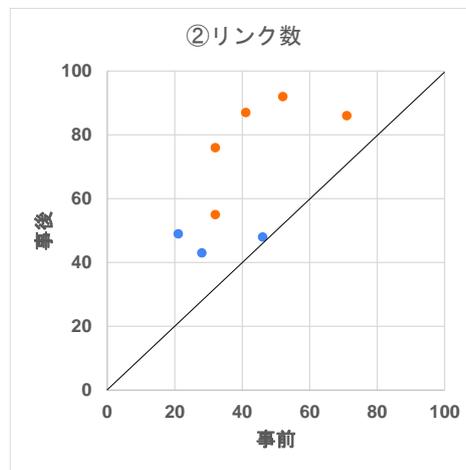
図17よりSCB2前に比べてSCB2後の方がノード数及びリンク数が全員増加していることがわかる。この理由は、実習を通して様々な分野の講義を受けて知識が広がったと同時に、海洋・森林・砂漠・宇宙通信・系外惑星といった多方面に関わる実習により、習得した知識の理解度が向上し、有人宇宙活動についてより包括的な考え方ができるようになったと考えられる。特に事前・事後の増加率はアメリカ人学生が大きい。その原因としては次の3つが考えられる。

1. アメリカ人学生は非常にポジティブにSCB2の経験を捉えた。
2. 日本人学生は、日本国内での実習で「有人宇宙活動」に対する概念を既に持っていた。
3. 日本人学生は英語によるSCB2の実施にハンディがあった。

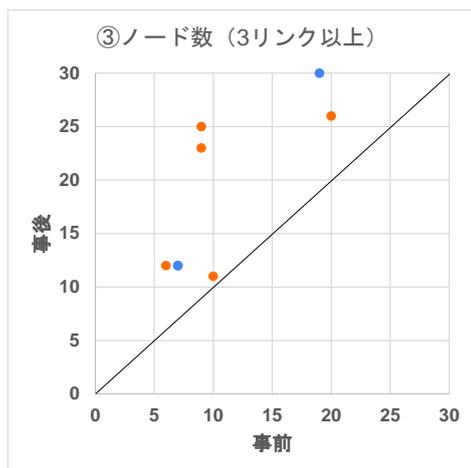
1回目のコンセプトマップではチェーン型、スポーク型が3人、ネットワーク型が5人だったのに対し、2回目のコンセプトマップでは8人全員がネットワーク型であった。このことからスペースキャンプに参加することによって、各学生はコンセプトを網羅的に考える総合力が養われたと判断できる。



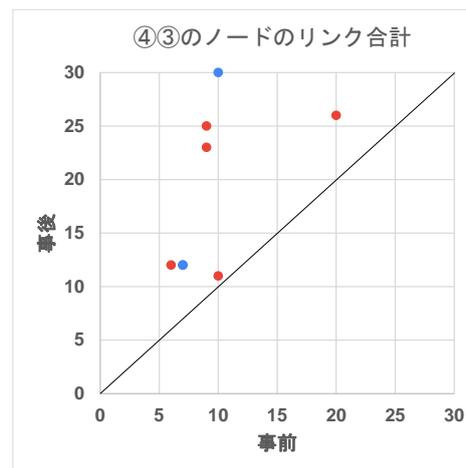
ノード数の変化



リンク数の変化



3リンク以上のノード数の変化



③ノードのリンク合計の変化

図17 コンセプトマップ解析結果

青色：日本人学生 **赤色**：アメリカ人学生

【アンケートによる教育効果の評価】

コンセプトマップによる教育効果の評価のみならず、実習全体の様々な面についての学生意見を収集するために、アンケートを取った。満足度、興味、キャリア形成への役立ちを5段階評価してもらうと同時に各講義及び実習について意見を書いてもらった。5段階評価は、1:Extremely Well、2:Very well、3:Moderately well、4:Slightly well、5:Not at allである。その結果、満足度についての質問への回答は全員が全て1、興味やキャリア形成に関する質問への回答も全て最高点1であり、参加学生全員がスペースキャンプSCB2を非常に高く評価した。

③ コーディネイトオフィスの活動として、他研究機関や企業との連携を深め、研究成果の社会発信を行い、本プログラムを教育教材としてまとめる

3-1. 研究機関や企業との連携

宇宙関連研究機関や企業との連携によって、令和元年度は三菱重工業株式会社と宇宙航空研究開発機構の学生見学会を実施し、18名の学生が参加した。学生は実際の航空機やロケットの部品が製造される工程を見ることができ大きな知見を得た。また、日本の宇宙航空開発をリードする技術者との討論を通して、宇宙開発最先端で働く人々の考えを学んだ。令和2年度及び3年度はコロナ感染症対策のために企業見学会を実施できなかったが、令和2年度は京大オリジナル株式会社とジャフコグループ（ベンチャーキャピタル）、宇宙航空研究開発機構との計3回のオンライン意見交換会を行い、31名の学生が参加した。令和3年度は海洋研究開発機構、電通、宇宙航空研究開発機構、三菱重工業株式会社と計4回の意見交換会を実施し、51名の学生が参加した。

本課題の成果によって令和2年度に京都大学大学院総合生存学館に有人宇宙学研究センター（ソーシャルイノベーションセンター・有人宇宙学研究領域）が設置されたことは特筆に値する（図18）。有人宇宙学研究センターは、宇宙木材研究、宇宙居住研究、宇宙放射線研究、宇宙教育研究、及び宇宙・地球探査技術研究の5部門を持ち、有人宇宙活動について協力企業と共同で研究教育活動を推進していく計画である。



図 18 有人宇宙学研究センターの設立

宇宙木材研究部門はすでに住友林業株式会社との共同研究「宇宙における樹木育成・木材利用に関する基礎的研究」を立ち上げ、世界初の木造人工衛星の開発（学生数 15 名）及び将来の月・火星における樹木育成のための基礎研究（学生数 10 名）を開始している。特に木造人工衛星の開発は、宇宙開発におけるカーボンニュートラルの実現めざす一歩であり、地球の環境問題の解決に寄与することができる。また、宇宙で木材という新しい資源が利用できるようになれば、地上での木材産業が宇宙に進出し、新しい宇宙木材産業を構築できる可能性も待つ。有人宇宙学研究中心が提案した「宇宙木材産業の創出をめざした宇宙材料としての木材利用の探究」は令和 4 年度に開始された文部科学省の宇宙航空推進委託費宇宙航空脱炭素技術等創出プログラムに採択されている。

3-2. 研究成果の社会発信

有人宇宙活動教育の発表の場として、令和元年度は Moon Village Association (MVA) Symposium 及び宇宙ユニットシンポジウムを、令和 2・3 年度は宇宙ユニットシンポジウムを開催した。各シンポジウムのポスター出展数と参加者数を表 1 に示す。

Moon Village Association (MVA) は、2017 年に設立された国際 NGO で、近い将来に月面で行われる有人宇宙活動を見据えて活動している団体である。第 3 回目となる国際シンポジウムは、京都大学宇宙ユニット・東京理科大学宇宙コロニーセンター・慶応義塾大学がホストを務め東京と京都において開催され、総計 393 名が参加した。12 月 5-6 日の東京プログラムでは人類の月面移住と長期居住について、世界中の様々な研究機関や民間企業による取り組みが紹介された。12 月 8 日の京都プログラムでは、午前中は MVA が取り組む活動の説明や各国の宇宙機関や JAXA による将来計画の紹介、月面ミッションのビジョンが提示された。午後は多くの学生（高校生・大学生・大学院生）や企業研究者が、月面居住に関して研究した成果を発表するポスターセッションが行われた。

有人宇宙活動と宇宙教育をテーマとして扱う一般向けの宇宙ユニットシンポジウムは、有人宇宙活動に対する関心が広く社会で高まる事と、多様な視点の取り込みによる学生自身への教育相乗効果を得ることを主目的として開催された。人類の宇宙進出、宇宙社会の構築など、将来の有人宇宙活動に関連した各分野の専門家を招き、本プログラムを受講した学生も参加した。3 年間で計 1197 名の参加者があった。Moon Village Association Symposium と宇宙ユニットシンポジウムの参加者総数は 1590 名に達し、十分な社会発信が実現できた。

表 1 宇宙関連シンポジウム

年月日	シンポジウム名称	シンポジウムテーマ	ポスター数	参加人数
2019 年 12 月 5 - 8 日	Moon Village Association Symposium	How to Make Moon Village Happen	15	393
2020 年 2 月 8-9 日	宇宙ユニットシンポジウム	人類は宇宙文明を作れるか	59	308

2021年 2月13-14日	宇宙ユニット シンポジウム	人類は宇宙に居住できるか	41	418
2022年 2月5-6日	宇宙ユニット シンポジウム	人類は宇宙に移住できるのか	42	471

令和元年から3年間の総合科学研究教育プログラムで開発された各講義及び実習に参加した総学生数を表2に示す。基礎・専門教育プログラム参加学生数は258名、有人宇宙医学プログラム（有人宇宙医学講義及び有人宇宙医学実習）参加学生数は103名、スペースキャンプ（SCB2）参加学生数は20名、宇宙機関・企業意見交換会に参加した学生数は100名、有人宇宙学研究センターの研究活動参加学生数は25名、学会などで研究発表した学生数は24名である。総計530名の学生に対して総合科学研究教育プログラムを実践した。学生による学会での発表数が24回を数えたのは、有人宇宙活動のための研究活動の成果が出ていることを証明している。

表2 有人宇宙活動のための総合科学研究教育プログラムへの参加者数

教育プログラム名称	R1	R2	R3	総数
宇宙総合学/有人宇宙学入門（基礎教育）	-	115	20	135
有人宇宙学・有人宇宙学実習（専門教育）	20	15	18	53
有人宇宙ゼミ（専門教育）	20	17	33	70
有人宇宙医学講義・実習（研究教育）	7	48	48	103
スペースキャンプ(SCB2)（研究教育）	-	10	10	20
宇宙機関・企業意見交換会	18	31	51	100
有人宇宙学研究センター研究活動	-	-	25	25
研究発表（学会）	7	5	12	24
学生参加者総数	72	241	217	530

3-3. 本プログラムの教育教材化

本課題の集大成として実施した全てのプログラムを他大学でも実施できるように教育教材としてまとめた。有人宇宙活動のための総合科学研究教育プログラムのコースツリーを図19に示す。コースツリーは本課題で開発・実践されたすべての活動の相互関係を明確にすることによって、有人宇宙活動を志す学生が総合科学教育プログラムの体系的な受講計画を立てるのに役立つことを目指している。以上により、有人宇宙活動のための総合科学研究教育プログラムの全ての項目の構築及び実践を達成した。

有人宇宙活動のための総合科学研究教育プログラムコースツリー
(令和3年度)



図 19 有人宇宙活動のための総合科学研究教育プログラムコースツリー

「必要性」

本課題は以下の観点から、十分な必要性が認められる。

〔科学的・技術的意義〕(独創性、革新性、先導性、発展性等)

アリゾナ大学と協力をし、日米の学生が共に有人宇宙活動について学ぶスペースキャンプをアリゾナ大学が運営管理する準閉鎖人工生態系 Biosphere 2 において実施した。Biosphere 2 において日米の学生が協力して有人宇宙探査活動を模した実習に取り組んだ例は他になく、独創的な実習の開発と人材育成を行った点において革新性を持つ。特に、本実習では日本の学生は事前実習として、地球における海洋環境、森林環境、砂漠環境を研究する京都大学防災研究所白浜海象観測所、京都大学フィールド科学研究センター芦生研究林、鳥取大学乾燥地研究センターにおいてそれぞれ実習を行い、実習内容と成果をアメリカ人学生と共有した。国内実習終了後に Biosphere 2 における SCB2 本番に臨むことによって、日米学生間のチームワークの構築及び地球の自然と人工自然の本質的違いを理解することを可能にしたことも、独創性において特筆すべき点である。

〔挑戦的(チャレンジング)な研究や学際・融合領域・領域間連携研究の促進〕

有人宇宙活動では人体への宇宙環境の影響を無視できない。このため、将来の有人宇宙活動に貢献するためには宇宙医学の発展と、宇宙医学への理解を持つ人材が必要となるが、これまで世界的に見ても宇宙医学を専門的に学ぶカリキュラムは存在しなかった。本課題では、日本で初め

ての宇宙科学と医学を組み合わせた分野越境型の研究教育プログラム：有人宇宙医学プログラム（講義・実習）を実施し、様々な専門分野を学ぶ学生に対し、有人宇宙活動に直接関係する宇宙医学に取り組む機会を与えることで、将来の有人宇宙活動を担う学際的な知識と技術に取り組む人材の育成に取り組んだ。本プログラムに参加した学生数は 103 名に達した。本プログラムの評価のためにコンセプトマップ解析及びアンケート調査を行った結果、本プログラムは非常に高い評価を得た。特に有人宇宙医学講義はオンライン・ハイブリッド形式で行われたが、日本各地の大学から学生の参加が得られ、オンライン・ハイブリッド形式の利点が大いに発揮された。結果として宇宙医学における学際・融合領域の研究教育の促進に大きく貢献した。

「有効性」

本課題は以下の観点から、十分な有効性が認められる。

【実用化・事業化や社会実装に至る全段階を通じた取組】

本課題の成果によって令和2年度に京都大学大学院総合生存学館に有人宇宙学研究センター（ソーシャルイノベーションセンター・有人宇宙学研究領域）が設置された。有人宇宙学研究センターは、宇宙木材研究（住友林業株式会社）、宇宙居住研究（鹿島建設株式会社）、宇宙放射線研究（アクセンチュア）、宇宙教育研究（三共精器株式会社）、及び宇宙・地球探査技術研究（DMG 森精機株式会社）の 5 部門を持ち、有人宇宙活動について協力企業と共同で研究教育活動を推進していく予定である。本センターの設置により、本課題の成果を体系立った研究教育活動として推進できると同時に、社会実装や啓蒙活動へ効率的に活かすことが可能になった。その例として、宇宙木材研究部門はすでに住友林業株式会社との共同研究を立ち上げ、木造人工衛星の社会実装に向けた取組が開始されている。

【人材の養成】

本課題は有人宇宙活動を支えるための既存分野に囚われない総合的科学知識と実地的経験により、今後の宇宙開発と社会のつながりを新たに創造していく人材の育成を目標に設定し、特に学部学生に加えて大学院学生も対象とした総合科学研究教育プログラムを構築した。結果として本プログラムを受講した学生総数は 530 名に達した。参加学生は年度も参加プログラム内容も多岐に渡っておりほとんど重複はない。この数は、平成 28 年度採択委託事業「有人宇宙活動のための総合科学教育プログラム」への参加学生総数 380 名よりも 150 名多く、有人宇宙活動に興味を持つ人材の育成が順調に進んでいること意味している。また、研究活動においても宇宙科学技術連合会や宇宙環境医学シンポジウムにおいて 24 名の学生が本プログラムの成果を発表しており、人材育成の成果が顕著に表れている。また、研究成果の社会発信のために京都大学学際融合教育研究推進センター宇宙総合学研究ユニットが「宇宙ユニットシンポジウム」と、Moon village association Symposium を主催し、合計延べ 1590 名の参加者を集め、主に学生が出展したポスター数も 157 に達し、宇宙人材養成に貢献することができた。

「効率性」

本課題は以下の観点から、十分な効率性が認められる。

【研究開発の手段やアプローチの妥当性】

本課題により実施された有人宇宙医学実習はこれまでにない全く新しい実習内容と講義内容であり、特殊な設備を多く必要とする。しかし、本課題においては、宇宙医学に関する実績をすでに持っている東京慈恵会医科大学、愛知医科大学、岐阜医療科学大学等との共同で実習を実施することにより、既存の設備の利用によって有人宇宙医学プログラムの構築を可能とした。さらにアリゾナ大学や国内の大学と協力して実施したスペースキャンプ（SCB2）についても同様であり、世界に一つしかない準閉鎖人工生態系 Biosphere 2 や既存の大学附置研究教育施設を使用することで、費用を抑えながらも体験型実習を国内及び国際的な場において行うことを可能とした。このため、信頼性の高い設備を最低限の費用で利用しながら、革新的な研究教育プログラムを実現した。同時に各大学との共同開催により、様々な分野の専門家による講義を可能とし、学際的な知識・経験・技術を必要とする有人宇宙医学や有人宇宙活動を学ぶ学生への教育効率の費用対効果を最大限に高めることができた。

（２）成果

「アウトプット」

本課題は、有人宇宙活動のための総合科学研究教育プログラムを開発し、学部学生及び大学院生に対して実践することにより、有人宇宙活動に貢献できる高い専門性を持つ次世代人材の育成と潜在的な宇宙利用の拡大に貢献することを目指した。本課題では次のアウトプットが得られた。

● 基礎教育プログラム（継続）の実施

基礎教育プログラム講義として、令和2年度は京都大学が提供している宇宙総合学を利用し、14回のリレー式講義を学部1・2回生に対して実施し、135名が履修し、115名が合格した。令和3年度は専門教育プログラム：有人宇宙学との整合性を高めるために新しく有人宇宙学入門を開発・提供し、27名が履修し、20名が合格した。コンセプトマップを初回講義と最終回講義に作成し比較することにより、学生の理解度を評価した。参加学生は有人宇宙活動が関与する様々な学術分野についての基礎知識を得ることができ、専門教育プログラムを受ける準備ができた。

● 専門教育プログラム（継続）の実施

専門教育プログラム講義として、令和元・2・3年度は10回のリレー式講義及び4回の演習からなる「有人宇宙学」を実施した。参加学生数は、令和元・2・3年度を合わせて27名であり、講義アンケート及びコンセプトマップ評価により有人宇宙学について学生の理解度を評価した。専門教育プログラム実習として、有人宇宙学実習を実施した。参加学生数は令和元・2・3年度は9名、9名、8名である。有人宇宙学実習は【天体観測実習】・【模擬微小重力実験】・【閉鎖環境実習】に令和2年度より【宇宙無線通信実験】を加えて、合宿形式で6日間かけて実施した。実習教材としては、平成28年採択委託事業で開発された系外惑星観測システム、模擬微小重力発生装置、クルーノートブック、に加えて新しく設置した宇宙無線通信実験システムを使用した。参加学生は、有人宇宙活動についての実践的知識や最先端の研究・技術情報を知り、自分の専門分野を選択することに役立てることが可能になった。

● 研究教育プログラム：有人宇宙医学講義の策定・実施・評価

有人宇宙医学講義を令和元年度に策定し、令和2・3年度に実施した。有人宇宙医学に焦点を当てた大学院講義は、日本初の試みである。令和2年度は合計36名、令和3年度は合計44名の学生が講義を聴講した。新型コロナウイルス感染症対策のため、講義はオンライン講義が中心となったが、そのため京都大学外からも多くの聴講生が参加し、遠隔から講義を受講できたことは大きな利点である。宇宙医学ということで、特に外部学生の所属は、医学部・歯学部・薬学部・獣医学部など医療系の学部が多かったことが特徴である。毎回の講義はオンライン上で録画しており、出席できなかった学生にも後日視聴できる体制も整えた。参加学生は、人が宇宙に滞在した際の生理的変化についての基本知識を学び、将来の有人宇宙ミッション時の宇宙医学研究の重要性を認識し、宇宙医学への応用についての理解も獲得した。

● 研究教育プログラム：有人宇宙医学実習の策定・実施・評価

令和2・3年度は東京慈恵会医科大学・愛知医科大学・岐阜医療科学大学との連携により京都大学外からも学生を募集し、宇宙医学実習を実践した。令和2年度は合計12名、令和3年度は合計4名の学生が参加した。東京慈恵会医科大学での宇宙医学実習では、必ずしも医学・生物学が専門でない学生を対象に宇宙医学実験の基礎を学ぶ内容にした。岐阜医療科学大学での宇宙医学実習では、参加学生は宇宙服開発におけるプロトタイプの見学と、人工重力装置の試乗：Galvanic Vestibular Stimulationを体験した。参加学生は、宇宙医学研究で用いられている実験手法を実地で体験し、宇宙医学研究と基礎生物研究の共通点についても理解を深めた。

● 研究教育プログラム：スペースキャンプ（SCB2）の策定・実施・評価

スペースキャンプ（SCB2）では、日本人学生及びアメリカ人学生が令和2・3年度に10人ずつ計20人が参加し、模擬有人宇宙探査ミッションを行うことにより、将来的な有人宇宙活動を担う人材育成をめざした。国内実習では、Biosphere 2の海洋、熱帯雨林、砂漠に対応するように京都大学白浜海象観測所、京都大学芦生研究林、鳥取大学乾燥地研究センターでの実習用プログラムを構築した。日本人学生は国内実習を受けることによって地球の自然について理解を深め、その知識・経験をアメリカ人学生と共有した。令和3年度にはBiosphere 2でのスペースキャンプ（SCB2）を実施し、日本人学生とアメリカ人学生が協力して5泊6日のスペースキャンプを完遂し、アリゾナ大学との研究教育基盤の構築が完了した。スペースキャンプ（SCB2）の実施のために、教材としてSCB2クルーノートブックを作成し、Biosphere 2に設置した宇宙無線通信実験システムと系外惑星観測システムを使用した。

● 研究機関や企業との連携

令和元年度は三菱重工業株式会社と宇宙航空研究開発機構の学生見学会を実施し、18名の学生が参加した。令和2年度は京大オリジナル株式会社と株式会社ジャスコ、宇宙航空研究開発機構との計3回のオンライン意見交換会を行い、31名の学生が参加した。令和3年度は海洋研究開発機構、電通、宇宙航空研究開発機構、三菱重工業株式会社と計4回の意見交換会を実施し、51名の学生が参加した。宇宙関連研究機関や企業の研究技術者と意見交換することによって、学生は現在の宇宙科学技術の知識を得ると同時に社会における宇宙開発の立ち位置を理解した。

本課題の成果によって令和2年度に京都大学大学院総合生存学館に有人宇宙学研究センター（ソーシャルイノベーションセンター・有人宇宙学研究領域）が設置された。有人宇宙学研究センタ

一は、宇宙木材研究、宇宙居住研究、宇宙放射線研究、宇宙教育研究、及び宇宙・地球探査技術研究の5部門を持ち、有人宇宙活動について協力企業と研究教育活動を推進していく計画である。

● 研究成果の社会発信

有人宇宙活動教育の発表の場として、令和元年度は Moon Village Association (MVA) Symposium 及び宇宙ユニットシンポジウムを、令和2・3年度は宇宙ユニットシンポジウムを開催した

第3回目となる MVA Symposium は、京都大学宇宙ユニット・東京理科大学宇宙コロニーセンター・慶応義塾大学がホストを務め東京と京都において開催され、総計 393 名が参加し世界中の様々な研究機関や民間企業による取り組みが紹介された。

宇宙ユニットシンポジウムは、有人宇宙活動に対する関心が広く社会で高まる事と、多様な視点の取り込みによる学生自身への教育相乗効果を得ることを主目的として開催された。人類の宇宙進出、宇宙社会の構築など、将来の有人宇宙活動に関連した各分野の専門家を招き、本プログラムを受講した学生も参加した。3年間で計 1197 名の参加者があった。

宇宙ユニット NEWS を毎月発行した。宇宙ユニット NEWS は、本事業による有人宇宙活動のための総合科学研究教育プログラムに関連する講義やイベントの情報を掲載し、それらの開催報告等を簡易的にまとめられている。また研究者間交流の促進として、大学内の研究者・学生に各自の研究内容を紹介する記事を作成して掲載した。

● 総合科学研究教育プログラムの継続実施に向けたまとめ

本課題で開発された総合科学研究教育プログラムの各講義及び実習により多くの学生が参加できるようにするために、教育教材として総合科学研究教育プログラムのコースツリーとカリキュラムを作成し、他大学でも実施できるようにした。コースツリーは本課題で開発・実践されたすべての活動の相互関係を明確にし、有人宇宙活動を志す学生が総合科学研究教育プログラムの体系的な受講計画を立てるのに役立つことを目指している。

「アウトカム」 (令和4年10月末時点)

本課題では学部生及び大学院生を対象に有人宇宙活動のための総合科学研究教育プログラムを開発し実践することにより、学生参加総数は 530 名に達した。この数は、平成 28 年度採択委託事業「有人宇宙活動のための総合科学教育プログラム」への参加学生総数 380 名よりも 150 名多く、有人宇宙活動に興味を持つ人材の育成が順調に進んでいること意味している。また、社会発信活動として行った国内及び国際シンポジウムへの参加者総数は 1590 名に達した。この数は、平成 28 年度採択委託事業におけるシンポジウム参加者総数 469 名の約 3 倍に達し、有人宇宙活動のための社会発信効果が著しく高まっていることを証明している。

本課題において新しく構築された有人宇宙医学プログラムは、日本で初めての宇宙科学と医学を組み合わせた分野越境型の研究教育プログラムであり、様々な専門分野を学ぶ学生に対し、有人宇宙医学に取り組む機会を与えた。本プログラムに参加した学生数は 103 名に達し、本プログラムは令和 4 年度文部科学省の宇宙航空科学技術推進委託費宇宙航空人材育成プログラムに採択されたことは、日本国内へ有人宇宙医学の重要性の理解が波及していることを示している

本課題で実施されたスペースキャンプ(SCB2)では、国内実習を Biosphere 2 の海洋、熱帯雨林、

砂漠に対応するように京都大学白浜海象観測所、京都大学芦生研究林、鳥取大学乾燥地研究センターで行い、参加学生が地球の自然と Biosphere 2 の人工自然と比較できるような研究教育プログラムを構築した。また、令和 3 年度は Biosphere 2 において日本人学生がアメリカ人学生と共同して SCB2 を完遂し、アリゾナ大学との研究教育基盤の構築がなされた。今後、アリゾナ大学との研究教育活動を充実させていく予定である。

研究機関や企業との連携活動の成果によって、令和 2 年度に京都大学大学院総合生存学館に有人宇宙学研究センター（ソーシャルイノベーションセンター・有人宇宙学研究領域）が設置された。有人宇宙学研究センターは、宇宙木材研究、宇宙居住研究、宇宙放射線研究、宇宙教育研究、及び宇宙・地球探査技術研究の 5 部門を持ち、協力企業と研究教育活動を推進していく計画である。宇宙木材研究部門はすでに住友林業株式会社との共同研究を立ち上げ、世界初の木造人工衛星 1 号機の開発を行っている。木造人工衛星は、宇宙開発におけるカーボンニュートラルを達成する第一歩であり、令和 4 年度文部科学省宇宙航空科学技術推進委託費宇宙航空脱炭素技術等創出プログラムに採択されたことは、本課題が大きな波及効果を上げていることを示している。

（3）今後の展望

本課題では、大学学部生及び大学院生を対象として「有人宇宙活動のための総合科学研究教育プログラムの開発と実践」を行い、特に有人宇宙医学プログラム：講義・実習及びスペースキャンプ（SCB2）を開発した。有人宇宙医学講義・実習は、日本で初めての宇宙科学と医学を組み合わせた分野越境型の研究教育プログラムであり、宇宙ユニットが文部科学省の宇宙航空科学技術推進委託費宇宙航空人材育成プログラムとして継続実施していく。また、本課題の成果として京都大学に有人宇宙学研究センター（ソーシャルイノベーションセンター・有人宇宙学研究領域）が設立された。有人宇宙学研究センターは、宇宙木材研究、宇宙居住研究、宇宙放射線研究、宇宙教育研究、及び宇宙・地球探査技術研究の 5 部門を持ち、有人宇宙活動について協力企業と共同で研究教育活動を推進していく計画である。有人宇宙学研究センターの宇宙教育研究部門は、有人宇宙活動のための教育プログラムを継続実施していく予定である。宇宙木材研究部門は、すでに住友林業株式会社と共同研究を開始し、世界初の木造人工衛星 1 号機を開発している。また、宇宙木材研究は令和 4 年度に文部科学省の宇宙航空科学技術推進委託費宇宙航空脱炭素技術等創出プログラムに採択され、10 月より木造人工衛星 2 号機及び宇宙における樹木育成に関する基礎的研究を開始していく計画である。

8. 評価点

評価を以下の 5 段階評価とする。

S

- S) 優れた成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に著しく貢献した。
- A) 相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献した。
- B) 相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献しているが、一部の成果は得られておらず、その合理的な理由が説明されていない。
- C) 一部の成果を挙げているが、宇宙航空利用の明確な促進につなげていない。
- D) 成果はほとんど得られていない。

9. 評価理由

有人宇宙飛行の広がりについて研究がなされ、有人宇宙をターゲットとした総合的な学習環境と人材育成環境が本格的に構築できつつあると評価できる。基礎教育から専門教育、研究教育にいたる3つのレベルのプログラムを作り上げ、有人宇宙ならではの総合科学研究教育プログラムとして価値ある成果が得られたと考える。教育内容についても、座学から、実習、海外でのスペースキャンプなど、既存施設を活用して有人宇宙活動の概念や部分体験などの幅広いジャンルを学生が体験できる場を提供しており、また、多数の大学との連携、ネットワークを活かしたシラバスとなっている。教育効果の判断としてコンセプトマップなどの手法を用いて、教育による学生における知見の増加とその理解度の増加も数値化するなど、その効果を定量的に把握することも行われており、プログラムとしての完備性がある。小学生から大学院生まで、そのレベルに合わせて、実体験と本物をもちいた教育課程が構築されつつあると思われ、今後もこの手法を発展させ、世界に公開していける有人宇宙教育手法（シラバス）を確立することが期待される。

また、本事業のみの成果ではないが、令和2年度に京都大学大学院総合生存学館に有人宇宙学研究センターが設置され、アクティブな活動が行われており事業の継続性という観点からも高く評価される。

なお、課題成果として申し分ない出来上がりであるが、アウトカムとしての学生進路については、より具体的な追跡調査をお願いしたい。実践的、広範なプログラムであり、具体的な成果があがっている。さらなるプログラムの拡大が期待でき、宇宙航空利用の促進への一層の貢献が見込まれる。

以上より、本課題は、優れた成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に著しく貢献していると認められる。

今後は、以下の点が期待される。

- ▶ BioSphere を用いた実習などは、宇宙環境の模擬だけではなく人間としての在り方を学ぶ良い機会であり、海外とのネットワーク構築に役立つ活動や、国内でもこれと同様な環境となる JAXA 施設を用いるなど、さらに多くの学生に経験をさせることができる工夫を期待する。
- ▶ 今後、有人宇宙活動に関わる人材、学術コミュニティの創生に、京都大学がコアとなって活動していくことを期待する。
- ▶ 医療の充実、BioSphere 受信設備の活用、ビジネスとの連携等が構想されているように、今後は単に続けるだけでなく本成果を進化させ、さらなる効果創出に繋がることを期待する。
- ▶ 教育効果の判断としてのコンセプトマップなどの手法について、他の事業における教育効果の数値判定などにも広く適用されることが望まれる。
- ▶ アウトカムとしての学生進路については、より具体的な追跡調査が望まれる。