

令和3年度地球観測技術等調査研究委託事業
「探究学習向け「宇宙教育プログラム」の
開発と実践」

委託業務成果報告書

令和4年5月
東京理科大学

本報告書は、文部科学省の地球観測技術等調査研究委託事業による委託業務として、東京理科大学が実施した令和3年度「探究学習向け「宇宙教育プログラム」の開発と実践」の成果を取りまとめたものです。

1. 委託業務の目的	1
(1) 委託業務の目的	1
(2) 育てたい人物像とその達成目標	1
① 育てたい人物像	1
② 達成目標	1
③ ルーブリックの設定	1
2. 実施内容	2
(1) 実施体制及び運営	2
① 実施体制	2
② WG 及び SC における検討事項	3
(2) 宇宙教育プログラム指導要領の作成	4
① インタビューの実施	4
② 宇宙教育プログラム指導要領の作成	5
(3) 宇宙教育モデルコンテンツの作成	7
① 【教材】遠隔探査ロボットの製作	8
② 【教材】人の住む環境について考える	13
③ 【教材】月面探査レース	15
④ 【教材】課題解決に向けたルール作成	17
(4) 宇宙教育人材の育成	19
① ファシリテーション能力育成講座の開発	19
② メンター候補者の育成	19
③ メンター候補者によるモデルコンテンツ作成報告会	19
④ メンター候補者による自己評価	20
⑤ メンター候補者へのアンケート調査	21
(5) 教育効果の検証	22
① 自己評価	22
② 外部評価委員会の設置	23
(6) 成果の公表・波及	25
3. まとめ	26
4. 参考資料	27
(1) 宇宙教育プログラム指導要領	
(2) 宇宙教育モデルコンテンツにおける指導案・スライド・ワークシート・配付資料	
(3) 宇宙教育教材開発及び実践に係る報告会の発表スライド	
(4) 宇宙教育プログラム通信第 10 号	

1. 委託業務の目的

(1) 委託業務の目的

将来の変化を予測することが困難な時代を生き抜くには、習得した知識や技能をもとに、未知の問題に対して何が重要かを主体的に判断し、他者と協働しながら解決していくことが不可欠である。本課題では、宇宙研究、科学教育、教育学を専門とした本学教員が連携し、宇宙を教育手法とした主体的・対話的で深い学びに基づく中高生向けの宇宙教育教材・カリキュラムを開発、実践できる大学院生、大学生を育成する。

また、教育現場と連携することで、中学校、高等学校での実践を可能とし、宇宙教育コンテンツは「総合的な学習（探究）の時間」や課外活動で活用できるものとする。

さらに、宇宙教育を教育現場に普及させることで、「宇宙で学ぶ」ことを通じて「生きる力」を育み、文理の枠を超えてあらゆる分野から我が国の宇宙産業等を支える子どもたちの育成を目指す。

(2) 育てたい人物像とその達成目標

① 育てたい人物像

本プログラムにおける育てたい人物像は、宇宙教育に興味を持ち、将来、青少年へ宇宙教育の普及や宇宙分野の魅力の発信を担いたいと希望する者とした。

② 達成目標

文理の枠を超えた宇宙教育の浸透を目指し、主体的・対話的で深い学びに基づく中高生向けの宇宙教育教材・カリキュラムを開発、実践でき、さらに将来は自身のキャリアとして、宇宙分野の裾野拡大のための教育に携わる志と資質能力を身に付けることを目標とした。

③ ルーブリックの設定

本プログラムにおいて、育てたい人物像とその達成目標の到達状況を評価するために、プログラムルーブリックを以下のとおり設定した。

表1 プログラムルーブリック

観点	優レベルの目安 【5点】	その中間 【4点】	良レベルの目安 【3点】	その中間 【2点】	可レベルの目安 【1点】
宇宙教育への興味と関心	興味・関心が非常に高く、すでに十分な宇宙教育及びそれに関する知識を身に付けている。	↔	興味・関心が高く、ある程度の宇宙教育及びそれに関する知識を身に付けている。	↔	宇宙教育及びそれに関する興味・関心がある程度ある。
宇宙教育の普及や宇宙分野の魅力の発信を担うための意欲	宇宙教育の普及や宇宙分野の魅力の発信を担うための自身の将来像が明確、具体的であり、意欲が非常に高い。	↔	宇宙教育の普及や宇宙分野の魅力の発信を担うための自身の将来像が明確であり、意欲が高い。	↔	宇宙教育の普及や宇宙分野の魅力の発信を担うための自身の将来像を持っており、意欲が見られる。

国際的な感覚を養う意欲	国外での活動や国外者との交流に非常に積極的な姿勢であり、国際的な感覚を身に付けたい意欲が非常に高い。	↔	国外での活動や国外者との交流に積極的な姿勢であり、国際的な感覚を身に付けたい意欲が高い。	↔	国外での活動や国外者との交流にある程度積極的な姿勢であり、国際的な感覚を身に付けたい意欲が見られる。
仲間や教員と積極的にコミュニケーションをとる姿勢	非常に高いレベルで、意欲的に他者とコミュニケーションを取る姿勢を持っており、他の考え方の共通点や相違点を整理することや、異なる考え方を統合することができる。	↔	意欲的に他者とコミュニケーションを取る姿勢を持っており、他の考え方の共通点や相違点を整理することや、異なる考え方を統合することができる。	↔	他者とコミュニケーションを取る姿勢を持っている。
課題設定力	現在の状況から問題を発見・定義し、必要な情報を収集して、解決のための構想を立てることができる。	↔	現在の状況から問題を発見・定義し、必要な情報を収集することができる。	↔	現在の状況から問題を発見・定義することができる。

また、宇宙教育教材・カリキュラムの開発、実践における受講生の到達度を測定するためのルーブリックを以下のとおり設定した。

表2 宇宙教育教材・カリキュラムの開発、実践におけるルーブリック

観点	優レベルの目安【5点】	その中間【4点】	良レベルの目安【3点】	その中間【2点】	可レベルの目安【1点】	評価方法の例
マネジメント能力（計画性、課題設定・解決力）	現状分析をもとに、適切に問題点を把握し、解決のための構想を計画的に立案できる。	↔	現状分析をもとに、問題点を把握し、解決のための構想を立案できる。	↔	現状分析を行うことができる。	準備計画とその振り返りについて報告してもらい評価する。振り返りにおいて、適切に問題点を把握できているかを確認する。
プロモーション能力（ムードメーカー）	グループ内においてリーダーシップを発揮し、周囲を巻き込み、グループや実践先の生徒を楽しませながら、高い成果を収めることができる。	↔	グループ内において、積極的に行動し、グループや実践先の生徒を楽しませながら、一定の成果を収めることができる。	↔	グループ内における活動において、グループの人を楽しませることができる。	グループのメンバー及び実践先の生徒をどのくらい楽しませたかを確認する。
コミュニケーション能力（チームワーク）	意欲的にコミュニケーションを取ることができ、異なる考え方に柔軟に対応することができる。また、グループ内の役割を識別し、役割分担を適切に設定できる。	↔	意欲的にコミュニケーションを取ることができる。また、グループ内の役割分担を適切に設定できる。	↔	コミュニケーションを取る姿勢を持っている。	グループ内での役割分担とその理由について報告してもらい評価する。
発想力（独創性）	課題解決に向けて、物事の本質を見極めたうえで、新たな発想を取り入れ、独創的なアイデアを生み出すことができる。	↔	課題解決に向けて、新たな発想を取り入れ、アイデアを生み出すことができる。	↔	課題解決に向けて、新たな発想を取り入れる姿勢を持っている。	教材開発において、工夫した点を報告してもらい評価する。

2. 実施内容

(1) 実施体制及び運営

① 実施体制

委託業務に係る企画、立案、実施を目的として、学長のもとに、宇宙教育プログラム実施ワーキンググループ（以下「WG」という。）を設置した。

また、WGの主要メンバーから構成する宇宙教育プログラムステアリングコミッティ（以下「SC」という。）を設置した。

表3 宇宙教育プログラム実施WGメンバー

(所属・職名は2022年3月31日時点)

所属	職名	担当者	備考
	特任副学長	向井 千秋	研究代表者※
理学部第一部物理学科	教授	松下 恭子	
理学部第一部化学科	准教授	渡辺 量朗	
工学部情報工学科	教授	藤井 孝藏	※
工学部情報工学科	准教授	立川 智章	
工学部機械工学科	教授	山本 誠	※
理工学部物理学科	教授	鈴木 英之	
理工学部電気電子情報工学科	教授	木村 真一	※
教育支援機構教職教育センター	准教授	井藤 元	
教育支援機構教職教育センター	准教授	興治 文子	

※印：SCメンバー

② WG及びSCにおける検討事項

WG及びSCを開催し、以下のとおり検討を行った。

【WG】

第2回WG

日時：2021年10月21日（木）13時～14時13分

場所：オンライン

- 議題：・審査結果における条件への対応について
 ・外部評価委員会の設置について
 ・プログラムの実施内容について
 ・2022年度プログラムの実施内容について

第3回WG

日時：2021年11月25日（木）13時～14時

場所：オンライン

- 議題：・2022年度プログラムの実施日程について
 ・2022年度プログラムの宇宙教育教材について
 ・ホームページの改修について

第4回WG

日時：2022年1月20日（木）13時～14時30分

場所：オンライン

- 議題：・宇宙教育プログラム通信の発行について
 ・外部評価委員会の開催について
 ・プログラムの実施状況について
 ・ホームページの改修について

- ・2022 年度プログラムの実施内容について

(参考)

第1回 WG

日時：2021年9月6日（月）14時30分～16時

場所：オンライン

- 議題：
- ・宇宙教育プログラムについて
 - ・評価委員からのコメントに対する対応について
 - ・プログラムの実施内容について
 - ・外部評価委員会の設置について
 - ・今後の実施検討について

【SC】

第1回 SC

日時：2021年12月22日（水）10時～11時

場所：オンライン

- 議題：
- ・外部評価委員会について
 - ・ステアリングコミッティメンバーについて
 - ・宇宙教育プログラム通信について
 - ・2022 年度業務計画書について

第2回 SC

日時：2022年3月2日（水）10時30分～12時15分

場所：オンライン

- 議題：
- ・閉講式について
 - ・報告書の作成について
 - ・2022 年度受講生の募集について
 - ・2022 年度プログラムの実施内容について

(2) 宇宙教育プログラム指導要領の作成

① インタビューの実施

宇宙飛行士や宇宙分野の第一線で活躍する若手からベテランまでの幅広い研究者・技術者ら 20 名に対しインタビューを行った。インタビューにおいて、宇宙研究や宇宙開発等に携わる者が、どのようなことを心がけ、いかなる思考様式に基づいて課題解決を試みているかを明らかにした。

表4 インタビュー協力者一覧

氏名	所属
伊藤 隆	宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所
上野 一郎	東京理科大学 理工学部 機械工学科 教授

上野 宗孝	宇宙航空研究開発機構 宇宙探査イノベーションハブ
河村 洋	東京理科大学 名誉教授 (前・公立諏訪東京理科大学長)
木村 真一	東京理科大学 理工学部 電気電子情報工学科 教授
倉渕 隆	東京理科大学 工学部 建築学科 教授
幸村 孝由	東京理科大学 理工学部 物理学科 教授
後藤田 浩	東京理科大学 工学部 機械工学科 教授
白坂 成功	慶應義塾大学大学院 システムデザイン・マネジメント研究科 教授 株式会社 Synspective 取締役/共同創業者
鈴木 英之	東京理科大学 理工学部 物理学科 教授
相馬 央令子	宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究所
立川 智章	東京理科大学 工学部 情報工学科 准教授
土井 隆雄	京都大学大学院総合生存学館 特定教授
中須賀 真一	東京大学大学院 工学系研究科航空宇宙工学専攻 教授
藤井 孝藏	東京理科大学 工学部 情報工学科 教授
藤田 修	北海道大学大学院 工学研究院 機械・宇宙航空工学部門 教授
松下 恭子	東京理科大学 理学部第一部 物理学科 教授
向井 千秋	東京理科大学 特任副学長
山本 誠	東京理科大学 工学部 機械工学科 教授
匿名	宇宙関連業務に従事

② 宇宙教育プログラム指導要領の作成

インタビューをもとに、宇宙分野で求められる資質・能力・技術を7つのカテゴリと70の心構えに体系化し、それぞれ解説とともにまとめた。

また、今年度作成した宇宙教育モデルコンテンツ「遠隔探査ローバーを用いた体験型アクティブ・ラーニング」を事例紹介として記載した。

【7つのカテゴリ】

カテゴリ

- ・ 基本姿勢
- ・ 立案
- ・ 開発
- ・ 運用
- ・ 解析
- ・ チーム作り
- ・ リーダー論



(表紙)



(内容の一例)

図1 宇宙教育プログラム指導要領

【70の心構え】

表5 宇宙教育プログラム指導要領70の心構え

	カテゴリ	心構え
1	基本姿勢	マテリアルな利益にのみ向かうべからず。100年後、1000年後を見据える。
2		本物についていくと、自分も本物になってゆくことができる。本物から学ぶ。
3		井戸の外に出てみる。井戸の中では戦わない。宇宙という人類共通の敵と戦う。
4		人は完璧ではない。間違いを犯す。たとえ一人が間違えたとしても、全体として正しい方向が目指せるように心がける。
5		興味の幅を広げる。好奇心を持ってアンテナを張り続ける。
6		越境していく勇気を持つ。
7		異なる分野間で生じる「摩擦」が創造性を生み出す。異分野と積極的にコラボレーションをはかる。異分野とのコラボレーションのためには、まずは自らの専門分野について深く掘り下げて学ぶ必要がある。
8		知識はツールとして持つべきであって、拘束として持つべきではない。
9		プロジェクトメンバーでカバーしきれない問題が起きた場合、その道の専門家を探す。
10		悲観的になりすぎると物事が進まない。結果、面白いことはできない。
11		数多くの実体験を積む（物理には実体験のストックが必要）。
12		自分の頭で物事を考える。
13		プロジェクトに対して当事者意識を持つ。
14		自分にとっての当たり前が他人にとっても当たり前とは限らない。ゆえに絶えず価値観・考え方のすり合わせを行う。
15		スケジュール通り進まないことは常。何度もスケジュールを見直す。
16		アイデアを寝かせる時間（熟成期間）を設ける。
17		ドキュメンテーションの必要性。従軍記者（議論の過程を記録する人）を置く。意思決定のプロセスを必ず記録に残す。
18		物理や数学の知識はもちろん重要。くわえて国語力も磨くべし。
19		失敗するのが常。成功の方が稀。失敗を受け入れることが重要。
20		失敗は許されない。想定外をなくす努力をする。Think ahead
21		失敗はない。全てが学びのプロセス。実験結果そのものよりも過程から学ぶべし。
22		失敗させないよう周りが手助けするのは逆効果。責任感の欠如を招く恐れあり。失敗も含めて自分で責任を取る経験が必要。
23		出来合いのプログラムを使用するだけでなく、プログラムの原理を理解しようと努める。
24		謙虚な姿勢が必要。宇宙に向き合っていくと人は自然に対して謙虚にならざるを得ない。
25		我々は先が見通せていないと努力することができない。何に向かって努力すれば良いかを明確化する。
26		木を見て森も見る。
27	立案	面白いと思ったらやってみる（最初の段階では、実現可能性は考えなくてもよい）。
28		課題に対してしつこく取り組む。質は問わず提案し続ける。突拍子もない発想も含めて数多くのアイデアを出す。
29		文献研究を行う（先行研究のレビュー）。既に何ができていて、何がわかっていないのか、事前調査を行う。
30		先行研究を嚙呑みにしない。
31		過去の事例をもとにコスト見積りを行う。
32		競争相手の開発段階をおさえる。
33		最上位の要求を明確に定義し、目標設定を単一に定める。
34		全体像（地図）をもとに個別事項を理解する。
35		目標に優先順位をつける。
36		目標を達成するための理路を明確に提示する。できるだけ具体的な計画を立てる。大目標を達成するための小目標を詳細に打ち立てる。マイルストーンの設定。それぞれの人が、それぞれの専門に基づいて大目標を実現するための小目標をクリアしていく。
37		問いを立て、一番の難所を見抜く。
38		目標に対する成果を3段階（ミニマムサクセス、ミドルサクセス、フルサクセス）で設定する。
39		必ずバックアッププランを用意する。
40		立案段階で運用・解析フェーズの見通しを立てる。
41		拘束条件の中で、実現可能な解を見つける。

42		自分の身の丈を知る（自分にできること・できないことを明確化する）。
43		自分がやりたいこととチームとしてやるべきことは一致しない可能性は高い。チームで折り合いをつける。
44	開発	開発段階での急な設計変更は設計の過誤と品質低下を招きやすい。開発段階での設計変更は避ける。
45		スケジュールが遅延するとチームのモチベーションが下がる。スケジュールをできる限り守る。
46		妥協も必要。
47		捨てる勇気を持つ。あれもこれもは不可能。トレードオフが生じた場合、ともかくも対話を重ねる。
48		見たくないものを見る勇気。見たくないものは見えなくなる。バイアスがかかっているか、絶えず批判的思考を繰り返す。
49		宇宙開発においては「運」もある。どこかで割り切らなければならない。思い切りも必要。人事を尽くして天命を待つ。「運」を掴むためには経験と知識が必要。
50	運用	憶測ではなく、正確に事象を捉える。想像力が必要。
51		スムーズな運用のためには入念なりハーサルが必要。
52	解析	当初の目的が果たしているかを検証する（ミニマムサクセス、ミドルサクセス、フルサクセス）。
53		データを生で見ると。立案段階の仮説に囚われず、様々な角度からデータを分析する。
54		想定外の結果が出てても嘆く必要はない。そこから新たな発見が得られる可能性がある。
55		成果を発表するためのプレゼンテーション力が重要。難しい内容をわかりやすく噛み砕いて伝えることも必要。誇張と省略。
56	チーム作り	ミッションサクセスという大きな目標がチームをまとめる。大目標を各メンバーが共有していれば、組織はまとまる。
57		チームのメンバーの関心事に興味をもつ。互いのバックグラウンドに敬意を払う。相手の立場を想像する。
58		物理的に場を共有し、face to face でコミュニケーションをとる。
59		リーダーとリスク管理をする人間を分ける。
60		どうしても合わない人がいる場合は、できるだけ接点を持たないように物理的に作業を離す。
61		問題を一人で抱え込まない。
62		適度な貧乏が創造性を生む。
63	フリーライダーに責任を持たせる。	
64	リーダー論	ミッションは人である。強力でグループを引っ張っていく存在が必要。
65		リーダーは誠実であれ。高潔さ（Integrity）が必要。
66		責任を取る決断を下し、任せるところはメンバーに任せろ。コアメンバーとの信頼関係を築く。
67		トップの熱量は周囲に伝播する。
68		リーダーには聞く力・包容力が必要。自分と異なるアイデアを尊重し、メンバーが自由に発言できる雰囲気を作る。
69		リーダーには調整が求められる。落穂拾い。分担の隙間を埋め合わせる。必要に応じて謝ることができるのが良いリーダー。
70		外に向かって発信する力が必要。

(3) 宇宙教育モデルコンテンツの作成

過年度に本学が実施した宇宙航空科学技術推進委託費の宇宙航空人材育成プログラムの遠隔探査実験を教材として活用した。全体のテーマを「遠隔探査ロボットを用いた体験型アクティブ・ラーニング」とし、4種類の教材を作成し、学校現場で実践した。

教材の作成にあたっては、過年度プログラムの受講生、協力機関の株式会社宇宙の学び舎 seed を開発補助とし、過年度に実施した方式をもとに改良を加えることで新たなコンテンツを生み出した。

実践にあたっては、協力機関の江戸川学園取手中・高等学校、聖学院中学校、駒込高等学校の授業や課外活動で実施した。

なお、聖学院中学校及び駒込高等学校は過年度プログラムの受講生、江戸川学園取手中・高等学校は株式会社宇宙の学び舎 seed が担当した。

① 【教材】遠隔探査ロボットの製作

【概要】

宇宙遠隔探査ロボットキットを使用して生徒自身が宇宙遠隔探査ロボットを製作する過程で、宇宙探査機を開発する際の考え方、ロボットの仕組み、地上と宇宙の違いについて学びながら、ソフトウェアの開発についても体験するプログラム。

【実践先】

江戸川学園取手中・高等学校

【対象】

中学生・高校生

【実施形態】

課外活動

【実施内容】

1回45分、計7回のプログラムを実施した。実践先の学校において希望者を募り、中学1～3年生33名、高校1、2年生8名の計41名が参加した。

表6 各回の実施内容

	日程	内容
第1回	12月8日(水)	ガイダンス
第2回	12月15日(水)	はんだ付け
第3回	1月12日(水)	遠隔探査ロボットの仕組み
第4回	1月26日(水)	遠隔探査ロボットを組み立てよう
第5回	2月2日(水)	遠隔探査ロボットをデコレーションしよう
第6回	3月2日(水)	プログラミングに挑戦
第7回	3月9日(水)	遠隔探査ロボットを動かす発表会

※各回45分

第1回 ガイダンス

プログラム全体の概要説明、ものづくりやロボット工学に関するレクチャーを行った。その後、参加者は、製作する遠隔探査ロボットの完成品を観察し、どのような機能を持った部品がどのように構成されることでロボットができあがっているかについて、チームで話し合い、気づいたことや調べたこと、考えたことについて発表した。

初回として、実習の全体像を把握させるとともに、チームに分かれてコミュニケーションを取る機会を設けながら、第3回の遠隔探査ロボットの仕組みに関する講義に繋がるように、遠隔探査ロボットの部品や構成について自らの手を動かして考えて話す時

間を設けた。

第2回 はんだ付け

基盤やセンサー、はんだ付けに関する説明を行い、はんだ付けの様子を演示しながら、参加者にはんだ付けを体験させた。各チームに第7回まで通して使用する遠隔探査ロボットキットを1セットずつ配付し、参加者は指定箇所にセンサーを接続するためのはんだ付けを行った。交代しながら全員がはんだ付けを体験し、最後に電源を接続して正常に起動するかを確認した。



図2 第2回プログラムの様子

第3回 遠隔探査ロボットの仕組み

これから製作する遠隔探査ロボットの仕組みや搭載されているセンサーについて説明を行った。

第4回 遠隔探査ロボットを組み立てよう

ネジ締めに関する説明（トルクドライバー、仮止め、ワッシャ、配線について）を行い、ねじ締めの様子进行しながら、参加者にネジ締めを中心とした遠隔探査ロボットの組み立てを体験させた。



(組み立て前の遠隔探査ロボット)



(組み立ての様子)

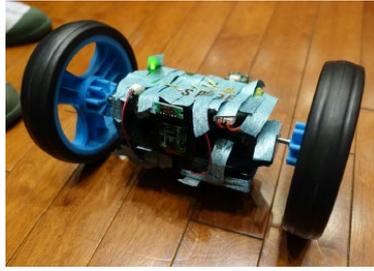
図3 第4回プログラムの様子

第5回 遠隔探査ロボットをデコレーションしよう

各チームに遠隔探査ロボットへの愛着を持ってもらうこと、チームらしさを自由に表現してもらうことを目的として、遠隔探査ロボットのデコレーションを行った。初めに今回の作業内容と趣旨の説明を行い、マスキングテープやシール、油性ペンなどを用いて自由に各チームの機体をデコレーションさせた。その後、チームごとに壇上でデコレーションのコンセプトと特徴、機体に名付けた愛称について発表してもらった。



(話し合いの様子)



(デコレーションを施した遠隔探査ロボット)



図 4 第 5 回プログラムの様子

第 6 回 プログラミングに挑戦

プログラミングについての簡単な説明や、今回扱う専用ツールについての説明を行い、例示したプログラムを実装してチームで機体を動かした。その後、各チームが動かしたい機体の動きを想像して、プログラミングに挑戦した。

第 7 回 遠隔探査ロボットを動かす発表会

今回行う発表会の内容について説明を行った後、発表に向けて前回のプログラミング作業の続きを行った。その後、各チームに壇上で「ロボットの名前と特徴、実装したプログラムの説明、プログラムの披露（プログラムを実行して動かす）、チームの自慢（メンバーやチームワークなどについて）、実習全体の感想」を発表させた。



図 5 第 7 回プログラムの様子

【アンケート調査結果】

参加者にプログラム実施前と実施後にアンケート調査を行った。

◆選択式のアンケート項目

表 7 選択式のアンケート項目の集計結果

番号	項目	実施前 (n=34) 2022年1月12日	実施後 (n=26) 2022年3月9日
		平均	平均
1	<ul style="list-style-type: none"> 宇宙について、興味はありますか。(事前) 宇宙について、受講前よりも興味を持つことができましたか。(事後) 	4.2	4.4

2	・ 遠隔探査ロボットの仕組みをよく理解できましたか。	3.7	4.5
3	・ はんだ付けはうまくできましたか。	3.7	3.9
4	・ 遠隔探査ロボットをうまく組み立てられましたか。	3.6	4.4
5	・ ロボットなどを動かすソフトウェアを開発したことがありますか。(事前) ・ ロボットを動かすソフトウェアをうまく開発出来ましたか。(事後)	1.7	4.0
6	・ ロボットなどの物づくりをしたことがありますか。(事前) ・ 今後もロボットなどの物づくりをしてみたいですか。(事後)	3.1	4.6
7	・ 今後もソフトウェアを開発してみたいですか。	—	4.3
8	・ 実習での説明は、わかりやすかったですか。	4.4	4.8
9	・ 実習の内容に興味が持てましたか。	4.4	4.7
10	・ 今後、宇宙に関わることをもっと勉強してみたいと思いますか。	—	4.4

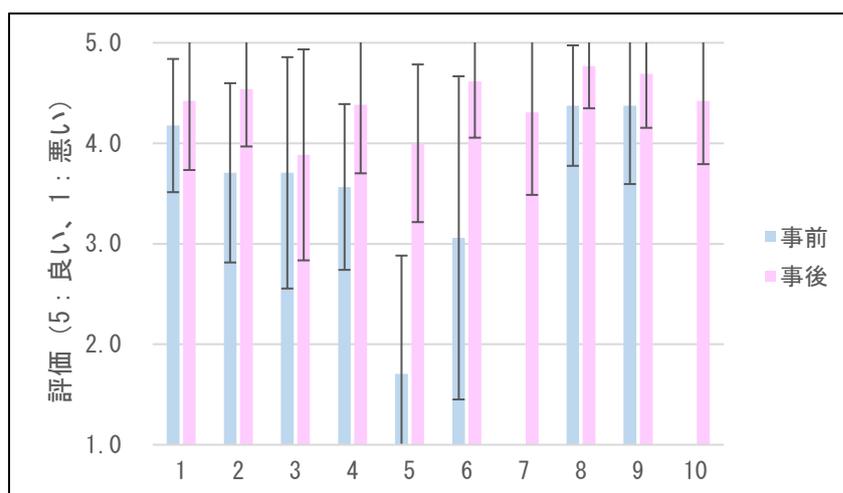


図6 選択式のアンケート項目の集計結果

◆選択式のアンケート項目

○これまでの実習の中で一番印象に残ったことは何ですか？（事前）

- ・ はんだ付け（21名）
- ・ ギアの種類
- ・ 装置、センサー
- ・ ジャイロセンサの所の説明
- ・ 機械について調べたとき
- ・ ロボット操作（2名）
- ・ ロボットの構造についての観察
- ・ 組み立てるときに折れそうなほど細かったこと

- ・前期の調査するときには班員で協力して考えて動かしていた時

○これまでの実習の中で一番印象に残ったことは何ですか？（事後）

- ・プログラムを作ってローバーを動かすこと(9名)
- ・全員で協力しながら一つ一つの課題をクリアしていったこと
- ・はんだ付け、難しかったが楽しかった(7名)
- ・ソフトウェアの仕組み
- ・ローバーの組み立て(4名)
- ・ロボット、ローバーを動かしたこと(2名)
- ・ローバーの車輪が回らないこと
- ・探査内容
- ・自由にローバーを飾り付けられたこと、飾りつけ(2名)

○今後の授業についての希望がありましたら教えてください。（事前）

【内容面】

- ・言語はC++で作りたい。
- ・プログラミングについて学びたい！
- ・宇宙探索ロボットの部品について詳しく教えてほしいです。
- ・外で動かしてみたい

【班構成】

- ・同じチームの中に同学年がいなかったため、非常に連携がとりにくかった。せめて1チームに同学年の方を2人入れて欲しいと思います。よろしくお願いたします。
- ・班の中に同じ学年の人を2人以上、出来たら班を学年ごとにしてほしい。
- ・グループを横断して行いたい

【その他】

- ・楽しいです。これからもお願いします。
- ・十分だと思う。

○今後、受けてみたい授業のテーマがありましたら教えてください。（事後）

- ・宇宙でのカメラ（先生の研究内容などについて）より詳しく知りたい
- ・星を見たいです。
- ・星座、星について
- ・天体観測について
- ・宇宙に関するコンピュータシミュレーションをやってみたいです。
- ・何かを作るのではなく、宇宙についての講義を聞きたい。
- ・相対性理論や量子力学
- ・人工衛星を作る

- ・もっとたくさんのはんだ付けをするテーマ
- ・ロボコン
- ・ローバーを様々な地上の状態で動かしてみたい。コンクリートとか校庭とか坂道とか…
- ・プログラミングを作るソフトウェアを作るソフトを作ってみたいです。
- ・プログラムをするソフトを作る。
- ・ソフトウェアをプログラムしてみたい。
- ・ソフトを作ることをしてみたいです。
- ・プログラミング
- ・プログラミング講座
- ・思いつかず申し訳ないですが、想像以上に楽しく学べて、宇宙のテーマ自体に興味はさほどなかったけれどこの講座であれば受けたいです。
- ・いろいろ

② 【教材】人の住む環境について考える

【概要】

遠隔探査ローバーを用いて、新発見された未知の惑星が移住可能か調査しながら、人の住む環境について考えるプログラム。

【実践先】

聖学院中学校

【対象】

中学生

【実施形態】

課外活動

【実施内容】

1回 110分（途中10分休憩含む）、計3回のプログラムを実施した。実践先の学校において希望者を募り、中学2、3年生24名が参加した。

表8 各回の実施内容

	日程	内容
第1回	1月15日（土）	遠隔探査の練習（人が住める環境について考える）
第2回	2月19日（土）	未知の惑星探査（人が住める環境について考えを深める）
第3回	3月12日（土）	各チームの成果発表

※各回110分（10分休憩含む）

第1回 遠隔探査の練習

プログラムの導入として、アルテミス計画等の進行中のプロジェクト、宇宙のロボット等の宇宙開発について紹介し、その後、プログラム全体のミッションについて説明した。

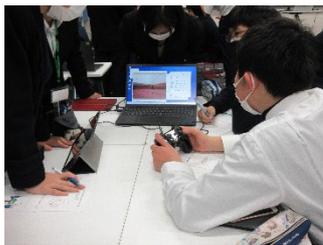
《プログラム全体のミッション》

- ・温暖化による海水面の上昇や大気汚染で地球環境は悪化している
- ・人の住める場所は少なくなっている
- ・私たちが目ぼしい惑星を発見した
- ・移住可能かローバーで惑星探査して欲しい

第1回は訓練と称して、ローバーの基本操作を修得した後、遠隔探査の練習を行った。訓練のミッションを通して、人が住める環境とはどのようなものか考え、ワークシートにまとめ、各チームの意見を全体で共有した。

《訓練のミッション》

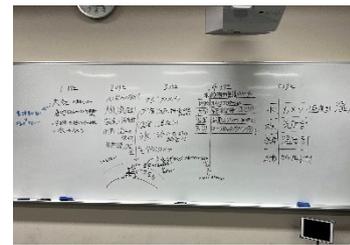
- ・君たちのローバーを地球上のどこかの国においてきた
- ・遠隔操作でカメラの画像や温度を取得し、どこかの国に置いて来たか当てて欲しい



(遠隔探査の練習)



(どこかの国に置かれたローバー)



(各チームの意見を共有)

図7 第1回プログラムの様子

第2回 未知の惑星探査

第2回は、オンラインで行った。前回の振り返りをした後、プログラム全体のミッションを再確認し、チームに分かれ惑星探査を行った。その後、次回の成果報告に向けて、チームで発表準備を進めた。

《探査のミッション》

- ・未知の惑星の遠隔探査を行い、調べた場所の地図を作ろう
- ・見つけたもの、そこからわかること、人間が生存できるかどうかを調べてまとめよう



(ローバーで未知の惑星を探索する様子)

(ローバーの操作画面)

図 8 第 2 回プログラムの様子

第 3 回 各チームの成果発表

前回の振り返り、発表内容の確認をし、前回に引き続き発表の準備を行った。発表は、未知の惑星には何があったのか、探査でどんなことがわかったのかを共有し、人が住める環境についてチームが考えたことをまとめるものとした。その後、各チームの成果発表を口頭発表 7 分、質疑応答 3 分で行った。最後に、未知の惑星についての解説、地球の環境について説明した。

③ 【教材】月面探査レース

【概要】

「月基地から極限環境で生き続けることができるクマムシが脱走したので捕獲回収する」というテーマで月面探査レースを行いながら、限られたリソースの中で、いかに最適なシステムを実現するかを考えるプログラム。

【実践先】

駒込高等学校

【対象】

高校生

【実施形態】

授業「科学探究」

【実施内容】

1 回 50 分、計 3 回（内 1 回（第 1 回）は④【教材】課題解決に向けたルール作成と合同実施）のプログラムを実施した。実践先の学校の科学探究の授業において、理系先進コースの高校 1 年生 44 名が参加した。

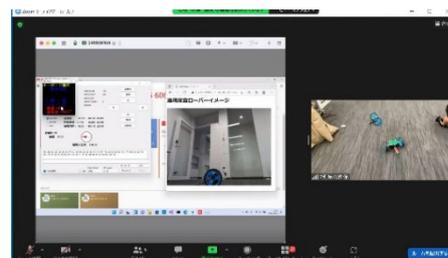
表 9 各回の実施内容

	日程	内容
第 1 回	2 月 3 日 (木)	ローバーの操作方法の修得
第 2 回	2 月 17 日 (木)	レースに向けた検討
第 3 回	2 月 22 日 (火)	月面でのクマムシ救出レース

※各回 50 分

第 1 回 ローバーの操作方法の修得

第 1 回は、オンラインで行った。プログラムの導入として、地球と月面の環境の違いについて説明し、本プログラムのテーマとなる月面環境について想像させた。その後、各チームに分かれて、次回以降のプログラムに向けて、ローバーを遠隔で操作する練習を行った。併せて、使用しているローバーの問題点とその解決策をチームで話し合った。



(遠隔探査の練習をする様子)

図 9 第 1 回プログラムの様子

第 2 回 レースに向けた検討

次回のクマムシ救出レースのストーリー、概要について説明をした後、レースに向けた検討を行った。ローバーが走行する月面の状況（山やクレーター等）を確認し、ローバーがうまく走行できるようなカスタマイズやクマムシを捕獲しやすくするためのカスタマイズをチームで検討した。カスタマイズにはコストがかかることも考慮させ、走行性能とコストのバランスも含めて話し合いを行った。

《ストーリー》

- ・クマムシは厳しい環境でも生きられる
- ・その生態調査を月面の環境を用いて行っていたが脱走してしまった
- ・ローバーを使って捕獲回収する

第 3 回 月面でのクマムシ救出レース

前回の話し合いで決定したカスタマイズを施したローバーを使用して、どのチームが一番早くクマムシを遠隔操作で救出できるかレースを行った。

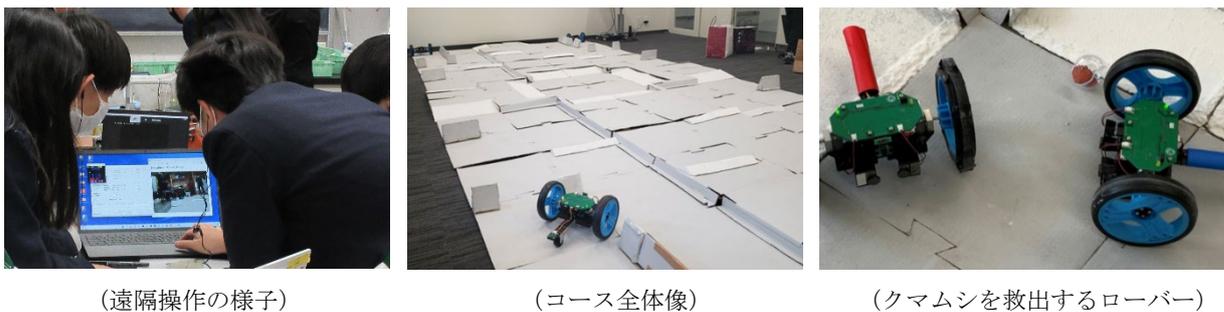


図 10 第 2 回・第 3 回プログラムの様子

④ 【教材】課題解決に向けたルール作成

【概要】

複数台のローバーを同時に動かす実験を通して、車道や信号機のない月面においてローバーを衝突させずに無事に目的地まで移動させるためのルールを考えるプログラム。

【実践先】

駒込高等学校

【対象】

高校生

【実施形態】

授業「科学探究」

【実施内容】

1 回 50 分、計 3 回（内 1 回（第 1 回）は③【教材】月面探査レースと合同実施）のプログラムを実施した。実践先の学校の科学探究の授業において、理系先進コースの高校 1 年生 44 名（③【教材】月面探査レースと同一クラス）が参加した。

表 10 各回の実施内容

	日程	内容
第 1 回	2 月 3 日（木）	ローバーの操作方法の修得
第 2 回	2 月 24 日（木）	ローバー同士が衝突しないためのルール作り
第 3 回	3 月 1 日（火）	ルールの有効性を考える

※各回 50 分

第 1 回 ローバーの操作方法の修得

第 1 回の実施内容は前述の 2. (3) ③**第 1 回**に記載。

第2回 ローバー同士が衝突しないためのルール作り

第2回は、③【教材】月面探査レースの第2回（2月17日）、第3回（2月22日）を実施した後に行った。

③【教材】月面探査レースで救出したクマムシを各チームが他のチームのローバーと衝突せずに目的地まで送り届けることをミッションとした。まず、8チームに分け、同時に月面探査を行うのは4チームであることを説明した。実験として、自身のチームのローバーの初期位置と目的地が描かれた地図をもとに、ローバーを目的地まで遠隔で操作した。遠隔操作では、自身のチーム以外に3チーム（計4機）のローバーが、同時にミッションを遂行している。この実験を通して、ローバーが衝突しないために、お互いが意思疎通を図るための仕組みづくりとそのルールについて考えた。

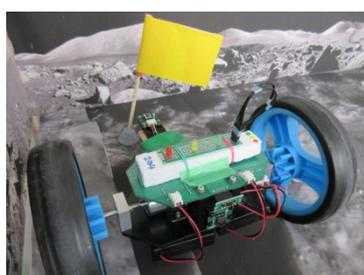
なお、ローバーには、3色（緑・黄・赤）のLEDを搭載し、任意のLEDを操作により点灯できるようにした。

第3回 ルールの有効性を考える

前回の実験において各チームが考えたルールを発表し、最善案を話し合いで決めた。その後、そのルールに基づき第2回と同様の実験を行い、ルールの有効性を確認した。

表11 各チームから提案のあったルール

チーム	ルール
1	LEDで次の行動を示す
2	行きたい方向のLEDをつける
3	曲がる方向にLEDをつける
4	LEDを使ってじゃんけんをして勝ちが進む (緑：パー、黄：チョキ、赤：グー)
5	相手にどう動いてほしいか伝える
6	1機が待機できるスペースを2つ決める
7	LEDを3色使って8方向を表し、進みたい方向を示す
8	LEDの色にそれぞれの意味をつける



(LEDを搭載したローバー)



(実験の様子)



(授業の様子)

図11 第2回・第3回プログラムの様子

(4) 宇宙教育人材の育成

① ファシリテーション能力育成講座の開発

宇宙教育コンテンツを効果的に学校現場等で活用できる人材を育成するために、漫才師やアナウンサーといったコミュニケーションをバックグラウンドとする表現のプロを講師として招き、ファシリテーションやプレゼンテーション能力を学修させる講座を開発し、試行的に計4回の講座を実施した。

表 12 ファシリテーション能力育成講座の内容

内容 (タイトル)	講師
マスク越しでも伝わる話し方	・教育支援機構教職教育センター 井藤元 准教授 ・長崎真友子 氏 (アナウンサー)
マスク越しでも伝わる話し方 2	
聴き手の心を掴むリポート術	・教育支援機構教職教育センター 井藤元 准教授 ・木曾さんちゅう 氏 (漫才師)
模擬授業に挑戦!	

表 13 ファシリテーション能力育成講座の実施状況

実施日時	内容 (タイトル)	受講者数
11月25日(日) 10:30~12:00	マスク越しでも伝わる話し方	17人
11月25日(日) 13:00~14:30	聴き手の心を掴むリポート術	17人
12月22日(日) 10:30~12:00	マスク越しでも伝わる話し方 2	14人
12月22日(日) 13:00~14:30	模擬授業に挑戦!	15人

② メンター候補者の育成

過年度プログラムの受講生に前述の2.(3) 宇宙教育モデルコンテンツの作成補助を担わせるとともに、作成した教材の報告会の実施及びファシリテーション能力育成講座を受講させ、次年度以降のメンター候補者を養成した。

メンターの養成にあたっては、ルーブリックの各項目をどこまで達成できたかを自己評価させた。

③ メンター候補者によるモデルコンテンツ作成報告会

宇宙教育モデルコンテンツの作成について、チームで作成した教材内容及び実践結果について報告を行い、その成果を共有することを目的に報告会を行った。

表 14 チーム構成

チーム	教材	チーム構成
T1	【教材②】人の住む環境について考える	大学院生4名、大学生2名
T2	【教材④】課題解決に向けたルール作成	大学院生1名、大学生5名
T3	【教材③】月面探査レース	大学生6名

【実施日時】

2022年3月13日（日）10時～12時

【実施概要】

- ・チームごとにスライドを用いて作成した教材内容、実践結果、コスト見積りをまとめプレゼンテーションを行った。
- ・1チームあたり10分の発表を行った後、質疑応答とした。
- ・宇宙教育教材・カリキュラムの開発、実践におけるルーブリック（前述1. (2) ③表2参照）（以下、「宇宙教育教材開発ルーブリック」という。）をもとに、プログラム関係者が各チームの評価を行った。
- ・最優秀チームはT1に決定した。



図12 報告会の様子

④ メンター候補者による自己評価

前述1. (2) ③に記載したルーブリックを用いて、メンター候補者に自己評価させた。自己評価は、モデルコンテンツ作成報告会の実施後に、育てたい人物像とその達成目標の到達状況を評価するためのルーブリック（前述1. (2) ③表1参照）（以下「プログラム全体ルーブリック」という。）及び宇宙教育教材開発ルーブリックを使用した。ルーブリックごとの評価点の平均値を以下に示す。

なお、次年度以降は、受講生に受講前後で自己評価を行い、成長度を測る予定である。

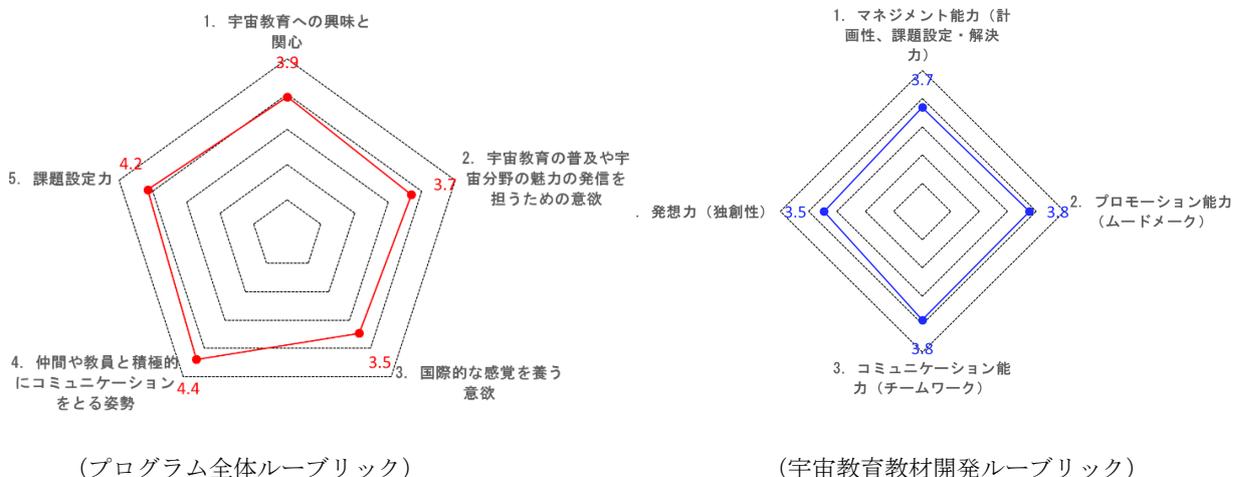


図13 メンター候補者による自己評価結果

⑤ メンター候補者へのアンケート調査

メンター候補者による自己評価以外に、育成の前後でアンケート（各事項 5 段階評価）を実施し、「A. 意欲・関心・態度」、「B. 探究活動」、「C. 知識・技能」、「D. その他」の 4 項目について意識の変化を調査した。

表 15 メンター候補者へのアンケート集計結果

A. 意欲・関心・態度に関する項目

番号	質問事項	前	後
		平均	平均
1	宇宙科学技術に対して、積極的に情報を得ようとしていますか。	3.7	4.3
2	宇宙科学技術に対する知識や技術を得るために、積極的にかかわろうとしていますか。	3.8	4.3
3	宇宙科学技術の魅力を発信したり、普及したりする意欲がありますか。	3.4	3.6
4	国外での活動や、国外者との交流する機会があれば、積極的にできますか。	3.9	4.0
5	他者とコミュニケーションを取り、他者の考え方との共通点や相違点を整理することができますか。	4.1	4.2
6	考え方が異なるものが集まったとき、異なる考え方を統合することができますか。	3.7	3.9
7	人の前で話をするのは得意ですか。	3.6	3.6

B. 探究活動について

番号	質問事項	前	後
		平均	平均
1	現在の状況から課題を発見・定義することができますか。	3.5	4.2
2	発見した課題を解決するために、見通しを持ち、必要な情報を収集することができますか。	3.7	4.1
3	発見した課題を解決するため収集した情報を、適切に整理したり分析したりすることができますか。	3.8	3.7
4	発見した課題を解決するために情報を処理し、整理・分析し、導いた結論を適切に評価することができますか。	3.4	3.6
5	1つの課題を解決した後、新たな課題を発見したり、追究したりすることができますか。	3.8	4.1

C. 知識・技能について

番号	質問事項	前	後
		平均	平均
1	宇宙科学技術について、十分な知識を持っていますか。	2.6	3.3
2	モノづくりの経験はありますか。	3.2	3.4
3	プログラミングはできますか。	2.3	2.8
4	データを処理する方法について説明できますか。	2.1	2.3

D. その他

番号	質問事項	前	後
		平均	平均
1	人にわかりやすく話を伝えることが得意ですか。	3.1	3.4
2	プレゼンテーションの資料を作るのは得意ですか。	3.1	3.4

(5) 教育効果の検証

① 自己評価

プログラム全体の効果検証として、本学による自己評価を行った。

表 16 本学による自己評価

評価項目	本学自己評価
【プログラム全体】 文部科学省 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実施する。今年度は、宇宙教育プログラム指導要領の作成、ファシリテーション能力の育成講座の開発、宇宙教育教材・カリキュラムの開発及び実践を実施する。実施は、パイロット版として、過年度に宇宙教育プログラムを受講した本学学生を対象とする。	<ul style="list-style-type: none"> ○ 第1期（2015～2017年度）、第2期（2018～2020年度）に引き続き、文部科学省による宇宙航空科学技術推進委託費に採択され、宇宙教育プログラムを実施することができた。 ○ 過年度に宇宙教育プログラムを受講した本学学生 18 名を対象にパイロット版の「宇宙教育プログラム 2.0」を実施することができた。 ○ 効果検証を目的としたルーブリックを 2 種類（プログラム全体、宇宙教育教材開発）作成することができた。今年度は受講後のみの自己評価となったが、次年度以降は受講生に対して受講前後で自己評価をさせ、検証を行う予定である。 ○ 客観的な評価及び本学への助言を行うことを目的に外部評価委員会を設置した。 ○ 業務計画に記載した当初の予定を実施することができた。
【プログラムの目的】 主体的・対話的で深い学びに基づく中高生向けの宇宙教育教材・カリキュラムを開発、実践できる大学院生・大学生を育成する。	<ul style="list-style-type: none"> ○ これまでの宇宙教育プログラムで蓄積した資産（人材を含む）を活用し、探究学習向けの宇宙教育教材の開発を行うことができた。 ○ これまで学校教育に関わる経験が少なかった学生が、宇宙教育教材・カリキュラムの開発に携わり、中学校や高等学校で実践する経験を積むことができた。 ○ 学生は、対面とオンラインを併用し、自主的かつ計画的に開発及び実践に向けたディスカッション等を実施しており、実践に基づいたマネジメント能力やコミュニケーション能力は着実に伸びたと考えられる。
【当該年度における成果】 宇宙教育プログラム指導要領の作成	<ul style="list-style-type: none"> ○ 宇宙分野の若手からベテランまでの研究者、技術者、宇宙飛行士といった幅広い人材（計 20 名）にインタビュー調査を行うことができた。 ○ インタビューをもとに、宇宙研究や宇宙開発等に携わる者が、どのようなことを心掛けて、いかなる思考様式に基づいて課題解決を試みているかを明らかにし、宇宙分野で求められている資質・能力・技術を体系化することができた。 ○ 当初目標（3 つ以上）を上回る 7 つの重要カテゴリを抽出し、全 70 項目にまとめることができた。
ファシリテーション能力の育成講座の開発	<ul style="list-style-type: none"> ○ 宇宙教育教材を学校現場等で活用できる大学院生・大学生を育成するために、漫才師やアナウンサーといったコミュニケーションをバックグラウンドとする表現のプロを講師として招き、ファシリテーションやプレゼンテーション能力を学修させる講座を開発することができた。 ○ 試行的に計 4 回の講座を本学学生 18 人に受講させ、次年度以降のメンター候補者

	を養成することができた。
宇宙教育教材・カリキュラムの開発・実践	<ul style="list-style-type: none"> ○ 過年度の宇宙教育プログラムで実施した遠隔探査実験をもとに、宇宙教育教材を開発し、学校現場で実践することができた。 ○ 当初目標（1種類以上）を上回る4種類の教材を開発することができた。 ○ 第1期、第2期の宇宙教育プログラムメンターが起業した株式会社宇宙の学び舎seedを協力機関とし、宇宙探査機の開発について学びながら、ものづくりやプログラミングを自らの手を動かして実践する教材を開発することができた。 ○ 主に過去に過年度に宇宙教育プログラムを受講した本学学生を開発補助として、過年度に実施した方式をもとに改良を加えることで新たなコンテンツを3種類生み出すことができた。
次年度の準備	<ul style="list-style-type: none"> ○ 次年度の受講生の募集に向けて、ホームページを整備し、リーフレットを作成した。リーフレットは、主に関東圏内の大学（425学部）に配付した。
成果の公表・波及	<ul style="list-style-type: none"> ○ 宇宙分野の魅力を広く社会全体へ発信し興味を醸成すること、また宇宙分野の魅力を中学校・高校の教育現場と連携して広げることを目的として、宇宙教育プログラム通信を1回発行した。宇宙教育プログラム通信は、主に関東圏内の大学（425学部）、高等学校（430校）、教育委員会（212機関）に配付し、併せてホームページに公開した。
【実施体制】 プログラムを企画立案及び実施するための組織体制を整備する。	<ul style="list-style-type: none"> ○ 研究代表者を宇宙飛行士の向井千秋特任副学長として実施することができた。 ○ 宇宙教育プログラム実施ワーキンググループ（以下「WG」という。）を設置し、プログラムに係る企画、立案、実施を行うことができた（計4回WGを開催）。 ○ 研究代表者を含むWGメンバーのうち4名で構成するステアリングコミッティ（以下「SC」という。）を設置し、プログラムの方針決定を迅速に行うことができた（計2回SCを開催）。 ○ 宇宙、科学教育、教育学の専門家が、宇宙教育プログラムの参画教員として、学部学科を越えて横断的にプログラムを実施することができた。 ○ 事務局は、次世代人材育成及び高大連携の担当実績を有する学務部学務課が担当し、本プログラムの円滑な運営・実施に貢献した。

② 外部評価委員会の設置

【目的及び組織】

宇宙教育プログラム事業の客観的な評価及び本学への助言を行うことを目的として、東京理科大学宇宙教育プログラム外部評価委員会（以下「外部評価委員会」という。）を設置した。

外部評価委員会は、次に掲げる委員をもって組織し、今年度は11名の委員を委嘱した。

- ・学識経験者 若干人
- ・中学校、高等学校等の校長経験者 若干人
- ・副学長が必要と認める者 若干人

表 17 外部評価委員会委員

所属	職名	氏名	備考
大学共同利用機関法人 情報・システム研究機構	機構長	藤井 良一	委員長
国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構	社友	樋口 清司	
国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構 宇宙教育センター	センター長	佐々木 薫	
北海道大学大学院 工学研究院 機械・宇宙工学部門	教授	大島 伸行	
東京大学大学院 情報学環・学際情報学府	教授	山名 淳	
熊本大学 教育学部	准教授	苫野 一徳	
京都高等教育研究所	代表	内村 浩	
東京都科学技術高等学校	校長	久保 剛	
江戸川区立清新第一中学校	校長	薦田 敏	
上智大学	特任教授	栗原 峰夫	高等学校長経験者
スパークス・イノベーション・フォー・フューチャー株式会社		大貫 美鈴	宇宙ビジネス コンサルタント

【視察】

外部評価委員会委員は、当該年度中に任意で宇宙教育プログラムの視察ができるものとし、以下のとおり実施した。

表 18 外部評価委員会委員視察状況

日付	視察内容	視察者
12月19(日)	10:30~12:00 ファシリテーション能力育成講座「マスク越しでも伝わる話し方2」	山名委員
	13:00~14:30 ファシリテーション能力育成講座「模擬授業に挑戦」	薦田委員 栗原委員
	14:50~17:10 宇宙教育教材ディスカッション	大島委員 久保委員 薦田委員 栗原委員

3月13日（日）	10:00～12:00 報告会 12:10～12:30 閉講式	樋口委員 佐々木委員 山名委員 内村委員 栗原委員 大貫委員
----------	--	---

【外部評価委員会】

外部評価委員会を以下のとおり開催した。

日時：3月30日（水）10時～12時

場所：東京理科大学神楽坂キャンパス及びオンライン

議題：・開会挨拶

- ・外部評価委員会委員紹介
- ・外部評価委員会について
- ・今年度プログラム概要説明
- ・今年度プログラムの自己評価について
- ・意見交換

(6) 成果の公表・波及

【宇宙教育プログラム通信】

宇宙教育プログラムの活動を発信することで、学校現場や一般に宇宙分野の魅力を伝えることを目的に、広報リーフレットを発行した。リーフレットは、主に関東圏内の大学、高等学校、教育委員会等に配布するとともに、宇宙教育プログラムホームページにて公開した。

▶第10号（2022年3月発行）

- ・第3期宇宙教育プログラム「人文社会×宇宙」分野越境人材創造プログラム（向井千秋特任副学長）
- ・2021年度宇宙教育プログラムの取組みについて
- ・宇宙教育教材の開発に携わり
- ・宇宙教育プログラムの概要
- ・2022年度受講生の募集について

※号数は2015～2020年度に本学が発行したものからの連番とした。

【宇宙教育プログラムホームページ】

宇宙教育プログラムの周知・宣伝・募集を目的として、ホームページを作成し、プログラムの概要、実施内容の報告、宇宙教育プログラム通信等を公開した。

▶URL：<https://www.tus.ac.jp/uc/>

3. まとめ

本学は長年にわたり、開放性の教員養成に基づき、理数系の専門教育を基盤とした専門性の高い理数教員の養成を行ってきた。また、宇宙教育に関しては、宇宙航空科学技術推進委託費の宇宙航空人材育成プログラムにおいて、宇宙科学技術・宇宙産業を担う研究者・技術者等の人材の輩出を目的に理工系に特化したプログラムを実施し、高校生・大学生を育成してきた。今期プログラムでは、本学の伝統的な教員養成の実績と宇宙教育のノウハウを融合させ、宇宙研究、科学教育、教育学を専門とした本学教員が連携し、主体的・対話的で深い学びに基づく中高生向けの宇宙教育教材・カリキュラムを開発・実践できる大学院生、大学生を育成することを3カ年の目的とした。

プログラムの初年度となる今年度は、宇宙教育プログラム指導要領の作成、モデルコンテンツの作成、ファシリテーション能力育成講座の開発を行う過程で、パイロットプログラムとして、次年度以降のメンター候補者となる学生の育成も行った。

宇宙教育プログラム指導要領では、リーダーシップや柔軟な思考、的確な判断力を有した若手からベテランまでの宇宙飛行士や宇宙分野の研究者・技術者ら20人にインタビューを行い、彼らの基本姿勢や思考パターンを定式化した。宇宙分野で求められる資質・能力・技術を7つのカテゴリと70の心構えに体系化し、それぞれ解説とともにまとめた。

モデルコンテンツの作成では、次年度以降の受講生が宇宙教育教材・カリキュラムを作成するためのモデルコンテンツを作成した。コンテンツは、遠隔探査実験を題材として、「遠隔探査ロボットの製作」、「人の住む環境について考える」、「ローバーを使った月面探査レース」、「課題解決に向けたルール作成」の4種類を作成した。作成にあたっては、主に過年度に同委託費で実施したプログラム受講歴のある本学学生を開発補助とした。開発した教材は、協力機関の学校と連携し、開発補助者が授業や課外活動で実践した。

また、作成した教材を効果的に実践するためのファシリテーション能力育成講座の開発を行い、試行的に計4回の講座を実施し、開発補助者に受講させた。

学校現場での実践を含む教材開発の補助やファシリテーション能力育成講座を受講させることで、開発補助者の成長を促し、次年度以降のメンター候補者として育成することができた。外部評価委員会委員からは、学生の成長が実感できるプログラムになっており、授業を実践したメンター候補者の成長は申し分ないという評価を得ることができた。一方、実践の授業を受けた中高生の成長度を測る仕組みが十分ではないという課題が挙げられた。次年度は、本学内にとどまらず、他大学に在籍している大学院生、大学生までを対象とした1年間のプログラムを実施し、受講生の成長を測るとともに、受講生による授業を受けた生徒の成長を測る仕組みも課題として取り組んでいく。さらに、開発した教材の教育現場への普及について検討を進めていく計画である。

4. 参考資料

- (1) 宇宙教育プログラム指導要領
- (2) 宇宙教育モデルコンテンツにおける指導案・スライド・ワークシート・配付資料
- (3) 宇宙教育教材開発及び実践に係る報告会の発表スライド
- (4) 宇宙教育プログラム通信第10号





はじめに	03
宇宙教育プログラム 2.0 について	04

70の心構え

07

 基本姿勢	11
 立案フェーズで心がけるべきこと	21
 開発フェーズで心がけるべきこと	27
 運用フェーズで心がけるべきこと	30
 解析フェーズで心がけるべきこと	31
 チーム作りの際に心がけるべきこと	33
 プロジェクトのリーダーが心がけるべきこと	36

事例紹介

遠隔探査ローバーを用いた体験型アクティブラーニング	39
宇宙教育プログラム担当教員	46
宇宙教育プログラム インタビュー協力者一覧	47

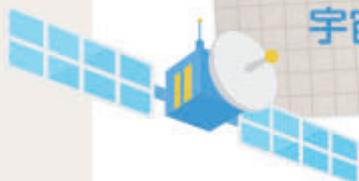
≫ はじめに

東京理科大学特任副学長 向井 千秋

東京理科大学では文部科学省の宇宙航空科学技術推進委託費による宇宙分野での人材育成プログラムを6年間（第1期は2015年度から2017年度、第2期は2018年度から2020年度）開催してきました。「本物に学ぶ」をモットーに、高校生や大学生を対象として行ったこのプログラムの目的は、将来、理科教員として宇宙科学技術の魅力を広く発信できる人材や、研究者・技術者・起業家等として、宇宙開発・宇宙産業の発展を担う人材を育成することでした。「講義、実習、模擬宇宙環境体験や利用（パラボリック飛行、落下等、ローバーによる探査等）、海外の研究者・技術者・宇宙飛行士との交流」などのカリキュラムを通して、知識や技術を習得するとともに、宇宙分野で実際に働く人々から仕事の面白さや厳しさを学び、キャリア形成に役立つ貴重な機会を得ることができたと思います。また、このプログラムでは、過年度の受講生がメンターとなり、新受講生の学びの支援や高校の理科教育の導入に利用できる教材を作成するという内容も含まれていました。メンターとなる学生が科学技術に関するコミュニケーション能力や実践的指導力を高めることで、指導者として成長することを期待したカリキュラムでした。

さて、2021年度開始の第3期宇宙教育プログラムは、「人文社会×宇宙」分野越境人材創造プログラムというもので、これまでの理科系中心の宇宙教育プログラムを人文社会の分野にも広げるとともに、教育学の手法を取り入れて、宇宙を題材にした中高生向けの教育教材やカリキュラムを開発し実践できる大学院生・大学生を育成することを目的としています。自分が学んだ知識や学びの楽しさを、他の人に余すことなく伝える力を養成することで、深い学びを得ることができます。宇宙を切り口にした理科教育を実際の教育現場に反映していくために、指導を希望する誰もがそれぞれの教育環境で利用できる指導要領をまとめました。本指導要領には、宇宙開発の最先端で活躍する研究者・技術者たちの智慧が詰まっています。本指導要領の内容を深く理解することで、これからの時代を生き抜く上で必要な力が自ずと培われると思います。皆様に幅広くお使いいただければ幸いです。

「教育は夢をかなえる手段」です。開発したプログラムに参加した生徒達が、チームとしてプログラムが求める任務を完了することの楽しさや達成感を得ることによって、自発的に勉強してくれたらと思います。東京理科大学は、中学や高校の理数系教員免許を取る学生が毎年300名弱おり、そのうち100名程度が教職についています。宇宙を切り口としたこの理科教育プログラムで学んだことを、それぞれの生徒たちが自己実現に役立てて行くことが、本学の建学の精神である「理学の普及を以って国運発展の基礎とする」を具現化していることなのです。この理科教育プログラムが、科学技術立国の日本を支える教育者、宇宙分野の研究・開発や産業に従事する人材を育成していく一助となることを信じてやみません。



宇宙教育プログラム2.0について

2020年、新型コロナウイルスの影響をうけ、世界中が先行きのみえない状況に直面することとなりました。既存の枠組み、常識やルールに従って生きるだけでは乗り切ることのできない、極めて高度な問題に全人類が向き合わねばならなくなったのです。こうした状況下で求められるのは、言われたことを言われた通りに行う力ではないはずです。誰も解いたことのない問題に対して、自らの頭で考え、判断し、行動する力こそが求められているといえるでしょう。

では、そうした時代の荒波を乗り越えす力はどうのようにして育むことができるでしょうか。近視眼的な視点ではなく、100年後、1000年後を見据えた教育の構想。そのありようを考えるためのヒントは意外な人たちが持っているかもしれません。

宇宙開発の第一線で活躍している研究者・技術者たちです。

東京理科大学は2015年度より「宇宙教育プログラム」の開発をスタートさせ、2020年度まで6年にわたって、大学生・高校生を対象として講座を実施してきました。宇宙教育プログラムの特徴は受講生が宇宙開発の第一線で活躍する研究者・技術者から最先端の知識や考え方を直接学ぶことができる点にあります。受講生は、アクティブラーニング型の授業を体験する中で実践的に知識や技能を磨いてゆき、手加減抜き「ホンモノの教育」を受けます。次代の宇宙開発を担う人材の育成を目指した本プログラムは各界から注目を集めてきました。

そして2021年度からはプログラムの対象者を中高生に広げ、「宇宙」と「教育学」を掛け合わせた探究型の教育プログラム開発がスタートしました。「宇宙教育プログラム 2.0」の幕あけです。本プログラムは、文系・理系の枠を超え、これからの時代に求められる資質・能力を子どもたちが楽しみながら身につけられるよう設計されています。宇宙教育プログラムにおいて子ども達のうちに育もうとしている力は、正解のない時代においてこそ発揮されます。

ところで「宇宙開発を目指しているわけでもない中高生が宇宙について学んで何の意味があるのか？」と疑問に思った方もいるのではないのでしょうか。この問いにこたえるために、まずは宇宙教育プログラムで採用している独自の метод論を



紹介したいと思います。本プログラムの開発にあたっては、「ベストキッド方式」と呼ぶことのできる独特の方法をベースにしています。『ベストキッド』は1984年公開の映画で、ご存知の方も多いのではないでしょうか。主人公はいじめられっ子の少年ダニエル。物語の中で彼は空手の達人に弟子入りし、修業を重ねる中で成長してゆきます。なんといっても面白いのは、修業の場面。ダニエルが師匠から与えられる課題は、ワックスがけやペンキ塗りなど雑用ばかり。いったいこれが空手と何の関係があるのかとダニエルは不満を抱きます。けれども、気がつけば一見雑用にも見えた作業を通じて見事に空手の型が身についていたのです。

宇宙教育プログラムで提示される様々な課題は、『ベストキッド』におけるワックスがけのようなものだといえます。一見したところ万人に必要とは思えない宇宙の課題に取り組む中で、結果的・事後的にこれからの社会を生き抜くための力が身についてしまうのです。

宇宙開発において一つのプロジェクトを達成するためには立案・開発・運用・解析の4つのフェーズでさまざまな課題に取り組む必要があります。可能な限り想定外を減らすべく、数限りないシミュレーションが行なわれ、目標実現のための徹底したスケジュール管理・リスク管理が求められます。宇宙開発においては、うまくいかないことが常。逆境にしなやかに対応する力（レジリエンス）も不可欠です。また、チームが互いの良さを引き出しあい、相乗効果を生み出すためにはコミュニケーション力も重要です。さらに、高い目標を掲げ、メンバー全員が当事者意識を持ってプロジェクトに参加する必要があり、研究成果をわかりやすく噛み砕いて多くの人々に伝えるためのプレゼンテーション力も必須といえます。宇宙開発という壮大なプロジェクトに参加するためには、じつに高度で複合的な力が求められるのです。

「宇宙教育プログラム 2.0」の設計にあたって、最初に行ったのがわが国の宇宙開発を牽引している20名の研究者・技術者へのインタビューでした。インタビューへの協力を仰いだのは、東京理科大学、東京大学、北海道大学、慶應義塾大学に所属する大学教員をはじめ、JAXAなど宇宙開発の最前線で活躍している研究者・技術者たち。若手からベテランまで幅広いキャリアの方々に教育学者がひたすら話を聞いて回りました。

宇宙開発に携わる研究者・技術者は、日々どのようなことを心がけて課題解決



を行なっているのでしょうか。インタビューを通じて、宇宙開発に関わる者に求められる資質・能力の因数分解を試みました。膨大な時間をかけてインタビューを行う中で、書籍などでこそ体系的にはまとめられていないものの、宇宙開発の分野で先輩から後輩、あるいは上司から部下へと代々受け継がれてきた基本姿勢、ものの見方・考え方が浮き彫りになってきました。宇宙開発のプロが共有している「集合知」が浮かび上がってきたのです。

そして、インタビューを通じて抽出された要素を7つのカテゴリー（「基本姿勢」「立案フェーズでの心構え」「開発フェーズでの心構え」「運用フェーズでの心構え」「解析フェーズでの心構え」「チーム作りにおける心構え」「リーダーに求められる心構え」）に分け、全70項目にまとめました（各項目の具体的な内容については本冊子で紹介しています）。項目を確定したうえで「宇宙教育プログラム指導要領」を作成し、70の心構えを身につけるためのカリキュラム開発がスタートしました。最新の教育学の理論や方法を援用しつつ、受講生が楽しみながら学べるワークの開発が始まったのです。

宇宙教育プログラムのカリキュラムは、1コマ（45分～50分）・半日・1日で完結するものから数か月に及ぶものまで用意されています。宇宙教育プログラムでは、大学生・大学院生が主に中高生を対象とした宇宙教育教材の開発を行います。ここで開発された教材に取り組むことで、生徒たちが本冊子に記されている内容項目を自然に身につけられるような仕掛けが施されています。

本プログラムの受講生の中で、将来、直接的に宇宙開発に関わる生徒の数は決して多くないかもしれません。だから、宇宙開発に関わる様々なフェーズで求められる能力を磨くことにどれほどの汎用性があるのかと疑問を抱く方も多いかと思えます。けれども、宇宙開発に臨む際に求められる心構えを身につけてゆくと、知らず知らずのうちに（事後的・結果的に）新学習指導要領に記載されているような資質・能力が体得されてしまうのです。

思いがけない二つのものが掛け合わされたとき、誰も予期していなかった新しい世界が立ち現われてくることがあります。「宇宙」と「教育」も、そんな創造的な出会いの一つといえます。「宇宙」と「教育」が組み合わせられるとき、どのような地平が切り拓かれるのでしょうか。教育の新たな可能性と出会うための第一歩を踏み出すことにしましょう。

70の心構え



	カテゴリ	心構え
1	基本姿勢	マテリアルな利益にのみ向かうべからず。100年後、1000年後を見据える。
2		本物についていくと、自分も本物になってゆくことができる。本物から学ぶ。
3		井戸の外に出てみる。井戸の中では戦わない。宇宙という人類共通の敵と戦う。
4		人は完璧ではない。間違いを犯す。たとえ一人が間違えたとしても、全体として正しい方向が目指せるように心がける。
5		興味の幅を広げる。好奇心を持ってアンテナを張り続ける。
6		越境していく勇気を持つ。
7		異なる分野間で生じる「摩擦」が創造性を生み出す。異分野と積極的にコラボレーションをはかる。異分野とのコラボレーションのためには、まずは自らの専門分野について深く掘り下げて学ぶ必要がある。
8		知識はツールとして持つべきであって、拘束として持つべきではない。
9		プロジェクトメンバーでカバーしきれない問題が起きた場合、その道の専門家を探す。
10		悲観的になりすぎると物事が進まない。結果、面白いことはできない。
11		数多くの実体験を積む（物理には実体験のストックが必要）。
12		自分の頭で物事を考える。
13		プロジェクトに対して当事者意識を持つ。
14		自分にとっての当たり前が他人にとっても当たり前とは限らない。ゆえに絶えず価値観・考え方のすり合わせを行う。
15		スケジュール通り進まないことは常。何度もスケジュールを見直す。
16		アイデアを覆かせる時間（熟成期間）を設ける。

	カテゴリ	心構え
17	基本姿勢	ドキュメンテーションの必要性。従事記者（議論の過程を記録する人）を置く。意思決定のプロセスを必ず記録に残す。
18		物理や数学の知識はもちろん重要。くわえて国語力も磨くべし。
19		失敗するのが常。成功の方が稀。失敗を受け入れることが重要。
20		失敗は許されない。想定外をなくす努力をする。Think ahead
21		失敗はない。全てが学びのプロセス。実験結果そのものよりも過程から学ぶべし。
22		失敗させないよう周りが手助けするのは逆効果。責任感の欠如を招く恐れあり。失敗も含めて自分で責任を取る経験が必要。
23		出来合いのプログラムを使用するだけでなく、プログラムの原理を理解しようと努める。
24		謙虚な姿勢が必要。宇宙に向き合っていくと人は自然に対して謙虚にならざるを得ない。
25		我々は先が見通せていないと努力することができない。何に向かって努力すれば良いかを明確化する。
26		木を見て森も見ろ。
27	立案	面白いと思ったらやってみる（最初の段階では、実現可能性は考えなくてもよい）。
28		課題に対してしつこく取り組む。質は問わず提案し続ける。突拍子もない発想も含めて数多くのアイデアを出す。
29		文献研究を行う（先行研究のレビュー）。既に何ができていて、何がわかっていないのか、事前調査を行う。
30		先行研究を鵜呑みにしない。
31		過去の事例をもとにコスト見積りを行う。
32		競争相手の開発段階をおさえる。
33		最上位の要求を明確に定義し、目標設定を単一に定める。
34		全体像（地図）をもとに個別事項を理解する。
35		目標に優先順位をつける。

	カテゴリ	心構え
36	立案	目標を達成するための理路を明確に提示する。できるだけ具体的な計画を立てる。大目標を達成するための小目標を詳細に打ち立てる。マイルストーンの設定。それぞれの人が、それぞれの専門に基づいて大目標を実現するための小目標をクリアしていく。
37		問いを立て、一番の難所を見抜く。
38		目標に対する成果を3段階（ミニマムサクセス、ミドルサクセス、フルサクセス）で設定する。
39		必ずバックアッププランを用意する。
40		立案段階で運用・解析フェーズの見通しを立てる。
41		拘束条件の中で、実現可能な解を見つける。
42		自分の身の丈を知る（自分にできること・できないことを明確化する）。
43		自分がやりたいこととチームとしてやるべきことは一致しない可能性は高い。チームで折り合いをつける。
44	開発	開発段階での急な設計変更は設計の過誤と品質低下を招きやすい。開発段階での設計変更は避ける。
45		スケジュールが遅延するとチームのモチベーションが下がる。スケジュールをできる限り守る。
46		妥協も必要。
47		捨てる勇気を持つ。あれもこれもは不可能。トレードオフが生じた場合、ともかくも対話を重ねる。
48		見たくないものを見る勇気。見たくないものは見えなくなる。バイアスがかかっているか、絶えず批判的思考を繰り返す。
49	宇宙開発においては「運」もある。どこかで割り切らなければならない。思い切りも必要。人事を尽くして天命を待つ。「運」を掴むためには経験と知識が必要。	
50	運用	憶測ではなく、正確に事象を捉える。想像力が必要。
51		スムーズな運用のためには入念なりハーサルが必要。
52	解析	当初の目的が果たしているかを検証する（ミニマムサクセス、ミドルサクセス、フルサクセス）。

	カテゴリ	心構え
53	解析	データを生で見る。立案段階の仮説に囚われず、様々な角度からデータを分析する。
54		想定外の結果が出ても嘆く必要はない。そこから新たな発見が得られる可能性がある。
55		成果を発表するためのプレゼンテーション力が重要。難しい内容をわかりやすく噛み砕いて伝えることも必要。誇張と省略。
56	チーム作り	ミッションサクセスという大きな目標がチームをまとめる。大目標を各メンバーが共有していれば、組織はまとまる。
57		チームのメンバーの関心事に興味をもつ。互いのバックグラウンドに敬意を払う。相手の立場を想像する。
58		物理的に場を共有し、face to face でコミュニケーションをとる。
59		リーダーとリスク管理をする人間を分ける。
60		どうしても合わない人がいる場合は、できるだけ接点を持たないように物理的に作業を離す。
61		問題を一人で抱え込まない。
62		適度な貧乏が創造性を生む。
63		フリーライダーに責任を持たせる。
64	リーダー論	ミッションは人である。強力でグループを引っ張っていく存在が必要。
65		リーダーは誠実であれ。高潔さ (Integrity) が必要。
66		責任を取る決断を下し、任せるところはメンバーに任せる。コアメンバーとの信頼関係を築く。
67		トップの熱量は周囲に伝播する。
68		リーダーには聞く力・包容力が必要。自分と異なるアイデアを尊重し、メンバーが自由に発言できる雰囲気を作る。
69		リーダーには調整が求められる。落穂拾い。分担の隙間を埋め合わせる。必要に応じて謝ることができるのが良いリーダー。
70		外に向かって発信する力が必要。



まずは、宇宙開発に携わる者に求められる「基本姿勢」について見ていきましょう。宇宙という広大なテーマと向き合うためにはどのような姿勢が求められるのでしょうか。ここでは宇宙教育プログラムを受講する上で受講者にも意識してほしい基本的なマインドセットを整理しました。

chapter

1

マテリアルな利益にのみ向かうべからず。
100年後、1000年後を見据える。

宇宙開発においてはマテリアル（物質的）な、目に見える成果が重視されます。巨額の予算を投じて宇宙開発が行われるわけですから、当然、成果が求められるのです。ゆえに、宇宙開発の現場では「100円投資して120円のリターンがあれば成功」という発想が根強く存在しているのも事実です。けれども、宇宙開発における成果とは単なる物質的な次元にのみ留まらないところがその大きな魅力といえるでしょう。すぐに成果が現れるわけではないけれども、物質的な利益には換算できない「精神的な恩恵」を人類にもたらす点において、宇宙開発の役割は大きいといえます。井の中の蛙だった人類が人工衛星や有人宇宙飛行などを通じて宇宙へと視野を広げることで、世界の景色はガラリと変わりました。世界観（パラダイム）の劇的変化へと人類を導く点にこそ、宇宙開発の本当の意義があるといえます。もちろん、それは一朝一夕に果たされることではありません。宇宙開発には、100年後、1000年後を見据えた長期的な展望のもとで世界を捉えるセンスが必要なのです。

chapter

2

本物についていくと、自分も本物になってゆくことができる。
本物から学ぶ。

宇宙教育プログラムでは**ホンモノとの出会い**を大切にしています。ホンモノには、その存在に触れただけで学習者を成長へと導く不思議な力が宿っています。ホンモノは遥かな高みにいながら、初学者に対して当該世界の魅力や奥深さを語ってくれます。ホンモノは物事をどのように捉え、どのように世界の謎に向き合っているのか。その思考様式に触れ、時間を共有し、彼らから身体全体で学ぶ（模倣する）過程で、気がつけば、学習者のうちにホンモノの考え方や価値観が育まれているでしょう。

心構え

I
1
26

心構え

II
27
43

心構え

III
44
49

心構え

IV
50
51

心構え

V
52
55

心構え

VI
56
63

心構え

VII
64
70

心構え
①
↓
26

心構え
②
27
↓
43

心構え
③
44
↓
49

心構え
④
50
↓
51

心構え
⑤
52
↓
55

心構え
⑥
56
↓
63

心構え
⑦
64
↓
70

chapter
③

**井戸の外に出てみる。井戸の中では戦わない。
宇宙という人類共通の敵と戦う。**

宇宙開発に関わるということは、自然の脅威、地球温暖化、パンデミックといった人類共通の敵と向き合うことに他なりません。そのためには狭い視野を捨て去り、広大な視座のもとで世界を捉える姿勢が極めて重要となります。味方同士（人間同士）で争っている場合ではないのです。宇宙に向き合うためには、今いる世界の一步外に出てみる必要がありますが、それにより、世界の見え方はガラリと変わるはずですが、宇宙から地球を見つめることは、**地球という名の井戸の外に出て**マクロな次元から世界を捉えるための貴重なレッスンとなります。

chapter
④

人は完璧ではない。間違いを犯す。たとえ一人が間違えたとしても、全体として正しい方向が指せるように心がける。

この世に完璧な人間はいません。誰でも間違いを犯します。特に宇宙開発のような長期にわたる壮大で複雑なプロジェクトの場合は、**一つも失敗を犯さずにプロジェクトを完遂することは不可能**といってよいでしょう。ゆえにプロジェクトを進める際には、人が間違いを起こさないよう、隙のない計画を立てるのではなく、「人は間違いを犯す」という前提のもとで開発を進めることが重要です。たとえAさんがミスをしたとしても、そのミスにBさんが気づき、修正を施すことのできるシステムづくりを用意しておくことが肝要なのです。これを**リダンダンシー (redundancy)**と呼びます。この用語は「冗長性」と訳され、リスク管理を行う上で、極めて重要な考え方といえます。必要最低限のものだけでなく、余剰を用意しておき、あえて「あそび」を作ることで、不測の事態に備えておくのです。

chapter
⑤

興味の幅を広げる。好奇心を持ってアンテナを張り続ける。

新たなアイデアを生み出すためには常に興味の幅を広げ、多くの知見を獲得していかうとする前向きな姿勢が求められます。世界のどこにヒントが転がっているかはわからないからです。宇宙という広大なテーマに取り組む際には、自然科学に関する知識のみならず、人文科学・社会科学に関する知識にも目を向け、視野を広げることが必要となります。多ジャンルの知にアクセスすることで思考の幅を広げることにもつながるでしょう。

chapter
6

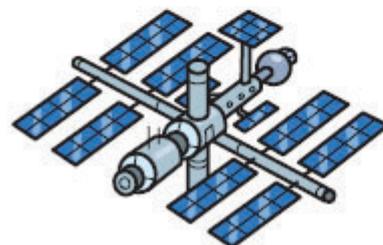
越境していく勇気を持つ。

宇宙開発には実に様々な領域の専門知が必要となります。ゆえに、異なる分野の研究者・技術者が連携して研究開発を進めてゆくケースも多々存在しています。時には勇気を持ってアウェーに乗り込み、慣れない環境に身を置いてみましょう。慣れ親しんだ環境（ホーム）を離れるには勇気が必要ですが、一見すると宇宙開発とは全く関連のない世界に豊かなヒントが内在している可能性もあるのです。「自分とは異なる発想の人たちが存在している」ということに気づくことは、多様な考えを受け入れるセンスを育むこと（他者理解）にもつながってゆくでしょう。

chapter
7

異なる分野間で生じる「摩擦」が創造性を生み出す。異分野と積極的にコラボレーションをはかる。異分野とのコラボレーションのためには、まずは自らの専門分野について深く掘り下げて学ぶ必要がある。

異なる分野の人々と接する際にはしばしば「摩擦」が生まれます。バックグラウンドが異なり研究のアプローチも異なるわけですから、それは当然のことといえます。価値観や考え方が異なる者同士の対話には時に大きな負荷がかかります。けれども、そこで生じる「摩擦」は決してネガティブなものではなく、創造性の源泉と捉えられるべきです。「摩擦」から逃げず、そこに踏みとどまり、問題解決に向けて異分野間の議論を重ねる過程で、新たなアイデアが生み出される可能性があります。ただし、「摩擦」をクリエイティビティへと飛躍させるためには、その前提として、自らの専門分野について深く学んでおくことが不可欠です。互いに浅いレベルで議論をたたかわせていても、化学反応は生じません。自らが深いレベルまで専門知を掘り下げておけば、異分野の人々と深層でつながることができるのです。



心構え
①
1
↓
26

心構え
②
27
↓
43

心構え
③
44
↓
49

心構え
④
50
↓
51

心構え
⑤
52
↓
55

心構え
⑥
56
↓
63

心構え
⑦
64
↓
70

心構え ① ↓ 26
心構え ② 27 ↓ 43
心構え ③ 44 ↓ 49
心構え ④ 50 ↓ 51
心構え ⑤ 52 ↓ 55
心構え ⑥ 56 ↓ 63
心構え ⑦ 64 ↓ 70

chapter 8 **知識はツールとして持つべきであって、拘束として持つべきではない。**

「基本姿勢」の項目7とも関連しますが、宇宙開発に関わる者にとって、広くて深い専門知を持つことが重要です。知識がなければ宇宙という強大な敵と向き合うことなどできないからです。けれども、知識を増やしてゆくことで、かえってその知識が邪魔をして、豊かな発想の創出を妨げるケースもあります。知識を持つことが「そんなことはできるわけがない」「そんなことがあるわけがない」といった先入観や固定観念の形成につながる事態は避けねばなりません。つまり、自らを縛る足かせとして知識を保有するべきではないのです。知識はあくまでも問題解決のための道具（ツール）として持つことが重要なのです。

chapter 9 **プロジェクトメンバーでカバーしきれない問題が起きた場合、その道の専門家を探す。**

宇宙開発の現場では、高度な知識・技能が求められるため、場合によってはチームのメンバーだけでは解決できない問題に遭遇する可能性もあります。他分野の専門性が必要な問題については、チーム内でいくら議論をしても答えが導き出せない場合があるのです。「下手な考え休むに似たり」という諺のとおり、チーム内で悩んでも解決できそうにない場合は、問題解決のためのヒントを与えてくれそうなその道の専門家を探し出し、助言をもらうことが得策というケースもあります。

chapter 10 **悲観的になりすぎると物事が進まない。結果、面白いことはできない。**

「基本姿勢」の項目20に示したとおり、宇宙開発においては失敗が許されないため、石橋を叩いて渡ることは重要です。けれども、「うまくいかなかったらどうしよう」と悲観的になりすぎるのは厳禁です。イノベーションを起こすためには悲観的な態度が邪魔になる場合もあるからです。面白いと思ったことに勇気を持って取り組む姿勢を保ち続けましょう。悲観主義に陥ることを戒め、「面白そう！」と感じた初発の思いを大切に育むことが何より重要なのです。

chapter
11

数多くの実体験を積む(物理には実体験のストックが必要)。

「物理学」と聞くと「難解で抽象的な数式と向き合う学問」というイメージを持っている人が多いのではないのでしょうか。非常に高度で抽象度が高いため、物理学は身体性とはあまり縁のない世界のように感じられるかもしれません。けれども、意外に思われるかもしれませんが、物理のセンスを磨くためには**実体験のストック**が必要なのです。例えば、人とぶつかって転んだ経験、ジェットコースターや飛行機に乗った経験、高いところから飛び降りた経験などなど、数多くの実体験を積んでおくことが抽象的な物理の数式と向き合う際の財産となります。ある研究者は「物理は身体で解くもの」とさえ述べています。

chapter
12

自分の頭で物事を考える。

宇宙開発に臨む者にとって、物事を自分の頭で考える習慣を身につけることは不可欠です。他人の考えに学ぶ姿勢はもちろん重要ですが、何よりもまず、「**私ならばこの問題にどう取り組むか**」という問いを起点にすることが大切です。このことは、次に紹介する「基本姿勢」の項目 13 とも深く関連します。常日頃から自分で考えるクセをつけることが、ひいては正解のない時代を生き抜く力を育むことにもつながるでしょう。

chapter
13

プロジェクトに対して当事者意識を持つ。

チームのメンバー全員が当該プロジェクトに対して「当事者意識を持っているかどうか」。この点は、プロジェクトの成否を分かつ重要なポイントといえます。各メンバーが他ならぬ「**私がやるべきプロジェクト**」だと思えていなければ、プロジェクトの士気は下がってしまいます。他人任せの人だらけのチームでは、チームのポテンシャルは発揮できないのです。では、当事者意識を持つためには何が必要なのでしょう。この問いには「立案フェーズ」における項目 33 「最上位の要求を明確に定義し、目標設定を単一に定める」が密接に関連しています。後述のとおり、プロジェクトの大目標を明確にし、各々の役割を明確化することで、チームのメンバーの当事者意識が高まってゆきます。また、チームのメンバー全員が当事者意識を持つことによりチームの結束も強まります（「チーム作り」項目 56）。

心構え
I
1
↓
26心構え
II
27
↓
43心構え
III
44
↓
49心構え
IV
50
↓
51心構え
V
52
↓
55心構え
VI
56
↓
63心構え
VII
64
↓
70

心構え
I
1
↓
26

心構え
II
27
↓
43

心構え
III
44
↓
49

心構え
IV
50
↓
51

心構え
V
52
↓
55

心構え
VI
56
↓
63

心構え
VII
64
↓
70

chapter
14

**自分にとっての当たり前が他人にとっても当たり前とは限らない。
ゆえに絶えず価値観・考え方のすり合わせを行う。**

宇宙開発においては、多様なバックグラウンドを持った人々がチームを形成し、共同開発を行う場面が多々あります。そうした場合、自分にとって当たりの価値観や考え方が他のメンバーにとっても当たり前とは限らないという事態が起こりえます。自分の専門領域に固執せず、自らのバックグラウンドに囚われないことが重要です。自分とは異なる発想の人の意見を積極的に聞く姿勢を持ちましょう。プロジェクトを進める際には、チームのメンバー同士の価値観・考え方を互いに理解し、前提を共有した上で議論を進める必要があります。この点は「チーム作り」項目57とも深く関連します。

chapter
15

**スケジュール通り進まないことは常。
何度もスケジュールを見直す。**

宇宙開発には時間がかかります。数年、場合によっては数十年かかるプロジェクトも存在するため、当初のスケジュール通りに物事が進まないことが常と言えます。現実的な状況を踏まえて、スケジュールは絶えず見直し、修正を加えながら前進することが求められます。スケジュールが遅れてしまった時、すぐに修正することが必要なのです。

chapter
16

アイデアを寝かせる時間(熟成期間)を設ける。

あるプロジェクトに取り組む際、もし可能ならば、数日間、場合によっては数週間アイデアを寝かせる期間を設けておくのが良いでしょう。もちろん、スケジュール的にそうした「空白の時間」を確保することが難しいケースも多いかもしれませんが、けれども、熟成期間を設けることで、新たな発想が湧いてきたり、アイデアの不備が浮き彫りになったりすることがあります。熟成期間を確保した余裕のあるスケジュールリングをすることが理想といえます。

chapter
17**ドキュメンテーションの必要性。従軍記者(議論の過程を記録する人)を置く。意思決定のプロセスを必ず記録に残す。**

議論のプロセスを詳細に記録することはとても重要です。ある議論がどのようなプロセスを経て結論に至ったのか、その途中経過をテキスト化すること(ドキュメンテーション)で、プロジェクトチームの思考の流れを保存することが可能になるからです。余裕があれば、**従軍記者**を置くことがおすすめです。従軍記者とは、議論の記録係。客観的な視点で議論の流れを冷静に記述することで偏りのない記録を残すことができます。一見面倒なことのようにも感じられますが、トラブルが発生した際には文書を確認することで、議論の方向性の誤りに気づくことができます。また、蓄積されたドキュメンテーションは、将来的にそのプロジェクトを振り返る際の財産になるでしょう。

chapter
18**物理や数学の知識はもちろん重要。くわえて国語力も磨くべし。**

宇宙開発に臨む者には物理や数学の基礎的知識は不可欠です。これらを身につけることなくして、宇宙という名の発展問題に取り組むことはできません。ただし、物理や数学の知識さえあれば十分というわけではなく、同時に国語力も求められます。企画書や報告書を記す際には文章力が不可欠ですし、他者の主張を正確に読み取る読解力も必要です。また、「解析フェーズ」項目55及び「リーダー論」項目70にも関連しますが、プレゼンテーション力も必須といえます。いずれにしても、宇宙開発に携わる者は折に触れて言語センスが問われるのです。

chapter
19**失敗するのが常。成功の方が稀。失敗を受け入れることが重要。**

宇宙開発の過程では、**失敗は常**。うまくいくことの方が稀という状況が続きます。前人未到の境地を目指しているわけですから、それも当然といえます。計画通り、何事もなく物事が進むことは期待できないのです。だからこそ、そこでは失敗を受け入れ、何度も立ち上がって前を向いて歩み続ける力(逆境に対ししなやかに対応する力=レジリエンス)が求められることとなります。「失敗した時にどうふるまえるか」、その芯の強さこそが問われるのです。重要なのは逆境に対してひとりで立ち向かうのではなく、チームで対峙するという姿勢です。チームのメンバーの助けがあれば、失敗や挫折によって生じるストレスへの耐性は高まるでしょう。

心構え
①
↓
26心構え
②
27
↓
43心構え
③
44
↓
49心構え
④
50
↓
51心構え
⑤
52
↓
55心構え
⑥
56
↓
63心構え
⑦
64
↓
70

chapter
20**失敗は許されない。
想定外をなくす努力をする。Think ahead**

宇宙開発には何億、何十億という膨大な開発費が投じられています。また、有人ミッションの場合、人命を左右することになるため、失敗の許されない極限状況の中でプロジェクトを進めなければなりません。ゆえに事前にありとあらゆる不測の事態を想定し、トラブルに備えて、それを回避する方法を用意しておく必要があるのです。数限りなくシミュレーションを行い、「起こりうる状況」「ありうる状況」をあらい出す姿勢、**Think ahead（前もって考える）の精神**が不可欠になります。

chapter
21**失敗はない。全てが学びのプロセス。
実験結果そのものよりも過程から学ぶべし。**

「基本姿勢」項目 19 において、失敗は常であると述べましたが、そもそも「失敗はない」という考え方も重要です。「失敗は成功のもと」という諺もあるとおり、失敗を成功のために必要なステップと見る姿勢が必要となるのです。**この世に「失敗」はなく、全てが「学びのプロセス」と捉えられるべき**なのです。失敗を文字通り「失敗」として受け取るか、学びのプロセスとして捉えるかによって、両者の間にはその後の展開において天と地ほどの差が生まれます。失敗をポジティブに捉える後者のようなマインドセットが次なるプロジェクトに向けた原動力となるのです。

chapter
22**失敗させないよう周りが手助けするのは逆効果。
責任感の欠如を招く恐れあり。
失敗も含めて自分で責任を取る経験が必要。**

我々の中には誰も失敗を避けたいという思いがあります。積極的に「失敗したい」と考えている人はいないでしょう。プロジェクトをチームで進める場合、失敗を避けるべく、先回りして他者に口出しをしてしまうケースがあります。けれどもそれは長期的に見た場合、得策といえないかもしれません。周りが手助けを行うことで、当人の責任感の欠如（「どうせ失敗しても何とかなるだろう・何とかしてもらえよう」）を招く恐れがあるからです。私たちは、**できるだけプロジェクトの規模が小さいうちに失敗を経験しておくことが重要**です。失敗を経験しないままやり過ごしてしまった場合、大きなプロジェクトで取り返しのつかないミスを犯してしまう危険性もあるからです。

chapter
23 出来合いのプログラムを使用するだけでなく、
プログラムの原理を理解しようと努める。

現在、誰でも使える出来合いのプログラムが広く流通しており、その根本原理を理解していなくても当該プログラムを使用することはできてしまいます。出来合いのプログラムは、その構造を理解せずとも、すぐに活用できるため非常に便利です。けれども、宇宙開発に臨む者には、そもそもの原理（どういう仕組みでこのプログラムが設計されているのか）を問う姿勢が不可欠といえます。「そもそも論」に立ち返って思考するセンスが確かな思考力を育むのです。

chapter
24 謙虚な姿勢が必要。宇宙に向き合っていくと人は自然に対して
謙虚にならざるを得ない。

宇宙という途方もない敵と向き合う者に求められるのは、謙虚な姿勢です。宇宙はあまりにも巨大なので、それを完全に人間の支配下に置くことは不可能といえます。「謙虚な姿勢を持つべし」と言われると、多くの人にとっては説教くさく感じられるかもしれませんが、「宇宙（自然）に対して謙虚であること」が徳目として掲げられているというよりは、宇宙開発に臨む際には、宇宙（自然）に対して**謙虚にならざるをえない**といった方が実情に近いでしょう。宇宙開発に関わる中で、人間の有限性と向き合うことで自然に対する畏敬の念が自ずと育まれてゆくのです。



心構え
I
1
↓
26

心構え
II
27
↓
43

心構え
III
44
↓
49

心構え
IV
50
↓
51

心構え
V
52
↓
55

心構え
VI
56
↓
63

心構え
VII
64
↓
70

chapter
25

**我々は先が見通せていないと努力することができない。
何に向かって努力すれば良いかを明確化する。**

我々人間は、先が見通せていない状況下では、どうしてもモチベーションを維持することができません。将来何の役に立つかわからない教科の勉強にやる気が出ないのと同様、どこに向かってプロジェクトが進んでいるのか、先のビジョンが明確でなければ、がんばる意欲が湧いてこないのは当然といえるでしょう。だからこそ、進むべき道をクリアにすることは、チームの士気を高める上で極めて重要なのです。特にリーダーはそのことを肝に銘じておく必要があります。リーダーはプロジェクトの向かう先を明確にし、「目標達成に向けて確実に前進している」と各メンバーが実感できる状態にすることが求められます。

chapter
26

木を見て森も見る。

周知の通り、「木を見て森を見ず」は、「物事の一部や細部に気を取られて、全体を見失うこと」を意味する諺です。瑣末な点にばかり目を向け、大局を捉え損ねることはあってはならないことです。けれども、宇宙開発に携わる者には、もう一段階レベルの高い姿勢が求められます。「**木を見て森も見る**」ことが必要となるのです。全体を俯瞰で捉えることと、細部に目を配ることを同時に行うことが不可欠なのです。いわば複眼的（マクロな視点とミクロな視点の同時成立）に物事を捉えられる視点。極めて高度な視座といえますが、常に心がけておきたいポイントです。



心構え
①
1
↓
26

心構え
②
27
↓
43

心構え
③
44
↓
49

心構え
④
50
↓
51

心構え
⑤
52
↓
55

心構え
⑥
56
↓
63

心構え
⑦
64
↓
70

立案フェーズで 心がけるべきこと

次に「立案フェーズで心がけるべきこと」について解説を行います。以下、詳しく説明を行いますが、宇宙開発における4つのフェーズ（立案・開発・運用・解析）のうち、「立案フェーズ」は特に重要です。「立案フェーズ」を疎かにした状態ではプロジェクトを前に進めることは不可能といえます。

chapter 27

**面白いと思ったらやってみる
（最初の段階では、実現可能性は考えなくてもよい）。**

立案フェーズで大切なこと、それは「面白いと思ったらやってみること」です。そのアイデアが実現可能かどうかはいったん脇へ置いておき、まずは自分が面白いと思ったこと＝興味のタネを大切に育てることが重要といえます。興味のタネはその都度ノートなどに書き留めておくと良いでしょう。

chapter 28

**課題に対してしつこく取り組む。質は問わず提案し続ける。
突拍子もない発想も含めて数多くのアイデアを出す。**

立案フェーズで重要なのは、質より量。様々な角度から数多くのアイデアを並べてみるのが大切です。「立案フェーズ」項目27とも関連しますが、最初の段階で実現可能性は考えなくても良いです。一見突拍子もないと感じられるようなアイデアのタネが、イノベーションを生み出すトリガーとなる可能性もあります。

chapter 29

**文献研究を行う（先行研究のレビュー）。既に何ができていて、
何がわかっていないのか、事前調査を行う。**

宇宙開発に限らず、あらゆる研究活動において先行研究のレビューは重要です。これから取り組むテーマについて、何がどこまで明らかになっているのかを明確にしておくことが研究開発の第一歩となります。インターネットの論文検索エンジンなどを活用して、当該テーマに関する研究状況の把握に努めましょう。地道な作業ですが、先行研究のレビューなくして、研究活動は成立しないとさえいえます。

心構え
I
↓
26

心構え
II
27
↓
43

心構え
III
44
↓
49

心構え
IV
50
↓
51

心構え
V
52
↓
55

心構え
VI
56
↓
63

心構え
VII
64
↓
70

心構え I ↓ 26
心構え II 27 ↓ 43
心構え III 44 ↓ 49
心構え IV 50 ↓ 51
心構え V 52 ↓ 55
心構え VI 56 ↓ 63
心構え VII 64 ↓ 70

chapter
30 先行研究を鵜呑みにしない。

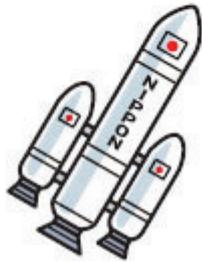
「立案フェーズ」項目 29 において、先行研究に対するレビューの必要性について解説しました。先行研究をおさえておくことの重要性はいくら強調してもしすぎることはないでしょう。けれども、同時に先行研究の結果を鵜呑みにしないことが大切です。先行研究に敬意を払いつつも、「先行研究の結果は本当に正しいのか」「先行研究が見落としている点はないか」と批判的に思考することが求められるのです。

chapter
31 過去の事例をもとにコスト見積りを行う。

「立案フェーズ」においてコストの見積もりは不可欠です。何にいくらお金がかかるのか、おおよその見通しを立てるためには、過去の事例を参照することが近道となります。当該プロジェクトと同様のプロジェクトの見積書、請求書などを入手し、コストを予測しましょう。コスト見積もりが不十分な状態では、そもそも当該プロジェクトが実現可能かを判断することが難しくなってしまいます。

chapter
32 競争相手の開発段階をおさえる。

当該プロジェクトと同様の内容で研究開発を行っている競争相手がいる場合は、可能な限り、ライバルの開発段階を押さえておくことも重要です。競争相手に先を越されることはないか、アイデアが似ていないかなど、できる範囲で情報収集を行いましょう。



chapter
33

最上位の要求を明確に定義し、目標設定を単一に定める。

「立案フェーズ」で最も重要なのが、**最上位の要求を明確に定義し、目標設定を単一に定めること**です。最上位の目標が定めれば、そこに向かってチームを一つにまとめることができます。目標が複数存在してしまうと、プロジェクトの方向性がブレてしまう可能性があり、場合によってはプロジェクトが開発途中で空中分解してしまう恐れもあります。最上位の要求は、より多くの人共感することができ、多くの人重要だと考えるものでなければなりません。「リーダー論」の Kategorie で詳しく紹介しますが、リーダーはこの最上位の要求を誰よりも深く理解している必要があります。

chapter
34

全体像(地図)をもとに個別事項を理解する。

「立案フェーズ」では、プロジェクトの全体像を明確に示すことが重要です。「基本姿勢」の項目 26 とも関連しますが、プロジェクトにとっての「森」をクリアにした上で、個々の「木々」を把握するという方向性(全体から個別へ)を遵守することで、プロジェクトメンバーに確かな指針が与えられることになります。全体像(地図)が与えられていれば、道に迷うことなく、個々の作業に取り組むことができるのです。

chapter
35

目標に優先順位をつける。

1つのプロジェクトには、達成すべき目標が複数存在しているのが常です。それら全ての目標が達成できればベストなのですが、場合によってはいくつかの目標達成を諦めざるを得ない状況に陥ることもあります。そうした場合を見据え、あらかじめ目標に優先順位をつけておくことが重要です。「必ず達成すべき目標」、「できれば達成したい目標」などといった具合に、重要度順に目標を並べてみると良いでしょう。この点は後述の「開発フェーズ」項目 47 とも関連します。

心構え
I
1
↓
26

心構え
II
27
↓
43

心構え
III
44
↓
49

心構え
IV
50
↓
51

心構え
V
52
↓
55

心構え
VI
56
↓
63

心構え
VII
64
↓
70

心構え
I
↓
26

心構え
II
27
↓
43

心構え
III
44
↓
49

心構え
IV
50
↓
51

心構え
V
52
↓
55

心構え
VI
56
↓
63

心構え
VII
64
↓
70

chapter
36

目標を達成するための理路を明確に提示する。できるだけ具体的な計画を立てる。大目標を達成するための小目標を詳細に打ち立てる。マイルストーンの設定。それぞれの人、それぞれの専門に基づいて大目標を実現するための小目標をクリアしていく。

大きな目標を達成するためには、それを達成するための確かな道筋（具体的な計画）を立てておく必要があります。大目標を一息に達成することは難しいので、小目標を詳細に打ち立て、スモールステップで近づいてゆくのです。**プロジェクトのマイルストーン（中間目標地点）を設定**することで、複雑な過程が整理され、円滑に計画を進めることができます。

chapter
37

問いを立て、一番の難所を見抜く。

「立案フェーズ」では、プロジェクトを進行してゆく上での**最難関ポイント**をあらかじめ見極めておく必要があります。そこさえ突破すれば、プロジェクトはうまくいくともいえる最大の山場を特定しておくことが重要です（ただし、そうしたポイントを見極めるためには知識と経験が必要です）。最難関ポイントを見極めた上で、チームで力を合わせてその峠を超えるための策を練っていきましょう。もしも、最難関ポイントを突破する策が見出せなければ、計画自体の見直しが必要になってくるかもしれません。

chapter
38

目標に対する成果を3段階（ミニマムサクセス、ミドルサクセス、フルサクセス）で設定する。

プロジェクトの目標は3段階で設定しておくことが望ましいです。計画通り全てうまくいった場合はフルサクセス。おおよそうまく行った場合はミドルサクセス。最低限の目標のみ達成した場合はミニマムサクセス。もちろん、フルサクセスに向けてプロジェクトを遂行してゆくわけですが、立案段階では、予定通りプロジェクトが進まなかった場合を想定し、あらかじめ3つのレベルの成果を設定しておくとうまいでしょう。

chapter
39 必ずバックアッププランを用意する。

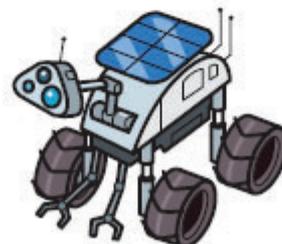
立案段階では、場合によっては目標達成に向けて複数の筋道を用意しておくことが望ましいです。プランAだけでなくプランB、プランCを立てておくということです。これをバックアッププランと呼びます。バックアッププランを準備しておけば、開発の過程でたとえプランAが挫折しても、他のプランを試すことが可能となります。一つの計画がうまくいかなかった場合の保険を用意しておきましょう。

chapter
40 立案段階で運用・解析フェーズの見通しを立てる。

立案段階では、「開発フェーズ」の計画だけでなく、「運用フェーズ」および「解析フェーズ」における計画も練っておく必要があります。最終的に、「限られた人しか運用できない状態」、あるいは「限られた人だけしかデータが解析できない状態」を招いてしまえば、せっかく収集した情報が「死せるデータの山」になってしまう可能性もあるからです。より多くの人々が運用・解析に携わることができるよう、立案段階で計画を練っておくことが不可欠です。

chapter
41 拘束条件の中で、実現可能な解を見つける。

宇宙開発には膨大な予算が必要になります。けれども、当然ながら開発費は無限に使用できるわけではありません。また、期限が設けられているため、タイトなスケジュールの中でプロジェクトを進めてゆかねばなりません。その他、さまざまな拘束条件が存在する中で、実現可能な解を見つけ出してゆくことが求められることとなります。この点は「開発フェーズ」項目46、47とも深く関連します。



心構え
I
1
26

心構え
II
27
43

心構え
III
44
49

心構え
IV
50
51

心構え
V
52
55

心構え
VI
56
63

心構え
VII
64
70

chapter
42

**自分の身の丈を知る
(自分にできること・できないことを明確化する)。**

立案段階では、自分の身の丈を知っておくことも重要です。たとえ壮大な計画を立てたとしても、もしその計画が自分の実力に見合ったものでなければ、絵に描いた餅になってしまいます。今の自分にできることは何か。どこまでならできるのかを明確にすることが大切です。「己を知ること」(自己認識)が必要になってくるわけです。今の自分で頑張ることができる、少し上のレベルの目標を掲げるのがベスト。立案段階では適切な目標を設定することが求められます。



chapter
43

**自分がやりたいこととチームとしてやるべきことは一致しない
可能性は高い。チームで折り合いをつける。**

宇宙開発におけるプロジェクトは規模が大きいため、自分一人の力で遂行することはできません。つまり、チームでプロジェクトを進めていくことが前提となるのですが、「自分がやりたいこと」と「チームがやるべきこと」が一致しないケースも存在します。そのため、立案段階ではチーム内で折り合いをつけることが極めて重要となり、その場合は後述の「リーダー論」でみていくとおり、プロジェクトリーダーの役割が大きくなります。プロジェクトの成功を第一に考え、時に妥協しながら、現実と折り合いをつけつつ前に進んでいくことが必要となります。

心構え

①

↓
26

心構え

②

27
↓
43

心構え

③

44
↓
49

心構え

④

50
↓
51

心構え

⑤

52
↓
55

心構え

⑥

56
↓
63

心構え

⑦

64
↓
70

開発フェーズで 心がけるべきこと

次に「開発フェーズで心がけるべきこと」について解説を行います。「立案フェーズ」で打ち立てた計画に沿って研究開発を進める過程で、注意すべきポイントを見ていくことにしましょう。

chapter

44

開発段階での急な設計変更は設計の過誤と品質低下を招きやすい。開発段階での設計変更は避ける。

開発段階で「欲を出す」ことは控えた方が良いでしょう。開発段階において「もっとこうの方がいい」「もっと性能を良くしたい」と、立案段階で立てた設計を変更したいという感情が沸き起こってくる場合があります。ただし、機能面・要求面で急に設計を変えてしまうと、コストやスケジュールが大きく変わってしまう可能性があり、結果的に設計の過誤と品質低下を招くことにつながってしまいます。また、急な設計変更により、「見落とし」が生じる危険性もあります。開発段階では淡々と計画を進めることが重要といえます。

chapter

45

スケジュールが遅延するとチームのモチベーションが下がる。スケジュールをできる限り守る。

宇宙開発において、スケジュールの管理は当然重要ですが、スケジュールの遅延は当該プロジェクトに対し大きな副作用をもたらします。期日通りにプロジェクトが進行しなければ、チームのモチベーションが下がってしまうのです。場合によっては「〇〇さんのせいでスケジュールが遅れている」といった具体的に、遅延を招いているメンバーに対してネガティブな感情が生まれ、結果、チームの雰囲気が悪くなってしまうことがあります。開発が遅延している時こそチームの関係性が問われ、日頃のチーム作りが大切になってくるのです（後述の「チーム作り」参照）。

心構え

I

1
↓
26

心構え

II

27
↓
43

心構え

III

44
↓
49

心構え

IV

50
↓
51

心構え

V

52
↓
55

心構え

VI

56
↓
63

心構え

VII

64
↓
70

chapter
46

妥協も必要。

研究開発の過程では「もっといい性能」「もっといい品質」を追求したい気持ちが湧いてくるのが常です。けれども、立案時に決めたレベルをクリアしていたら、それ以上のレベルは追求しないという判断も状況次第では求められます。つまり、場合によっては**妥協も必要**だということです。より良いものを追求する姿勢はもちろん大切ではありますが、それを追求するあまり、スケジュールの遅延や予算オーバーを招くことはあってはならないことです。一定の水準をクリアしていれば、期限を守ること、予算の範囲内で進めることの方を優先すべきといえます。

心構え
I
↓
26

chapter
47

捨てる勇気を持つ。あれもこれもは不可能。
トレードオフが生じた場合、ともかくも対話を重ねる。

宇宙開発においてはしばしばトレードオフが生じます。トレードオフとは、何かを達成するためには別のものを犠牲にせざるをえない関係のこと。あれもこれも達成することはできないため、「捨てる勇気」も必要になります。全員が納得する落とし所を見つけるのは困難ではありますが、チーム内で対話を重ね、何を優先させるべきか、徹底して議論を行うことが求められます。議論をまとめる際にはリーダーの役割も極めて重要になります（「リーダー論」項目 68、69 参照）。

心構え
II
27
↓
43

心構え
III
44
↓
49

心構え
IV
50
↓
51

心構え
V
52
↓
55

心構え
VI
56
↓
63

心構え
VII
64
↓
70



chapter
48

**見たくないものを見る勇氣。見たくないものは見えなくなる。
バイアスがかかっていないか、絶えず批判的思考を繰り返す。**

開発を進める過程では、当然、「うまく行ってほしい」「成功してほしい」という願いが生じます。ただし、その思いが強くなりすぎると、アイデアの修正が必要になってくるようなデータが視界に入ってこなくなり、ニュートラルにものが見えなくなってしまう危険性があります。バイアスがかかった状態でプロジェクトを進めてしまうと、結果的に大きな失敗を招いてしまう恐れもあり、注意が必要です。必要に応じてプロジェクトのメンバー以外の協力者にデータを見てもらうことにより、客観的な視点を確保することが大切です。

chapter
49

**宇宙開発においては「運」もある。どこかで割り切らなければならぬ。思い切りも必要。人事を尽くして天命を待つ。
「運」を掴むためには経験と知識が必要。**

宇宙開発においては「運」の要素も確かに存在しているといえます。「基本姿勢」の項目 20 で示した通り、第一線で活躍している研究者・技術者は日々、Think ahead の精神で、研究開発に取り組んでいるわけですが、それでも予期することのできない「想定外」に遭遇します。最終的に、プロジェクトの成否が「運」に左右されることもあるのです。人事を尽くして天命を待つ。最善の努力を尽くした後は、思い切りも必要です。ただし、運をつかむためには経験と知識が必要で、地道な準備が求められるのです。



心構え
I
1
↓
26

心構え
II
27
↓
43

心構え
III
44
↓
49

心構え
IV
50
↓
51

心構え
V
52
↓
55

心構え
VI
56
↓
63

心構え
VII
64
↓
70

運用フェーズで 心がけるべきこと

次に「運用フェーズで心がけるべきこと」について解説を行います。
「運用フェーズ」で心がけるべきは次の2項目です。

chapter 50

憶測ではなく、正確に事象を捉える。想像力が必要。

「運用フェーズ」では、事象を正確に捉えることが重要です。運用段階で何かトラブルが生じた場合、何が起きているのかを**憶測で判断するのではなく**、ともかくも一つ一つ状況を確認し、事態の全体像を捉えてゆくことが大切です。宇宙空間に打ち上げられた対象の場合、実際に目で見て問題箇所を確認することはできません。手元におりてきたさまざまなデータ（数値）から、状況をつぶさに想像して問題解決を図ってゆく力が求められるわけです。この意味において**想像力は不可欠**といえます。

chapter 51

スムーズな運用のためには入念なりハーサルが必要。

「運用フェーズ」では徹底した準備が求められます。「基本姿勢」の項目20とも関連しますが、運用に向けた準備段階では、何が起るかをあらかじめ想定し、「こういう状況になったら、このように対処する」というif-thenルールを用意しておく必要があります。あらゆる事態を想像し、入念なりハーサルを行った上で、事前に適切な策を講じておくことが求められるのです。



心構え
I
↓
26

心構え
II
↓
27
↓
43

心構え
III
↓
44
↓
49

心構え
IV
50
↓
51

心構え
V
↓
52
↓
55

心構え
VI
↓
56
↓
63

心構え
VII
↓
64
↓
70

解析フェーズで 心がけるべきこと

次に「解析フェーズで心がけるべきこと」について解説を行います。
「解析フェーズ」で求められるのは4つの項目です。

chapter
52

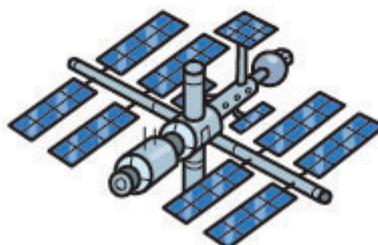
**当初の目的が果たせているかを検証する
(ミニマムサクセス、ミドルサクセス、フルサクセス)。**

「解析フェーズ」においては、第一に、立案段階で掲げた目的が達成されたかどうかを詳細に検討してゆくことが重要です。「立案フェーズ」で見据えた3段階の成果（「立案フェーズ」項目38）に照らして、本プロジェクトがどの程度の成果を打ち出すことができたかを分析する必要があります。

chapter
53

**データを生で見る。立案段階の仮説に囚われず、
様々な角度からデータを分析する。**

「立案フェーズ」項目40で示した通り、「立案フェーズ」で打ち立てた計画に基づいて、データの解析を行なってゆくこととなります。けれども、ここで重要になるのが、**データを生で見ること**。「立案フェーズ」での計画にとらわれず、色々な角度からデータを分析する姿勢です。先入観を排し、データを生で見ることで、立案段階では想定していなかった新たな発見がもたらされる可能性があります。



心構え

I

1

26

心構え

II

27

43

心構え

III

44

49

心構え

IV

50

51

心構え

V

52

55

心構え

VI

56

63

心構え

VII

64

70

chapter
54

**想定外の結果が出ても嘆く必要はない。
そこから新たな発見が得られる可能性がある。**

「解析フェーズ」項目 53 とも関連しますが、立案段階での見立てとは異なるデータが出ることは、決してネガティブなことばかりではなく、むしろそこに新たな発見の可能性が眠っている場合もあります。見立てと異なるデータが得られたということは、計画段階では見落としていた事象の生起を意味するわけですが、そうした事態（意外性）と向き合う中で、新たな創造的な問いが生まれることもあるのです。



chapter
55

**成果を発表するためのプレゼンテーション力が重要。
難しい内容をわかりやすく噛み砕いて伝えることも必要。
誇張と省略。**

データの解析結果に基づく成果発表の段階においては、プレゼンテーション力も不可欠です。より多くの人にわかりやすくプロジェクトの成果を伝えるためにも、難解な内容をわかりやすく明快に伝える工夫が必要になります。「リーダー論」項目 70 とも関連しますが、ここではリーダーの発信力も問われることになるでしょう。

心構え
I
↓
26

心構え
II
27
↓
43

心構え
III
44
↓
49

心構え
IV
50
↓
51

心構え
V
52
↓
55

心構え
VI
56
↓
63

心構え
VII
64
↓
70

チーム作りの際に 心がけるべきこと

次に「チーム作りの際に心がけるべきこと」について解説を行います。先にも述べたとおり、宇宙開発においては、基本的にチームでミッションに取り組むことが求められます。プロジェクトを円滑に進めるためにもチーム作り(チームビルディング)は不可欠といえます。以下、それぞれの項目について見ていくことにしましょう。

chapter 56

**ミッションサクセスという大きな目標がチームをまとめる。
大目標を各メンバーが共有していれば、組織はまとまる。**

チーム作りにおいて最も重要なのは、プロジェクトの大目標をチームのメンバーが深く理解し、共有することです。大がかりなプロジェクトになればなるほど、確固たる大目標の存在が不可欠となります。一つの大きな目標に向かってゆくことで、チームは自ずとまとまってゆくでしょう。もしメンバー間で大目標が共有できていなければ、プロジェクトの進行途中で組織が空中分解してしまう危険性もあります。

chapter 57

**チームのメンバーの関心事に興味をもつ。
互いのバックグラウンドに敬意を払う。相手の立場を想像する。**

チーム作りにおいては、それぞれのメンバーが「何に関心を持っているか」に目を向けることが大切です。また、それぞれのメンバーがどんな背景を持っているのか、お互いのバックグラウンドに敬意を払い、各メンバーの立場を理解し合うことが必要になります。

chapter 58

**物理的に場を共有し、
face to face でコミュニケーションをとる。**

コロナ禍において、人と人が顔を合わせて議論する機会は激減していますが、プロジェクトを進める上では、チームのメンバーが同じ場を共有し、face to faceでコミュニケーションをとることが極めて重要となります。合宿形式で同じ部屋でチームのメンバーと交流を図ることも有効です。

心構え
I
↓
26

心構え
II
27
↓
43

心構え
III
44
↓
49

心構え
IV
50
↓
51

心構え
V
52
↓
55

心構え
VI
56
↓
63

心構え
VII
64
↓
70

心構え
①
↓
26

心構え
②
27
↓
43

心構え
③
44
↓
49

心構え
④
50
↓
51

心構え
⑤
52
↓
55

心構え
⑥
56
↓
63

心構え
⑦
64
↓
70

chapter
59

リーダーとリスク管理をする人間を分ける。

「開発フェーズ」項目 48 とも関連しますが、プロジェクトを進めていく上で、チームの中で「もっと良い性能のものを作りたい」という思いが大きくなる場合があります。そうした欲望が増大すると、リスク管理が甘くなる可能性が高くなります。とりわけ、リーダーが「もっと良い性能のものを」という思いに駆り立てられてしまうと、冷静な判断を下すことが難しくなってしまいます。そうした状況を避けるべく、リーダーとリスク管理を行う人間を分けることで、常に冷静な立場で事態を捉える人を設けておく工夫も必要になります。

chapter
60

どうしても合わない人がいる場合は、できるだけ接点を持たないように物理的に作業を離す。

プロジェクトを進めていく上で、チーム内でどうしても相性の悪い人がいるケースもあるでしょう。最も重要なのは、プロジェクトを円滑に進めてゆくことなので、その妨げになる要素（チームワークの欠如など）は取り除く必要があります。相性が悪い人同士は、無理に仲良く作業を進める必要はなく、互いにできるだけ接点を持たなくて済むよう、別の作業に従事させるのが良いでしょう。

chapter
61

問題を一人で抱え込まない。

何かトラブルが生じた場合は、一人で問題を抱え込まないことが重要です。換言すれば、一人で問題を抱えずに、誰かに気軽に相談できるようなチームの雰囲気づくりが求められるということです。どこでどのような問題が生じているかをチームで共有できていなければ、結果的にスケジュールの遅延につながる可能性が高くなるからです。チームのメンバーが問題を抱え込まなくても済むよう、常日頃からメンバー間でコミュニケーションをとっておくことが大切になります。

chapter
62 適度な貧乏が創造性を生む。

意外なことに、宇宙開発においてはプロジェクトを進めてゆく上で、予算があり余っている状態だとかえって人任せの状態が生じてしまい、創造性が生まれにくいとも言われています。「適度に貧乏な状態」の方が自分の頭で考えて、チームが結束し、皆で努力する場が形成されるというのです。貧乏であることがプロジェクトの足かせになるどころか、むしろクリエイティビティの発動につながるという実に不思議な事態が生じます。もちろん、全く予算がなければプロジェクトを進めることはできませんので、「適度な貧乏」という点がミソです。



chapter
63 フリーライダーに責任を持たせる。

プロジェクトを進めていく上では、フリーライダー（対価を支払わずに利益だけを得る人＝タダ乗り）の発生を阻止する必要があります。その発生を防ぐためにも、フリーライダーに一定の責任を持たせ、プロジェクトに主体的に関わらざるを得ない状況を作ることが重要になります。人は仕事を任されると成長することもあるため、多少の失敗をしたとしても、フリーライダーには仕事を任せることが肝要です。

心構え
I
↓
26

心構え
II
27
↓
43

心構え
III
44
↓
49

心構え
IV
50
↓
51

心構え
V
52
↓
55

心構え
VI
56
↓
63

心構え
VII
64
↓
70



プロジェクトのリーダーが 心がけるべきこと



次に「プロジェクトのリーダーが心がけるべきこと」について解説を行います。プロジェクトの成否はリーダーが握っているといっても過言ではなく、宇宙開発においてリーダーの存在は極めて大きいといえます。以下、リーダーに求められる多種多様な心構えの内実を見ていきましょう。

心構え

①

↓
26

心構え

②

27
↓
43

心構え

③

44
↓
49

心構え

④

50
↓
51

心構え

⑤

52
↓
55

心構え

⑥

56
↓
63

心構え

⑦

64
↓
70

chapter 64

**ミッションは人である。
強力でグループを引っ張っていく存在が必要。**

宇宙開発の現場においては「ミッションは人である」ということがよくいわれます。「この人がいなかったら、このミッションについて語る人可以る人はいないのではないか」といえるほどの人物がいると、そのプロジェクトは確かな足取りで前進します。つまり、最初にミッションありきで、事後的に（後づけで）リーダーが決められる場合よりも、リーダーが強力でグループを引っ張っていくミッションの方がうまくいくと考えられているのです。魅力のないリーダーのもとには優秀な人材が集まらなるとさえ言われています。

chapter 65

リーダーは誠実であれ。高潔さ(Integrity)が必要。

リーダーには誠実さが求められます。そして、誰よりも努力し、チームのメンバーから信頼される人物でなければなりません。チームのメンバーに命令するだけでよいと考えている人はリーダーとして不適格といえます。



chapter
66 責任を取る決断を下し、任せるところはメンバーに任せる。
コアメンバーとの信頼関係を築く。

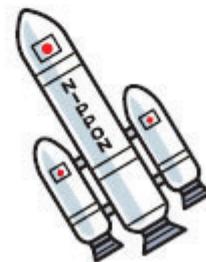
「基本姿勢」項目 20 で触れた通り、宇宙開発は失敗が許されないミッションばかりなのですが、そうした極限状況において、リーダーにはプロジェクトの最終的な責任を取る覚悟が求められます。とはいえ、全てをリーダー一人で掌握しようとするのではなく、任せべきところはメンバーに任せ、自由を与えることも必要です。もちろん、メンバーにある役割を任せるためには、チームのコアメンバーと信頼関係を築いておくことが不可欠となります。

chapter
67 トップの熱量は周囲に伝播する。

リーダーの意気込みは周囲に伝染するといわれています。熱量の高いリーダーは概して自分自身が最も楽しそうにミッションに関わっているケースが多いです。リーダーが当該プロジェクトの面白さを誰よりも理解し、楽しみながらこれに関わることができれば、チームのメンバーのモチベーションも自ずと上がってゆくでしょう。

chapter
68 リーダーには聞く力・包容力が必要。自分と異なるアイデアを尊重し、メンバーが自由に発言できる雰囲気を作る。

リーダーは自らがやりたいことをチームのメンバーに押しつけるのではなく、メンバーの声に耳を傾け、意見を聴取することが重要です。もちろん、メンバーの意見全てを採用することはできませんが、ともかくも自分と異なるアイデア・考え方を尊重し、メンバーが遠慮なく発言できるような心理的な場づくり（心理的安全性 psychological safety の形成）が求められます。



心構え
I
1
26

心構え
II
27
43

心構え
III
44
49

心構え
IV
50
51

心構え
V
52
55

心構え
VI
56
63

心構え
VII
64
70

心構え
I
1
↓
26

心構え
II
27
↓
43

心構え
III
44
↓
49

心構え
IV
50
↓
51

心構え
V
52
↓
55

心構え
VI
56
↓
63

心構え
VII
64
↓
70

chapter
69

リーダーには調整が求められる。落穂拾い。分担の隙間を埋め合わせる。必要に応じて謝ることができるのが良いリーダー。

「リーダー論」項目 68 で、リーダーには聞く力・包容力が必要だと書きましたが、ただ、相手の言っていることを漫然と聞くのではなく、リーダーにはインターフェースの調整に必要なレベルで情報を理解する力が求められます。そうでなければ、深いレベルでの調整を行うことができないからです。適宜チームのメンバー間の調整を行い、必要に応じて間を取り持ち、時に謝ることができるのが良きリーダーといえます。

chapter
70

リーダーには外に向かって発信する力が必要。

リーダーにはプロジェクトの内容を多くの人たちに伝えてゆくための発信力が求められます。つまり、プロジェクトのゴールを誰よりも理解し、分かりやすく成果を伝えてゆくためのプレゼンテーション力が不可欠となります。ときには専門的な内容を素人でも理解できるように解説することが求められ、必要に応じて難解な内容を省略したり、ドラマチックに伝えたりする力が必要となります。

