

## Education of the Space age to open up the Future

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2020-08-06 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 高橋, 典嗣 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://mu.repo.nii.ac.jp/records/1333">https://mu.repo.nii.ac.jp/records/1333</a>

# 未来を拓く宇宙時代の教育

高橋 典嗣

武蔵野大学教育学部

## Education of the Space age to open up the Future

Noritsugu TAKAHASHI

### Abstract

In order to think about education in the space age, first, as space education literacy in the space age, consider the effects on the special environment of space and the human body. Next, about astronomical education in the space age, which can be seen from the current state of space. And we will show the process of accepting the asteroid explorer "Hayabusa" into society. From these, I have high expectations for education in the space age that will open up the future.

Key Words: 宇宙時代、宇宙特殊環境、宇宙観、小惑星探査機「はやぶさ」

## 1 はじめに

宇宙開発には、科学研究、技術開発、生活や安全のための利用、産業の振興と様々な目的があり、これらは人類の生活に貢献している。また宇宙空間は有人宇宙活動の進展により、新たな人類の活動の拠点となりつつある。

こうした宇宙科学技術の開発には、莫大な予算と多大なリスクが伴うため、国としての理念を明確にし、産学官の連携が要求される。我が国の宇宙開発では、2003年10月に宇宙科学研究所、航空宇宙技術研究所、宇宙開発事業団の3機関を統合し、宇宙航空開発研究機構(JAXA)が発足した。しかし、宇宙開発先進国に比べて宇宙産業の規模は小さく、国際協力に欠け、総合的な実力に欠ける。そこで、宇宙政策を国家戦略<sup>1,2)</sup>に位置付け、宇宙開発と利用が外交ツールとし、それを支える宇宙産業力の強化を目指して、宇宙基本法が2008年8月24日から施行されている。宇宙開発は、単に先端技術の開発と言った将来展望のための投資でなく、豊かで安全な持続可能な未来社会を実現する明確な将来展望を構築、実現していく必要がある。

そのための長期計画、展望するために不可欠かつ

重要なのは、宇宙時代の教育を考えることである。宇宙時代に生きていく、宇宙時代を拓く子どもたちの教育では、宇宙をどう取り扱っていけばよいのか、未来を拓く宇宙時代の教育を展望してみることにする。

## 2 宇宙時代

### (1) 宇宙時代の認識

天文学・物理学における「宇宙」とは、地球の大気圏の外側の空間で地上から100kmを越え、観測可能な空間と定義する。この空間、宇宙での人類の活動は、1957年のスプートニク1号による世界初の人工衛星打ち上げ成功、続いて1961年のボストーク1号による初の有人宇宙飛行、アポロ計画による有人月面探査、スペースシャトルや国際宇宙ステーションと様々な目覚ましいミッションが宇宙空間で展開され、現在も進展している。この結果、宇宙での研究と開発は現代の人類の生活インフラには欠かせない位置づけとなっている。学校教育では、こうした背景に応えるように有人の宇宙活動や科学衛星による太陽系惑星探査の成果が教科書に掲載されているので、宇宙時代の教育は既に始まっている

表1 宇宙時代の5つのステージ

宇宙時代	指標
第1ステージ 現在	人類の生活や経済活動の基盤は、地球を周回する衛星により通信技術やGPS等の宇宙技術に依存している。そして、有人による宇宙での研究的な活動が始まり、宇宙空間での長期滞在や研究開発に取り組み、宇宙空間での人類活動の基礎技術を構築、有人宇宙活動の可能性が広がり、実現しつつある段階にある。
第2ステージ 現在～近い将来	NASAやEUの宇宙計画によると、近い将来に再び有人による月面探査を再開し、有人による火星探査計画が具体的に示されている。これらの計画が実現した時代には、人類の生活の基盤は現在同様に地球上にあるが、太陽系惑星空間での有人ミッションが頻繁に行われ、教育内容や生活においても宇宙に関する事象が多く取り入れられる。地球を周回したり月への宇宙旅行も現実化している。
第3ステージ 長期計画内	月面基地や火星基地をベースとして一定期間地球以外の天体に居住しながら活動する計画も検討されている。このように地球以外の月や火星などの天体にベース基地が作られ、居住空間に一定期間滞在して有人宇宙活動が実現する段階である。
第4ステージ SFで描かれている宇宙	人類が地球以外の天体に移住、または宇宙空間で生活する段階。地球とは独立した天体や宇宙ステーションなどのコロニーで人類が生活する段階である。
第5ステージ SF/SFで描かれている宇宙	宇宙空間をどこでも移動でき、地球以外の惑星や天体に居住している。

と捉えることができる。

しかし、大学生に「現在は宇宙時代ですか」と問うと、自信を持って宇宙時代ですと挙手する学生は1割に満たなかった。また小学生の将来になりたい職業として「宇宙飛行士」と答える児童も稀少である。これでは、本当に宇宙時代なのかとの疑問が生じる。

### (2) 宇宙時代・5つのステージ

宇宙時代とは、「宇宙空間で人類が活動する時代」と定義し、表1の5つのステージ<sup>3)</sup>に区分した。現在計画されている将来の宇宙開発の進展とSF (Science Fiction) で表現されている宇宙も含めることにした。多くの学生が思い描く宇宙時代のイメージがステージ3～5であったことから、活動領域は図1のように地球近傍から宇宙の果てまでの全ての領域とした。学生が思い描く宇宙時代のイメージが何に起因しているかを尋ねると、星の王子様、銀河鉄道の夜、銀河鉄道999、宇宙兄弟、スタートレック、スターウォーズなどの物語や映画、漫画を挙げていた。多くの学生は、これらのSFで表現されている描写を現実の宇宙開発によって実現された成果とを比較することにより、宇宙時代を否定してしまい、宇宙時代はこれからだというイメージを構築していると推察される。

宇宙時代は、「宇宙空間で人類が活動する時代」と定義しているので、現在は第1ステージから第2ステージに変遷する大事な移行期にあたる。

宇宙に関する科学技術はまだ挑戦的領域であるが、宇宙は夢や憧れの対象で宇宙時代はこれからで

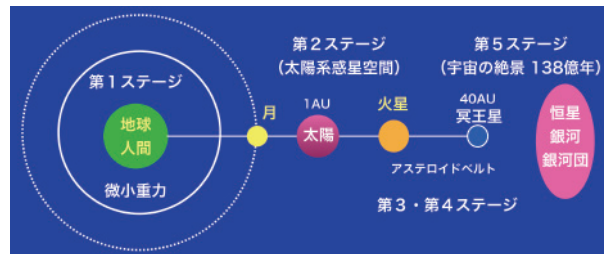


図1 宇宙時代の5つのステージ

あるという考えを解消し、宇宙時代のステージをさらに高め、宇宙科学の開発を牽引していくフロンティアスピリットを持った人材を多く育てていかなくてはいけない。

現実と学生の宇宙時代のイメージの格差を埋めるためには、教育での宇宙の扱い方が重要となる。

### 3 宇宙時代の教育・宇宙リテラシー

現在の教育現場、小学校から高等学校までの学校教育では、宇宙空間がどのような物理環境なのか、またこの空間で活動する宇宙飛行士の人体への影響などについては、ほとんど扱われていない。宇宙時代の教育では、宇宙で活動する人間を取り巻く宇宙環境を扱うとは必修で、宇宙リテラシーを構築して宇宙空間の環境について社会で共有することが宇宙時代では重要な鍵となると考えられる。

そこで、宇宙時代の教育で取り扱われるであろう、宇宙リテラシー構築の背景となる宇宙空間での人類の活動を教材化していくための基本となる事象をまとめてみる。

宇宙空間で人間が活動するためには、地球(地上)とは異なる微少重力という特集環境下に置かれるこ

となる。特殊環境と特殊環境で活動する人間の人体への影響、同時に ISS (国際宇宙ステーション) のような閉鎖隔離された空間で長期滞在することによる人間の心身に及ぼす影響、身体的ストレスや宇宙飛行士になるための条件などについて考えてみる。

### (1) 宇宙の物理的環境

地球周回軌道上<sup>4)</sup>の宇宙空間では、 $10^{-6} G$  ( $\mu G$ ) の微小重力状態という特殊環境となる。この空間で生活するには、微小重力により地上とは顕著な違いが物理・科学現象などに現れ、生理機能<sup>5)</sup>にも影響する。また、地球大気圏外での特殊環境は太陽に温度環境が左右され、宇宙船内外の活動では、太陽フレア爆発や CME といった太陽活動現象の影響を直接受ける。さらに、宇宙放射線 ( $\alpha$  線、 $\beta$  線) や陽子、重粒子などの荷電粒子、太陽風、太陽宇宙線、高エネルギー銀河宇宙線にさらされる。

### (2) 宇宙放射線から人の活動を守る

宇宙で人が活動するために克服しなければいけない地上とは異なる宇宙環境の内、人が活動する飛翔体の外、宇宙空間では宇宙放射線にさらされることになる。宇宙放射線と人体に関する事象の概要を示しておく。

#### ① 宇宙放射線の各種成分と生体への影響

宇宙空間で活動する宇宙飛行士は、宇宙放射線にさらされることになる。宇宙放射線による被曝線量は、有人宇宙活動でのミッションが長期にわたると 50mSv 以上になる。地上での年間自然被曝による放射線量は約 1.1mSv、胃の X 線集団検診による 1 回の被曝放射線量は 4 mSv 程度で、地上で年間 50mSv 以上被曝することは稀である。地上での被曝に比べて宇宙活動における被曝放射線量は多くなるため、対策が必要となる。また宇宙で被曝する放射線の吸収線量からみると陽子線が主体で、地上で受ける放射線とは種類が違い、生体へのダメージが大きい。さらに HZE (高エネルギー重荷電粒子) といった放射被曝は、地上では通常起こらない。

放射線 ( $\alpha$  線、 $\beta$  線) や陽子、重粒子などの荷電粒子が物質に入射すると、物質の原子と電子と相互作用を行い、原子は励起されるか、電離されて電子がイオンになる。その際に入射粒子はエネルギーは損失する。損失するエネルギーは、質量によって決まるので、加速されているエネルギーが同じであれば、重い粒子ほど  $1 \text{ cm}^2$  当たりの損失は少なくなる。すなわち、重い荷電粒子ほど、飛程が長くなり、

入射する物質または人体への影響は大きくなる。

#### ② 宇宙線被爆管理システム

宇宙ステーションの運用では、放射線管理システムの整備として、予測、計測、運用の管理、搭乗員の管理の 4 つの視点で進められている。

ミッションにおける飛行計画に関して、滞在する宇宙空間での放射線の量と質を過去のデータに基づいて、宇宙船の構造から船内の放射線の量と質を計算する。各搭乗員のスケジュールから被曝線量を算出する。また、活動中は船外環境の測定、船内環境の測定、個人放射線量を常に計測している。

#### ③ 運用の管理

宇宙船の遮蔽壁の厚みの設計から、搭乗員の被曝線量が許容範囲内で最小になるような飛行計画を立てている。しかし、突発的に発生する太陽フレア爆発などにより被曝放射線量の増大が予想されたときは、状況に応じて飛行計画を変更する。放射線防御の柱は、時間、距離、遮蔽の 3 つである。時間では、厳密な計画に基づいて計画を立て、不必要な滞在は避ける。距離では、放射線の少ない軌道をとる。遮蔽では、設計段階で十分な遮蔽厚を確保する、ということになる。さらに、放射線量が一時的に増加が予想される場合は、臨時に遮蔽壁の厚い部分に移動して退避する。船外活動の中止。低軌道の地球周回軌道であれば低い高度に退避するなどの措置が行われる。

#### ④ 宇宙天気予報

人類の活動の場が宇宙空間に広がると、太陽活動や地球磁場など太陽惑星空間および地球を取り巻く宇宙環境の情報が必要となる。これらの情報を集約して発信する宇宙天気予報の取り組みは既に始まっている。

地球の低軌道の周回軌道は、磁気プラズマに満たされた地球磁気圏内であるので、そこでの活動で最も影響のある宇宙放射線、電磁プラズマの変動を監視する監視体制を整備し、太陽の常時観測や地球の外側の宇宙環境の変動を監視するための観測がアメリカ、ロシア、欧州、日本などで行われている。各国が連携した観測研究のネットワークの構築も進められている。

### (3) 宇宙空間における飛翔体内の特殊環境

地球周回軌道上の宇宙空間で活動する人は、地上とは異なる宇宙の特殊環境に依存する物理現象下に置かれる。宇宙時代の教育では、地上と異なる宇宙空間での物理現象を扱うことになる。



地上での物体は重力により自由落下するが、無重力（微小重力）下の物体は、静止したままか、力が加われば、等速直線運動をする（図2の①）。

さらに微小重力状態という特殊環境では、無浮遊・無沈降、無対流、無静水圧、無容器浮遊の特徴的な4つ物理現象に左右される。これらの性質は地上では、重力の陰に隠れているが、重力の拘束が解かれると顕著に現れ、地球上ではあたりまえの現象を宇宙空間では再現できなくなる。

宇宙空間では、この4つの特殊環境を利用して、新しい材料の開発、未知の物理・化学現象の解明など、宇宙実験<sup>6)</sup>が行われている。

宇宙時代の教育では、重力を取り除いたときに起こる物理現象を扱い、地球上での物理現象との違いを比較する新たな視点の教材開発が求められる。

#### ① 無浮遊・無沈降

地上では、重いものは沈み、軽いものは浮くが、微小重力環境では、そうならない。水と油は分離せず、混ざり合ってしまう。地上での堆積（集積）の仕方は、重い物から順に堆積して分級するが、微小重力では、均一に混ざり合う（図2の②）。

#### ② 無対流

地上では、熱せられると液体や気体は密度が小さくなり、上昇して対流が起こる。微小重力では、密度の違いが生じて対流しない。このため、微小重力下でろうそくを燃焼させると、対流が起こらないので、酸素が供給されず、炎は消えてしまう（図2の③）。

#### ③ 無静水圧

地上では、容器に入れた液体内の静水圧は、下ほど高い。このため、下から上昇する気泡の大きさは、上昇するほど大きくなる。微小重力では、このような静水圧がなく、液体中の圧力は、どこも一定になる（図2の④）。

#### ④ 無容器浮遊

地上と違い、微小重力では、物体を浮遊させることができる。宇宙遊泳を体験させたい。

### （4）特殊環境における人体への影響

宇宙時代の教育では、実際に宇宙空間での仕事や活動することを想定して、飛翔体内や船外活動で、人体にどのような影響があるのを学習することが求められる。また宇宙飛行士の仕事やストレス解消方など、飛翔体内での生活についての理解を図ることで、宇宙空間を仕事とすることへの不安を解消し、宇宙での有人活動を身近に感じられるようにす

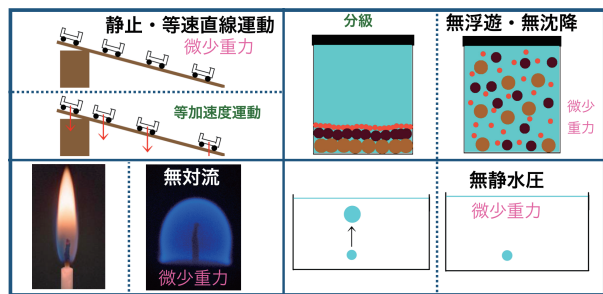


図2 宇宙特殊環境での物理現象

- ①：運動
- ②：無浮遊・無沈降
- ③：無対流（写真：NASA）
- ④：無静水圧

る役割を担うことになる。

人体の影響<sup>7)</sup>や現在の対象方法を紹介する。

#### ① 人体への影響

##### <宇宙酔い（空間認識）>

微小重力の環境に到着すると、数分で吐き気や嘔吐を起し、宇宙酔いの症状が現れる。症状は宇宙空間滞在初日と2日目がひどく、3日目から無くなる。発症率はスペースシャトルで約67%で、頭痛や倦怠感、食欲不振などの症状を伴う。宇宙酔いは、宇宙における居住空間が広いほど発症が増えることから、地上で形成された感覚が微小重力環境に適応する過程で起こると考えられている。

##### <液体の頭部方向へのシフト（顔の浮腫み）>

地上では、重力により多くの血液は、静水圧により下半身に分布し、循環系が保たれている。宇宙空間では微小重力のため、無静水圧になる。このため体液が頭部方向へ移動するため、顔面は浮腫む<sup>8)</sup>。地上に帰還すると、もとに戻っていく。

##### <筋肉機能>

長期間宇宙空間に滞在すると骨格筋は萎縮し、筋骨格系機能の低下が起こる。予防として、宇宙空間では適切な筋肉トレーニングを行う必要がある。また適切な量のタンパク質、脂肪、栄養補給により維持する。

##### <骨・ミネラル代謝>

重力の負荷がない宇宙空間に長期滞在すると、急激に骨からカルシウムが喪失し、骨量が減少する。カルシウム喪失は、高カルシウム血症を引き起こし、その結果尿路結石になる危険性が増大する。宇宙空間に滞在中は、骨量を維持するために内分泌的なカルシウム・リン代謝調節を行う。

#### ② 宇宙飛行士の生活

宇宙飛行士は、ストレスを低減・解消するための対処方として、様々な精神心理的サポートが行われている。

＜閉鎖空間での共同生活＞

宇宙滞在中のスケジュールの例を表2に示した。宇宙飛行士は、このような生活を繰り返すため、自由がなく、メンバーとの共同生活となる。また個人の行動や精神状態などが観察されているため、常に精神的ストレスが加わる。

このため、精神的変調や共同生活者とのトラブルが生じる可能性がある。

＜日常と大きく異なる環境下での生活＞

疲労感や頭痛、日中の眠気が著しくなり、気分の変調などがもたらされることがある。これらの症状に対しては、地上に常時待機している医師および精神医学専門家が適切に対処している。

＜閉鎖環境滞在中の活動量の測定＞

滞在中は腕時計型のデータ記録装置により個人の基礎データが測定される。このため装着が長期に渡ることにより、かゆみ・痛みの生じる場合がある。これらに対してはかぶれ用の軟膏の提供など適切な処置が講じられる。

⑤ 宇宙飛行士の選考

現在の宇宙飛行士の選考では、自然科学系の大学を卒業し、実務経験が3年以上で、十分な科学的知識と技術力があること。英語とロシア語が堪能であること。また協調性、適応性、情緒安定性、意思力があるなどの優れた人間性が求められている。さらに医学的特性として身長(149~193cm)、血圧(最高140mmHg以下、かつ最低90mm H以下)、視力(裸眼0.1、矯正1.0以上)などの制限が課せられている。

この難関の選考をパスした優れた人が宇宙飛行士となっている。

4 宇宙時代の教育・現状からの展望

現代の児童・生徒・学生は、宇宙をどのように捉えているのか、また学校教育において宇宙をどのように扱っているのか、「天文普及の現状」の調査を行った。この調査分析の結果から、理科教育における天文分野の特徴や抱える問題点を明確にし、理科離れの対策や理科教育における天文分野の授業計画、学習指導要領改訂における天文・宇宙関係の扱い方の指針や改善の方法について提言<sup>9,10)</sup>した。提言は、宇宙時代の天文教育は、「理科」の学習活動として取り組まなくてはいけないこと、興味・関心を重視したカリキュラム作成の必要性、学習時期の見直しと緻密なカリキュラム作成、宇宙への期待が膨らむイメージを構築するカリキュラム作成、最先端の話

表2 宇宙飛行士の1日

所用時間	生活項目
1時間	朝食
30分	洗顔
2時間	地上との作業確認
8時間	作業
90分	昼食
2時間	体力トレーニング
1時間	夕食
1時間	自由時間
7時間	就寝

表3 宇宙観のカテゴリー

カテゴリー
① 地動説(完全回答)
② 地動説(月が停止)
③ 地動説(月が描かれていない)
④ 地動説(月の軌道に間違え)
⑤ 天動説(完全回答)
⑥ 天動説(見かけの星の動き)
⑦ 分類できない
⑧ 無記入

①~④：地動説的概念  
 ②~④：月の動きを理解していない  
 ⑤~⑥：天動説的概念

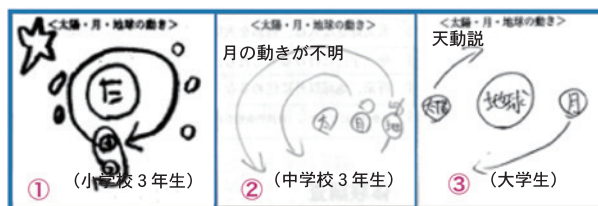


図3 宇宙観の回答例

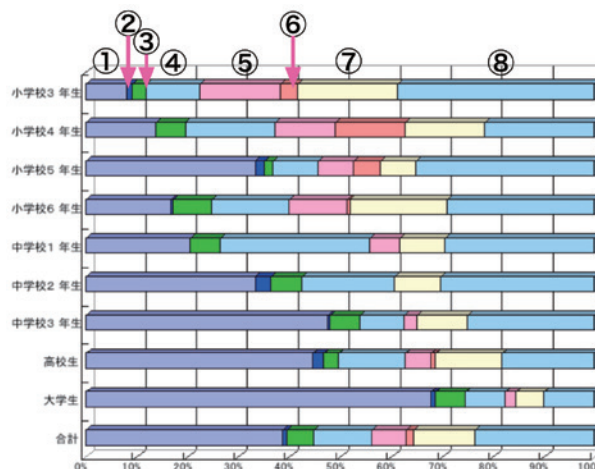


図4 宇宙観のカテゴリー集計結果

題・情報の発信と真正資源を活用した授業実践の必要性、科学的リテラシーを前提としたカリキュラム作成と授業実践必要性、直接体験・疑似体験の重視の必要性、の7項目で構成した。

これらの現状調査の結果から、宇宙時代の教育を展望してみることにする。

(1) 宇宙観(天動説と地動説)

小学生が太陽系をどのように把握しているかについて、4割が「太陽は地球のまわりを回っている」、

天動説的な宇宙観を持っているとの報告<sup>11)</sup>がある。この実態をより詳細に把握するため、太陽、月、地球の3つの天体の運動に注目して、太陽系の構造を図示させる調査を実施した。様々な被験者の描画を表3の①～⑧のカテゴリーに細分化した。回答の例を示すと、図3の①は小学校3年で地動説的な宇宙観の概念を確立している児童。図3の②は月の動きを捉えていない中学生。図3の③は天動説的な宇宙観に立つ大学生である。①～⑧のカテゴリーを集計すると図4のような結果になった。

この結果から地動説的な概念がどのように獲得されていくかに着目してみる。小学3年生では、約8%の児童が地動説的な概念を持っていた。一方、19%の児童は天動説的な概念を持っていた。しかし、約60%の児童については、まだ太陽系の概念について、考えたことがない。

次に小学校5年生では約33%、小学校6年生では約40%、中学校3年生では約62%、高校生では大きな変化は無く大学生では約68%が地動説的な概念を獲得している。大学生では、太陽系を天動説的な把握している大学生が2%存在し、太陽系の概念についての理解が不十分な学生が18%いた。これより、地動説的な概念、太陽系の構造や体系の理解は完全ではないことがわかった。太陽系の体系は、科学的リテラシーの一つとして、しっかり定着させたいものである。

宇宙時代の教育では、地球を中心に回る天体は衛星であることを理解し、太陽系を鳥瞰図のように把握させ、太陽系の構造を理解し、定着させたい。

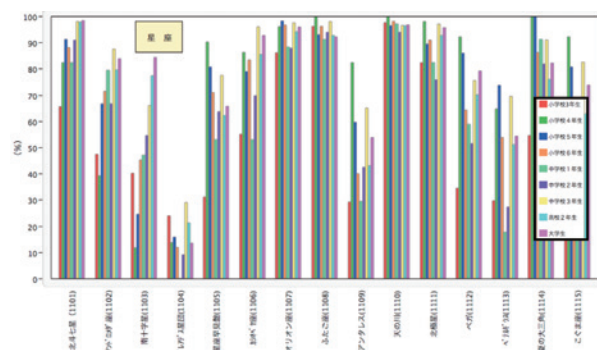


図5 「星座」 左：重ね合わせ棒グラフ

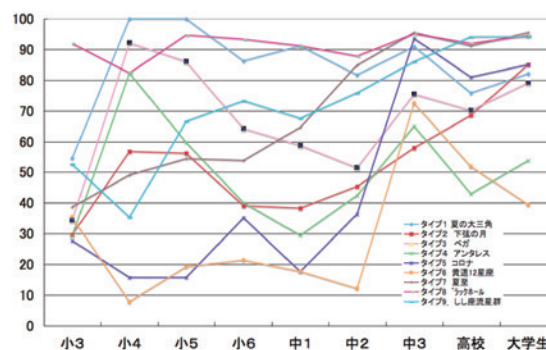
## (2) 宇宙への興味関心

児童・生徒・学生は、宇宙をどのように捉えているのか<sup>12, 13)</sup>、実態を調べるために天文・宇宙に関する用語調査を行った。天文・宇宙に関する分野を「星座、太陽、惑星、その他の天体、暦、単位、宇宙論、人物、ロケット・宇宙探査、天文台・望遠鏡」の10項目の単元に分類し、各単元について関連するキーワードを小学校(理科)、中学校(理科)、高等学校(地学)の理科教科書から各10用語を抽出し計100用語、被験者の就学(小学校入学)から調査実施の前年の間にニュースや新聞等のメディアで報じられた話題となった天文・宇宙に関する用語を各5用語を選定し、計50用語を加え、合計150用語からなる調査用紙を作成した。調査校は、小学校7校、中学校6校、高等学校5校、大学3校で、被験者1301名に対して、各用語について未知・既知の2択法とした。

集計結果は、各学年における認知度を集計した重ね合わせ棒グラフとパラレルプロットグラフで示した。パラレルプロットは同一学年の児童を追跡調査して成長していく過程の認知度の変化を示しているわけではないが、教育課程や教育環境に大きな変化が加わらなければ発達段階における認知度の推移と推定することができる。

一例として、図5に「星座」の重ね合わせ棒グラフとパラレルプロットグラフ、図6に「宇宙論」の項目を集計した重ね合わせ棒グラフを示した。

「星座」については、小学校の理科における星の学習以前に、ほとんどの用語を認知している。また「宇宙論」では、学校では未修のブラックホールは小



右：パラレルプロットグラフ

### <コメント>

オリオン座、ふたご座、天の川は、どの学年も8割を超える児童・生徒が認知していた。これらは全体を通して定着度が高い用語である。学習に関係なく学年が進行するのに伴って認知度が上がるのは、北斗七星、アンドロメダ座、南十字星である。小学校4年次の学習後、定着しているのは、北斗七星、北極星、夏の大三角である。これらは、日常生活でも馴染み深く、メディアを通して耳にしたり目にする機会が多いため、このような結果となったと考えられる。

学年進行とともに認知度のピークが2回(小学校4年生と中学校3年生)見られるものに星座早見盤、北極星、こぐま座、カシオペア、アンタレス、ベガ、ベテルギウス、夏の大三角がある。これらは、小学校4年生の星の学習時に認知度が増すが、その後学習効果が持続しないため認知度が下がり、中学3年の学習で再び認知度が増している。



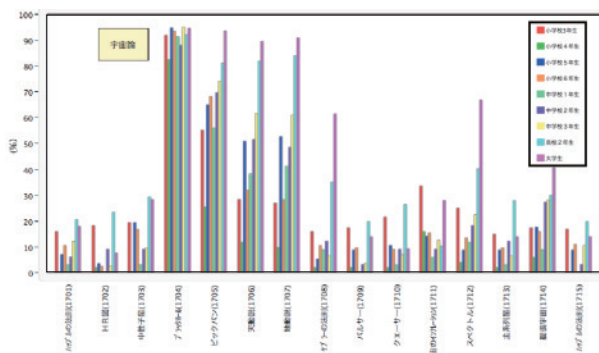


図6 「宇宙論」重ね合わせ棒グラフ

＜コメント＞

ブラックホールは、学習以前から認知度が高い。学年進行とともに認知度が上がるのは、ビッグバン、天動説、地動説、膨張宇宙であった。ブラックホール、ビッグバン、膨張宇宙論のような現代の宇宙論や天動説と地動説などの宇宙観については、学校教育の理科で扱われていない。しかし、小学校3年生の時点ですでに認知度が高いことから、宇宙論について、児童生徒の興味・関心が高いことがわかる。

学校3年生で約90%、ビッグバンは小学校3年生で50%の児童が認知していた。理科の学習内容よりも科学の先端の話題に関する用語を認知していることから、宇宙への児童の関心の高さがうかがえる。

150用語を発達段階の変移から表4のように9つのタイプに分類した。各タイプの典型的な用語の変遷をパラレルプロットグラフに示すと図7のようになった。認知度を示す値が大きく変化する学年、すなわち遷移する学年に着目すると、各用語が学習効果に起因するか、科学的な話題の影響なのかを推察することができる。また認知度のピーク後の変移から、用語が定着しているか、忘却されているかを知ることができる。

この変移のタイプ分析の結果から、天文・宇宙の学習でしか扱われることがないような専門的な用語は定着していない。また生活や他の教科での学習と関連する用語、興味のある用語は、認知度の顕著な定着がみられた。さらに、天文学習の特質の一つでもある、空間スケール、時間スケール、視点移動等の概念の構築につながる用語は、学習後の支援がないと定着しない傾向が強いことも明らかになった。

宇宙時代の教育における宇宙や天文に関する用語の扱いでは、興味関心に応えること、科学的な話題に対応すること、内容の取り扱いでは発達段階に応じて何回かに分けて扱うことが求められる。理科だけではなく各教科や生活場面でも扱い、社会との連携した緻密な学習カリキュラム作成し、なるべく多くの学年で学習機会を設けて宇宙教育を展開していくことで、宇宙の基礎的な用語の定着がはかられ、

表4 変遷の9つのタイプ

タイプ	遷移領域	変移の特徴	主な用語
タイプ1	小学校4年	学習後認知度が20%以内に定着	夏の大三角、北斗七星、1等
タイプ2	小学校4年	学習後認知度が20%以上低下	下弦の月
タイプ3	中学校3年	再学習後認知度が20%以内に定着(小4でも20%以上低下)	ベガ、北極星、カシオペア、星座早見盤、北極星、黒点、日周運動、すばる望遠鏡
タイプ4	中学校3年	再学習後認知度が20%以上低下	アンタレス、南中
タイプ5	中学校3年	中3で初学習後認知度が20%以内に定着	こぐま座、プレアデス星団、明けの明星、コロナ、公転周期
タイプ6	中学校3年	中3で初学習後認知度が20%以上低下	プロミネンス、小惑星、黄道12星座
タイプ7	時期依存	学習に関係なく発達段階に応じて認知度が上昇	アンドロメダ座、太陽系、初日の出、海王星、ハレー彗星、春分、夏至
タイプ8	学校無依存	学習に関係なく認知度が80%以上	ベガ、初日の出、日の入り、皆既日食、隕石、水星、金星、火星、木星、土星、銀河系、ブラックホール、インシュタイン、スペースシャトル、プラネタリウム
タイプ9	学校無依存	突発型	オリオン座、天の川、しし座流星群、銀河系、月食、ボイジャー、NASA

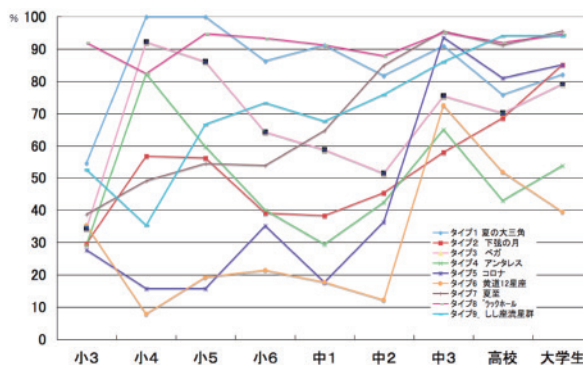


図7 変遷のパラレルプロットグラフ

宇宙への興味関心が高まり、宇宙を身近に感じるようになっていくと考えられる。

(3) 宇宙の概念構造

150用語の調査結果から小学校4年生と中学3年生の認知度が70%以上の用語を抽出し概念マップを作成した(図8の①、②)。また小学校4年生と中学3年生の理科の教科書<sup>14,15)</sup>の天文領域のテキストデザインを概念マップに示した(図8の③、④)。これらを比べると児童・生徒の概念構造は、理科の指導内容で作成したテキストデザインより広範で、ホリスティックな方向性と宇宙論や宇宙開発といっ



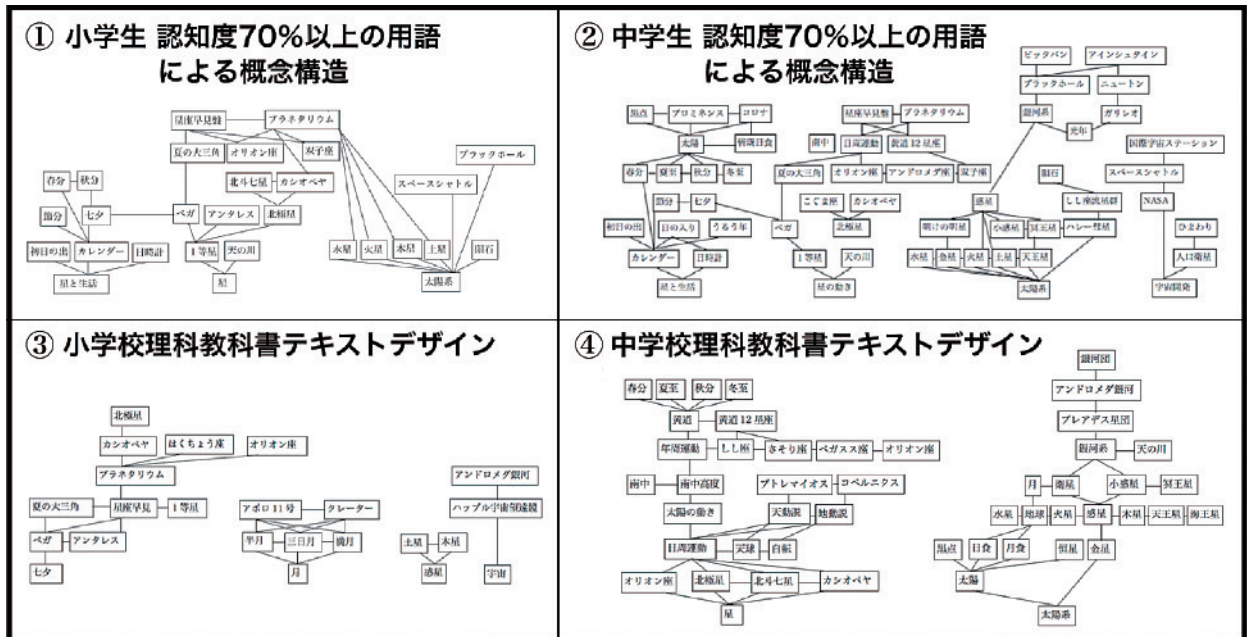


図8 概念マップ ① 小学校4年生 ② 中学校3年生  
③ 小学校4年テキストデザイン ④ 中学校テキストデザイン

表5 宇宙のイメージ

① 難しい	⑨ 宇宙は無限
② ロマン	⑩ 細かいことを気にしない
③ あこがれ	⑪ 人付き合いが上手
④ 人類に役立つ	⑫ 自然を大切に
⑤ 生活に役立つ	⑬ 宇宙に行きたい
⑥ お金がかかる	⑭ 地球以外の天体に住みたい
⑦ 宇宙で生活する	⑮ 宇宙旅行をしたい
⑧ 宇宙人は存在する	⑯ 宇宙旅行をしたい

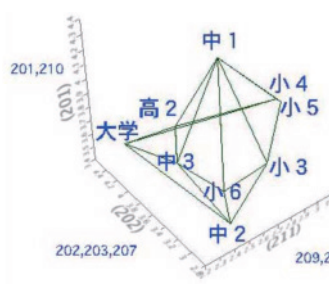


図9 重回帰分析の結果

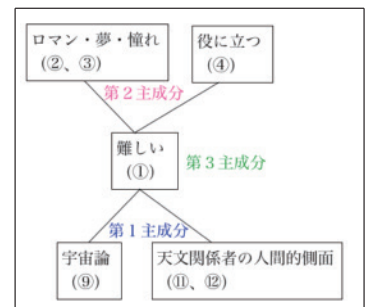


図10 イメージの推移

た宇宙時代を見据えた内容を志向する実態が見えてくる。

宇宙時代の教育では、児童・生徒の宇宙への興味関心に応えられる学習機会を創出しないといけない。

#### (4) 宇宙のイメージ

宇宙をどのようにイメージしているのかを表5に示した15項目について5件方で調査した。主成分分析を行った結果、第1成分(⑨,⑩,⑫等)で寄与率は42.2%、第2成分(②,③,④等)で寄与率は23.5%、第3成分(①,⑩等)で寄与率は12.7%となった。3つの主成分の累積寄与率は78%である。これをもとに、各因子の重回帰分析を行うと、図9のように小学生低学年では、下位の第1主成分の宇宙論のイメージに関心を示しているが、中学校段階から第3主成分の難しいイメージが卓越してくる。そして高等学校および大学生の最終的段階では第2

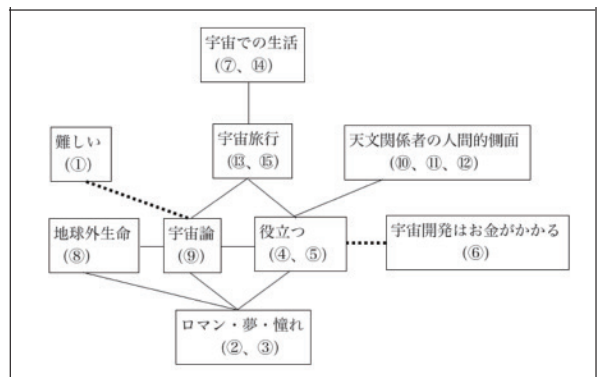


図11 イメージの理想的な推移

主成分のイメージで、ロマン・夢・憧れと役に立つが優位となった。学年の進行にともなうイメージの変動を概念図に示すと図10のようになる。「宇宙論」などの宇宙への興味関心が「難しい」イメージに変容し、その後に「ロマン・夢・憧れ」に変容しているので、宇宙時代を現実のもととして受け止めていないと考えられる。

宇宙時代の教育では、図 11 のように、宇宙への「ロマン・夢・憧れ」を持たせ、次の段階では宇宙論や地球外生命などの宇宙の探究活動に取り組みながら宇宙を身近なものとして捉え、最終的には宇宙の研究開発は人類に役立ち、将来宇宙に行きたくなるような子どもたちを育ていきたい。

宇宙時代の教育では、このような理想的な順序でイメージを構築していくことができるような教育カリキュラムを考えて行く必要がある。

### (5) 宇宙リテラシーを身につける学習内容

宇宙時代のステージ 2、3 は、これまで述べた宇宙の特殊環境に人類は、安全に、快適に滞在し、生活できる環境を創出し、特に心身に障害や疾病がない限り、希望する誰もが宇宙に行き、宇宙を満喫することができるようになる。このような宇宙時代に身につけるべき宇宙リテラシーとして必要な背景は既に述べた。

ここでは、宇宙リテラシーとして、宇宙特殊環境と地上との違いを現在の理科教育に当てはめると、どうなるかを示す。例として中学理科 3 年生の学習項目に宇宙特殊環境を扱うことが可能な項目にチェックすると表 6 のようになる。

宇宙の特殊環境と地上との違いを取り入れることが可能な領域は、物理・化学・生物・地学・人間との関わり、の全領域となる。宇宙リテラシーの教材体系は、宇宙空間(天)、地球(地)、人類の挑戦(人)の「天・地・人」の視点で捉えて学習内容付加すると、宇宙の特殊環境と地上との違いを比較するなど、思考力、判断力を求める教材となり、アクティブラーニングの学び<sup>16)</sup>、児童・生徒が主体となる探求的な学習活の場が創出されることが期待される。

## 5 社会との連携・ハヤブサの受容

宇宙時代の教育では、科学技術を基盤とした宇宙開発が不可欠である。その科学技術の素晴らしさや活動の場所となる宇宙活動の目標を社会で共有することで、宇宙の知識、宇宙活動に必要な能力、資質を身につける宇宙時代の教育が実現することになる。そして社会に受容されることにより、さらなる宇宙時代は、高次のステージへと進展していく。

こうした宇宙時代を拓く教育の前提となる、宇宙科学の事象が社会に受容される快挙が起きた。

### (1) 「はやぶさ」が社会に受容された背景

社会に受容された宇宙科学の事象とは、小惑星探

表 6 宇宙時代の教育 (中学 3 年理科)  
○：宇宙特殊環境に関する内容を扱える単元

単元 (中学理科・3年)	静止等速直線運動	無浮遊無沈降	無対流	無静水圧	微小重力・放射線	宇宙環境	人体の影響	宇宙時代の教育で扱う内容
運動とエネルギー 力とつり合い 力と運動 仕事とエネルギー	○	○		○	○	○		力・浮力 等速直線運動・慣性 運動エネルギー
化学変化とイオン 水溶液とイオン 酸・アルカリ 電池とイオン		○	○	○	○		○	合成(材料) イオンエンジン 電気分解(酸素)、水 電池
生命のつながり 生物の成長と細胞 生物の生殖と細胞 遺伝の規則性		○			○	○	○	浸透膜浄水器 植物の発生 細胞分裂 放射線・遺伝子実験
生物と環境 自然界での生物 自然界のつり合い						○	○	生態系・ バイオスフィア 生態系の物質循環
地球と宇宙 太陽系と宇宙の広がり 地球から見た天体の動き	○					○	○	星雲・星団・銀河・ ブラックホール・ 宇宙の果て
科学技術と人間 自然環境の保全科学技術		○	○	○	○		○	宇宙の特殊環境 宇宙技術・宇宙開発

査機「はやぶさ」による小惑星イトカワの探査とサンプルリターンの成功である。このミッションの背景から社会に受容された過程を探ってみることにする。

「はやぶさ」は、2003年5月9日に内之浦から打ち上げられ、2005年9月12日に小惑星イトカワに到着、約3ヶ月の探査を終え、2010年6月13日に採取したサンプルを地球に持って帰還<sup>17)</sup>した。

ミッションは、単純ではなかった。打ち上げから地球帰還までの約7年間に及ぶ「はやぶさ」プロジェクトチーム関係者は、その間に幾多の苦難に見舞われ、それらを克服して、サンプルリターンの目的を達成したのである。この快挙は日本人の心<sup>18)</sup>に深く刻まれ、世界中から最後まで諦めなかった研究者の努力が賞賛された。

帰還後に全国各地で行われたカプセル展示や「はやぶさ」に関する行事には、1年間に累計51万人が集まり、「はやぶさ」人気は静まることなく、帰還後にますます高まり<sup>19, 20)</sup>、現在運用中の小惑星探査機「はやぶさ2」に引き継がれている。

「はやぶさ」人気の要因の基盤となる科学技術は、理学的成果、工学的成果にある。理学的成果としては、4つのカメラ(AMICA, LIDAR, NIRS, XRS)により表面の詳細な様子が撮像され、正確な形状、体積、密度が求められた。また表面は普通コンドラ

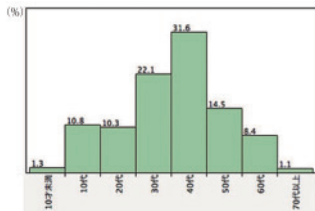


図 12 年齢分布

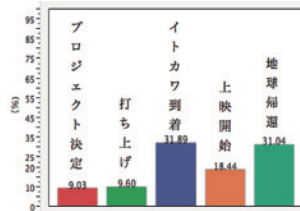


図 13 認知した時期

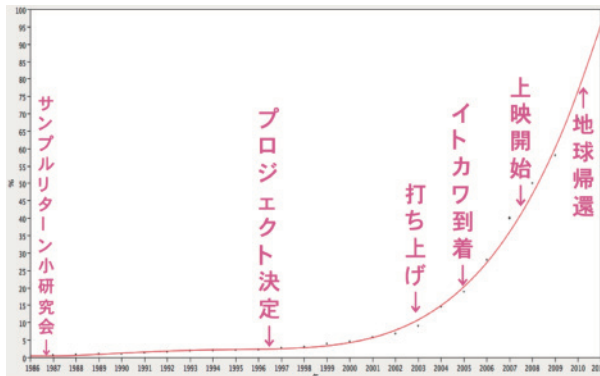


図 14 認知度の累計

イトであることがわかったこと。また内部が同様物質で構成されているとすると、密度の違いから空洞を伴う内部構造が推定された。さらに採取したサンプルの分析により、物質科学として扱うことなどが挙げられる。工学的成果としては、日本独自の方式により開発されたマイクロ波を用いる推進方式であるイオンエンジンの開発、イトカワへのタッチダウン技術、サンプル採取技術、カプセルの地球帰還システムなどを挙げることができる。これらの成果は素晴らしいが、これだけでは、社会的反響を巻き起こすことはなかった。科学技術の成果に加え、打ち上げから地球帰還までの運用中に起きたトラブルを「はやぶさ」チームの研究者達が克服したこと。探査機本体は地球再突入の際に燃え尽きてしまったが、切り離されたカプセルがオーストラリアの砂漠に降下し、サンプルを地上に届ける目的を達成した。この快挙が社会的反響を巻き起こす要因であった。これらの研究者の努力の過程がメディア報道され、広く社会一般の知るところとなり、「はやぶさ」プロジェクトを通して宇宙科学研究が社会に受容されることになったのである。

## (2) 社会に受容される要因

### ① 調査概要と目的

どのように「はやぶさ」が社会に根付き、人々の共感を得て受容されたか、その素過程を分析することにより、社会に受容された実態と要因を調べるため

に調査を行った。

調査<sup>21, 22)</sup>は、はやぶさ地球帰還1周年を記念して開催した講演会に集まった751人の参加者を対象に質問紙を配布し、自記記入式により、講演会終了後にその場で回答していただき回収した。被験者は、就学前の幼児や小学生から80代までの388名となった。調査内容は、実態調査(基礎データ)と要因調査とからなる。

### ② 実態調査

実態調査項目は、性別、年齢、情報源、理科の好き嫌い、はやぶさイベント参加回数とした。

被験者の年齢分布は図12に示したように40代を頂点に正規分布していることから、幼児と高齢者を除いた10代から70代までの幅広い年齢層に受容されていたことがわかった。

次に「はやぶさ」を認知した時期の度数分布を図13に示した。「計画当初」、「打ち上げ」がそれぞれ9%、「イトカワ到着」、「はやぶさ帰還」がそれぞれ約30%で、「はやぶさ」がイトカワに到着後に認知度が急増している。はやぶさ計画の出発点の1986年に開催された「サンプルリターン小研究会」を起点とし、各段階の認知度の累計値をプロットすると図14のようになった。このままの推移が継続されると、1年間で150%増加し、さらに増加率が加速されて、社会に受容されていくことが期待される。

### ③ 要因調査

「はやぶさ」が社会に受容されていく過程が実態調査で明らかになった。そこで、受容される要因が何かを調べるため、表7に示した評価(8項目)、意義(7項目)、影響(6項目)、期待(5項目)について、5点法で回答を得た。どの項目も高い平均値を示した。その中で、男女の平均値(M)、標準偏差(SD)を求めて分散分析を行った結果、表8の項目の女子に男子に比べて有意な差が見られた。

女性は男性より評価と意義の項目に熱い想いを寄せていたことが明らかになった。しかし、影響の項目での差異は認められなかった。

受容した要因項目間での相関係数の高い項目を表9にしました。

評価では、「川口先生とプロジェクトの努力」、「プロジェクトを推進する思考法」、「最後まで希望をすてずに諦めなかったこと」、「地球帰還を達成したこと」の間で高い相関が見られた。意義項目では、「日本人の心」は、「世界に示した」、「科学の貢献」の間で高い相関が見られた。影響では、「希望」、「自信」、「宇宙を身近に感じた」の間で高い相関が見られた。



表7 認知度の累計

項目	指標
評価	明らかにした科学的な事柄 持ち帰ったサンプル イオンエンジン 太陽系の探査技術 プロジェクトマネージャーの努力 プロジェクトを推進する思考力 最後まで諦めなかったこと 地球帰還の目的を達成したこと
意義	社会に役立つ 理科教育に役立つ 日本人の心に夢と希望を与えた 子どもたちに科学への夢をあたえた 経済に役立つ 日本の科学技術の素晴らしさを世界に示した
影響	勇気づけられた 希望を持てた ロマンチックになれた 自信がもてた 宇宙を身近に感じられた 科学技術の重要性を実感できた
期待	太陽系探査の推進 生命の起源を探る 宇宙技術の向上 他の小惑星のサンプル採取 有人による宇宙探査

表9 相関

評価	川口先生の努力	思考力(評価:7.05) 諦めない(評価:7.95) 地球帰還(評価:7.75)
	諦めない	日本人の心(意義:6.22) 思考力(評価:6.25)
意義	日本人の心	世界に示した(意義:6.46)
	世界に示した	科学の貢献(意義:6.68)
影響	希望	自信を持てた(影響:6.22)
	科学の重要性	宇宙を身近に感じた(影響:6.45)
期待	生命の起源	技術の向上(期待:6.19)
	サンプル	太陽系探査の推進(期待:6.67)
	リターン	技術の向上(期待:6.84)

期待では、「技術の向上」、サンプルリターン」「太陽系探査の推進」の間で高い相関が見られた。

(3) 理科の好き嫌いに関係なく受容された

「はやぶさ」の快挙を受容する層は、学校時代の理科の成績が良く、「理科好き」ではないかと予想された。そこで、「理科大好き」、「理科苦手」、「特に理科が苦手」とに分け、平均値(M)、標準偏差(SD)を求めて分散分析を行った結果、表10のように理科が特に苦手、理科が苦手とする人が理科好きの人より「社会に役立つ」と考え、受容していることが明らかになった。

表8 性差の平均値(M)、標準偏差(SD)と分散分析結果

項目	n	M	SD	F	P
評価	プロジェクトマネージャーの努力				
	女子	203	4.92	0.38	7.80 0.01**
	男子	170	4.70	0.61	
	プロジェクトを推進する思考力				
女子	201	4.81	0.51	11.93 0.01**	
男子	170	4.61	0.61		
意義	社会に役立つ				
	女子	201	4.59	0.67	7.81 0.01**
	男子	173	4.39	0.75	
	理科教育に役立つ				
	女子	205	4.69	0.59	7.35 0.01**
	男子	172	4.52	0.71	
	日本人の心に夢と希望を与えた				
	女子	203	4.82	0.49	8.66 0.01**
	男子	172	4.63	0.75	
	経済に役立つ				
女子	199	4.22	0.86	21.75 0.01**	
男子	171	3.80	0.87		
日本の科学技術の素晴らしさを世界に示した					
女子	204	4.83	0.51	8.30 0.01**	
男子	172	4.65	0.71		

\*\* P < .01

表10 理科好きの平均値(M)、標準偏差(SD)と分散分析結果

	n	M	SD	F	P
「はやぶさ」快挙の意義					
社会に役立つと思う					
特に理科が苦手	9	5.00	0.00	5.774	0.01**
理科が苦手	24	4.83	0.38		
理科が大好き	184	4.47	0.69		

\*\* P < .01

(4) 宇宙の育科学技術が受容される時代

宇宙時代の宇宙科学、宇宙技術、宇宙における人の活動が社会に受容されるには、「はやぶさ」が社会に受容され要因の調査分析結果から得られた要素が満たされる必要がある。すなわち、10代から70代の幅広い層から注目され、女性の熱い想い、理科の好き嫌いに関係なく支持されなくてはならない。

そのためには、「はやぶさ」プロジェクトのように、宇宙科学の科学的な成果だけではなく、ミッションに携わる人々の苦悩や喜びも発信すること。それを通してミッションの計画の目的や目標、内容を社会と共有していくことが重要である。

宇宙時代の教育では、こうした宇宙科学のミッションに共感して評価し、意義を理解する上でも重要な役割を担うことになる。

7 まとめ・未来を拓く宇宙時代の教育

宇宙時代の子どもの教育では、宇宙をどのように取り扱っていけばよいのかを「宇宙リテラシー」、「天文普及の現状」、「はやぶさミッションの社会への受容」の3つの観点から見えてくる未来を拓

く宇宙時代の教育を展望してきた。

「宇宙リテラシー」では、現在の学校教育ではほとんど扱われていないが、宇宙時代の宇宙リテラシーの基盤となる要素を展望した。「天文普及の現状」では、現状分析を展望した。これより宇宙リテラシーの教材体系は、宇宙空間(天)、地球(地)、人類の挑戦(人)の「天・地・人」の視点で捉えて学習内容付加することで、児童・生徒の宇宙への興味関心に応えることができる。さらに宇宙の特殊環境と地上との違いを比較することで、児童・生徒が主体となる探求的な学習活の場が創出され、学習により宇宙のイメージを変えることが期待される。そして、「はやぶさ」が社会に受容された過程を考察した。

これらを概観することで、未来を拓く宇宙時代の教育の方向性や新たな希望が見えてきた。より確実なものとするために、宇宙時代の教育の実現に向けて宇宙教育の実践を重ねて行きたい。

今後の展開に期待する。

### 参考文献

- 1) 我が国の航空宇宙科学技術推進に向けての提言, 航空宇宙工学研究連絡委員会「人工物設計産究連絡委員会宇宙利用専門委員会」(日本学術会議), 2005.
- 2) 青木節子, 日本の宇宙戦略, 慶応義塾大学出版会, 2006.
- 3) 高橋典嗣・山崎良雄・三井和博, 宇宙時代の天文教育を目指した科学教育活動の展開, 日本学際会議学会誌(日本学術会議広報協力学術雑誌), 64, 12-25, 2008.
- 4) 小田原修 他, 軌道上実験概論, 海文堂, 2000.
- 5) 関口千春 他, 宇宙医学・生理学, 社会保険出版, 1998.
- 6) 岩下詩乃・鎌田正裕, 日本科学教育学会研究会研究報告, 32 (6), 47-52, 2018.
- 7) 藤田真敬(監修), 宇宙航空医学入門, 鳳文書院, 2015.
- 8) 宮本晃・山田寛・松崎一葉・Mikhail Tyurin, Sergei Treschev, 無重量状態下における顔面浮腫の推, 宇宙航空環境医学 44 (1), 3-11, 2007.
- 9) Takahashi, N., Astronomy Education for The Space Age - Proposals Based on the Present State of Popularization of Astronomy, Studies on humanities and social sciences of Chiba University 17, 215-226, 2008.
- 10) 高橋典嗣・宮本晃・山崎良雄・有賀理香, 宇宙時代の天文教育への7つの提言, 日本学際会議学会誌(日本学術会議広報協力学術雑誌), 20, (1), 59-75, 2007.
- 11) 縣秀彦, 理科を学ぶ小学生たちの苦悩「それでも地球はまわっている?」, 科学(岩波書店), 74 (7), 809-813, 2004.
- 12) 山崎良雄・高橋典嗣, 小学校現職教員と大学生における天文・宇宙の興味関心, 千葉大学教育実践研究, 8, 87-100, 2001.
- 13) 山崎良雄・高橋典嗣・宮協陽, 中学校理科における天文分野に関する基礎研究, 千葉大学教育学部研究紀要, 49, 43-57, 2001.
- 14) 中学校理科3(大日本図書), 2004.
- 15) 中学校科学3(学校図書), 2016.
- 16) 高橋典嗣・下村知愛, 地層観察学習による主体的・対話的で深い学びの実践, 武蔵野教育学部論集(武蔵野大学), 7, 59-73, 2019.
- 17) 高橋典嗣, 書評「宇宙からの帰還」, 人文社会科学研究(千葉大学), 15, 165-173, 2007.
- 18) 田部一志, はやぶさの物語と日本人の心, ASTEROID (JSGA), 20 (2), 45-47, 2011.
- 19) 川口淳一郎, はやぶさ、そうまでして君は, 宝島社, 2010.
- 20) 吉川真, はやぶさが教えてくれたこと, ASTEROID, 20 (2), 35-44, 2011.
- 21) 高橋典嗣 他, はやぶさ地球帰還1周年記念講演会における参加者の分析, 日本科学教育学会年会論集, 35, 281-289, 2011.
- 22) 高橋典嗣・山田遥子, 「キッズはやぶさ教室」の実践～「はやぶさ」人気の実態・要因の分析結果からのアプローチ～, 日本惑星科学会誌, 24 (1), 11-19, 2015.

(2020年3月24日受付、2020年5月1日受理)