

ビッグサイエンスの行き詰まりと研究者集団の参画性： 宇宙科学分野の研究者コミュニティを事例に

原 浩平[†]

Limitations of Big Science and Participation of Researcher Groups: Case Study of Space Science Researcher Community

Kohei Hara

1. はじめに

ビッグサイエンスと呼ばれる大規模な研究開発プロジェクトが行き詰まっている。ビッグサイエンスの大規模化に対し、プロジェクトを主唱する研究者集団と、プロジェクトを実行する公式組織という従来の体制が限界を迎えているのである。それはビッグサイエンスの典型たる宇宙科学分野も同様であり、目的や意義が広範に支持されるようなプロジェクトをいかに創出するか、すなわち研究者集団と公式組織の両者を多様化し有機的連携を図るため新たな仕組みを示す事が求められている。

1940年代以降、自然科学分野の研究開発プロジェクトは、技術の進展や観測対象の増加等で巨大な規模となり、アルビン・ワインバーグは、米国のマンハッタン計画（核兵器開発）やアポロ計画（人類初の月面着陸）を念頭に「ビッグサイエンス」と名付けた。ビッグサイエンスは米国では米陸軍や米国航空宇宙局（NASA）主導の下に行われ、我が国でも「大型の施設・装置を用いた一極集中型による研究遂行が必要」という認識の下、各種施設・設備の国立大学や国立研究所等（以下「公式組織」という）への集約が進められた。集約された設備をその分野の研究者の集団（以下「研究者コミュニティ」という）が共同で利用することで、効率的な研究開発が行える体制が国主導で進められてきた。

しかし現在、国内外でビッグサイエンスの中止等が多発している。米国では2003年にエネルギー省の「Facilities for the Future of Science: A Twenty-Year Outlook」、日本では2010年に文部科学省の「学術研究の大型科学プロジェクトの推進に関する基本構想ロードマップ」（以下「ロードマップ」という）が制定され、ビッグサイエンスへの優先度評価がなされるようになった。だが「ロードマップ2017」では「特に速やかに推進すべき計画」と位置付け

た大型科学プロジェクトを7件採択したが、2022年時点で着実に推進されているのは1件と計画に長期間着手できない事例が生じている。

ではなぜ、ビッグサイエンスは行き詰まりを迎えているのだろうか。ロードマップの優先度付けの試みからわかるように、研究者コミュニティと公式組織による従来型のビッグサイエンスの体制は限界が生じている。これを乗り越えるには、従来の体制を見直し、最先端の技術や知識を新しい仕組みの下で集約し、大型科学プロジェクトに反映させ未知の課題へと取り組む体制が望まれているのである。

本稿では、まずビッグサイエンスの歴史的経緯を確認し（2項）、次いで大型科学プロジェクトが直面する限界の理由を先行研究から検討する（3項）。その上で社会的協力の概念をふまえ、研究者コミュニティと公式組織の中間に位置する存在が成す介在性により参画性が発揮されることで社会的協力関係を構築する点に注目して整理・考察し（4項）、ビッグサイエンスの典型である宇宙科学分野における「はやぶさ2」と「SPICA」の2つのプロジェクトの事例検討と比較（5項）により、研究者コミュニティと公式組織の間に介在し各主体間の社会的な関係の構築を促してゆく存在及びその存在が各主体に対し介在することで果たす参画性に係る役割を新たな機能として示し、これにより宇宙科学分野のビッグサイエンスに生じている限界を乗り越えるための新たな一助となる視点を提示する。

2. 研究の歴史的背景

2.1 大型科学プロジェクトの誕生と設備の集約

我が国でのビッグサイエンスの歴史的進展は、まず大型科学プロジェクトの誕生と大学等での対応、次いで欧米へのキャッチアップと大学共同利用機関の成立、最後にチャレンジャー号事故とビッグサイエンスの停滞と区分できる。

[†] 2022年9月修了（社会経営科学プログラム）

ビッグサイエンスの行き詰まりと研究者集団の参画性：
宇宙科学分野の研究者コミュニティを事例に

ビッグサイエンスの初期の典型的な事例がマンハッタン計画であり、その枠組みを受け継いだのがアポロ計画である。有人月面着陸の為には巨大な人的資源と予算を要し、それゆえマンハッタン計画ではロスアラモス国立研究所が、アポロ計画ではNASAが計画管理機関として設立された。

これらの流れをふまえ、我が国における学術研究分野の大型科学計画における装置類の巨大化とそのための公式組織の必要性という課題について、文部省は国立大学にある既存の附置研究所を活用あるいは新設・改編して当該研究所に設備を集中整備することで解決を図った。ほどなくして、これら大学附置研等の設備の中には、他大等からも利用の希望が強く寄せられるものが生じ、文部省は1952年、国立大学に全国の大学の研究者が共同で利用できる全国共同研究施設の整備を認めた。最先端の学術研究を行う為の巨大で高額な装置類を単一の大学で導入し維持することは困難と考えられていたが、各分野において必要な研究設備を集約して整備し施設の効率的な活用と研究者の利用成果の向上を狙うことが企図され、全国共同利用制の大学附置研究所が中心になって、我が国の大型学術研究プロジェクトは進められてきた。

2.2 大学共同利用機関と宇宙研

一方で、ビッグサイエンスに求められる規模は年を追うごとに巨大化した。この課題に文部省が示した解決策が、全国共同利用制の大学附置研究所を大学から独立させた大学共同利用機関（現在の大学共同利用法人）の設立であり、文部省は大学共同利用機関を我が国独自のシステムとして大型学術研究プロジェクトの中心となる主体と位置づけた。

これら大学共同利用機関の中であって、学術目的の科学衛星の研究開発や打上げを担ったのが宇宙科学研究所（以下「宇宙研」という）である。宇宙研は、東京大学の附置研を実質的な起源とし、1981年に独立し大学共同利用機関となった。2003年に独立行政法人宇宙航空研究開発機構に再編された¹⁾が、同機構の設置法等の定め²⁾や活動実態（後述する）から従前同様の位置づけにあり、本稿では以降も「大学共同利用機関」として扱う。

宇宙研は敷地内に大型設備や装置を集約整備し各大学の科学衛星に携わる研究者の利用に供しているが、設備集約に伴い設備の利用日程調整や優先度付けが生じる為、宇宙研所長の下に委員の半数を宇宙研外の研究者から選出する理学委員会及び工学委員会（以下、「理工学委員会」と総称する）を設け、研究者コミュニティからの提案の学術的意義について専門的観点から確認・評価している。同様に

今後打上げるべき科学衛星や施設等を優先的に利用できる研究計画も理工学委員会で絞り込まれ決定されてゆく。宇宙研ではこれら一連の流れを「ボトムアッププロセス」と呼び、他の自然科学系の大学共同利用機関でもほぼ同種のプロセスを確認することができる。

2.3 チャレンジャー号とビッグサイエンスの行き詰まり

このような仕組みが整備されながら、なぜ大型科学プロジェクトは中止などの行き詰まりが生じたのか。ビッグサイエンスの変化の先駆けとして広く認識されるのは、米国のスペースシャトル・チャレンジャー号の事故である。スペースシャトルは、1981年から始まる機体等の再使用性を高めたNASAの宇宙輸送プロジェクトであるが、1986年にチャレンジャー号事故が生じた。事故の原因は、大型ロケットの部品が打上げ当日の低温で硬化し内部から燃料が漏れたことにあるが、NASAの管理者は部品会社から低温時の危険性の警告を受けながら、打上げを強行した。

スペースシャトルが米国を代表する最新の科学技術の象徴であったが故に、事故は人々の科学技術万能主義的な価値観を崩した。このような社会の変化をふまえ、日米政府は2000年代初頭にはビッグサイエンスへの優先度評価を導入するも期待された効果はあがらず、ビッグサイエンスは行き詰まりを迎えている。

3. 先行研究の検討

3.1 ビッグサイエンスと「集約性」

ビッグサイエンスは大量のリソースの消費により成立するとプライスが指摘した通り、大型科学プロジェクトは最先端の技術や知識の集約と世界屈指の規模の施設を整備して人類未踏の研究課題に挑戦するもので、国等による大型の施設・装置の集約性を高めた体制が求められる。

豊田や井原が原子力分野を事例にビッグサイエンスは国家との結合を余儀なくされたと指摘する通り、施設・設備は国主導での集約が進められた。秦は大学共同利用機関を事例に、世界的に巨大科学の時代を迎える中で、個々の大学の枠を超え経費が著しく巨額となり設備の集約が必要となる研究分野が生じたことを指摘し、また毎年の運営経費も膨大のものとなれば一箇所の施設で全国の研究者の共同利用に供するのは必然とする。多様な利用者や研究テーマに対し設備等を公平で効率よく利用させる為には、宇宙研の理工学委員会でも見たように、研究者コミュニティの代表が当該組織の意思決定や運営に参加し利用者の意見を研究所の運営に反映させる仕組みが必要とされたのである。

¹⁾ 1918年に東京帝国大学の附置研究所である航空研究所として設立され、幾多の組織改編を経て、現在は国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構の傘下研究所である。

²⁾ 国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構法にて「大学との共同等による宇宙科学に関する学術研究」を行うことや「研究者の自主性の尊重その他の学術研究の特性への配慮をしなければならない」旨が定められている。

3.2 中間的存在と「参画性」

3.2.1 技術決定論的な社会決定とその批判

現下のビッグサイエンスに係る仕組みは、効率的な共同利用に力点を置いて、集約化された施設や技術を所与のものとして、研究者コミュニティの意見を公式組織の設備運営に反映させるに過ぎない。ビッグサイエンスにとってより望ましい仕組みが求められているのである。

そのことが大きく問われたのがチャレンジャー号の事故であった。NASAは事故原因について早急な対策を講じたが、スペースシャトルという技術を中心と位置づけた宇宙開発は事故以降も引き続き継続された。このNASAの対応を、ファインマンは、主要な機器を再使用できるスペースシャトルにより宇宙開発予算の削減を図る米国財務当局や世論、また有翼の宇宙往還機でなければ高精度な人工衛星の配置ができないとする米軍の考え方が背景にあったと批判する。

技術決定論とは、技術が社会を定義し変革する考え方であるが、藤田は真に技術が社会を決定するためには、①技術変化こそが社会の変動要因であり単一の技術が社会全体を変えることと、②技術の発展は社会とは独立した自律的なものであり人間の意思は介入しないという2条件を満たさなければ成り立たず、そのような状況はありえないと指摘する。にもかかわらず、スペースシャトルという技術が米国社会の宇宙開発の在り方を既定とするかのような現象について、まさに社会が技術決定論的状况にあるとして、この問題をラングドン・ウィナーは批判した。

ウィナーは、大型科学プロジェクトにおいて政府や政府からの発注を受けた企業に雇用された技術者が、政府が進める技術開発の方針に異を唱えることの困難さ、与えられた技術が社会的・経済的システムの中に埋め込まれ所与のものにされていることを指摘した。またスペースシャトルの様な特定の技術が前提となり、社会システムがその技術に基づく取組み（NASAの打上げ強行の判断や、その後のスペースシャトルの継続利用）を進める点を取り上げ、ビッグサイエンスにより取り組まれる技術やその研究開発は特定の社会システムと強く結びつき、技術が社会を決定するかのような現況を変革することの難しさを指摘した。

3.2.2 大型科学プロジェクトの社会決定とモード論

ファインマンや藤田、ウィナーの批判をふまえれば、スペースシャトルのような技術の使用を決定するのは他でもない、社会全体である。そうであれば、大型科学プロジェクトは社会が必要とする技術を決する「社会決定論」に基づき推進されるべきであるが、では社会はどのようにして技術の研究活動を決定するのであろうか。科学技術における研究活動の進め方の違いに着目し、モード論として整理したのがギボンズである。ギボンズは、科学技術における研究活動を伝統的な研究活動である「モード1」と問題解決型の研究活動である「モード2」に分け、研究活動の評価が当該分野の知識体系の発展にいかに関与したかで決

定されるモード1と比し、モード2は、特定のディシプリンにとらわれず様々な知識を利用して（トランスディシプリナリティ）研究活動が進められ、その評価は問題解決を成し得たかで決定されるとした。ギボンズは、トランスディシプリナリティの本質はその問題の関係者相互のコミュニケーションを通じた社会的協力による知識の共有と再結合そのものにあり、社会はどのようにして技術の研究活動を決定するのかとの問いに対し、学会等に集まった同じ目的意識を持つ人々（研究者等）が互いのコミュニケーションや社会的な協力活動の中で、研究開発が必要とされるモノや技術に係る知見を変化させ、技術への同意や知見が得られてゆくこと、それにより知識の循環が図られてゆくプロセスによってなされてゆくと説明した。

3.2.3 ラトゥールによるアクターネットワーク論

このような参加主体間のコミュニケーションや社会的な協力活動、これらによる知見や状況の結合と変化が社会に反映され循環されてゆくという点をふまえつつ、技術決定論やモード論ではモノや技術が人間や社会にとって外部要因に過ぎない点を批判したのがラトゥールである。ラトゥールは、ウィナーが取り上げたニューヨーク近郊の海岸への公園道路を事例に、黒人を排除する構造物という理解を批判し、ヒトとヒト以外のモノ、技術論や社会論としてそれぞれ認識されるのではなく、全てが入り混じった多種多様な連関であると主張した。

社会はどのようにして技術の研究活動を決定するのかとの問いに対し、ラトゥールの観点をふまえれば、技術（モノ）が一方向的にヒトに影響を与える技術決定論や、特定の社会や研究分野に参加する人々の間での相互コミュニケーションが新知見を形成するというモード論に代表される社会決定論を乗り越え、研究者自身も巻き込まれている社会的関係、人同士やモノ同士、人とモノ、置かれている環境、それら全てのアクター同士が相互に影響を及ぼし合いネットワークを作り上げながら社会的な知見を発生させ科学技術が選択されてゆくのである。研究者はこの社会的なネットワークの上で、自らが持つ知見を次々に変化させてゆく存在であり、その変化してゆく過程やネットワークの中で研究開発が必要とされる技術への同意や知見が得られるのだと整理することができる。

3.2.4 中間的存在の介在と社会的協力

この観点から、研究者同士やヒトとモノの間、あるいは人とモノの相互作用が働くハイブリッドされたネットワークの一部に、社会に必要とされる研究開発に取り組む専門家のあり方自体が埋め込まれ構成されていると整理したのが上野と土橋である。上野らは、「あらゆるところに行為者としての私たちのあり方を規定する力があり、そうである以上、そこにいかに介入するかが重要な課題となる」と述べ、自分自身、モノ、ヒト、社会的環境のすべてを含みこむネットワークを構築する存在の重要性を指摘する。言

い換えれば、何らかの知見や技術、それに基づく世界が構築され各アクター同士を結びつけるには、その間を仲介し相互作用させる存在が必要であると整理している。

このような人間の関係性、複数の主体が相互作用を及ぼしながら必要な技術やそのための研究開発を社会として決定してゆくには、どのような条件があれば成立するのか。坂井素思は、複数の主体が集合し協力活動が成り立つための条件として、主体同士が異なる役割を持って協力活動に取り組む「複数性」、相互の関係性を持つという「参加性」、主体同士を結んで活動を生成する「介在者性」を挙げた。言い換えれば、複数の人々が集合し研究活動を行う場において、それぞれの集団の間に介在し協力を働きかける存在が必要であり、その介在が研究計画の多様性・分野横断性を高め社会に対し、個々の主体が取り組むよりも社会的にみて高い価値や意味合いを創出してゆく機能を担っている。中間的な存在が本来は異質である者同士を介在し結びつけ横断的な取組を形成する活動を、坂井は「社会的協力」と定義し、「介在者」が存在することで、多様な主体間の協働関係がより効果的に働くことを指摘した。言い換えれば、大型科学プロジェクトのような技術やその為の研究開発は、社会における複数の主体と、それぞれの集団の間に介在し協力を働きかける存在（集団間にある中間的存在）が、相互作用を及ぼしあいながら決定してゆくものと整理できる。

そうであるならば、ウィナーが指摘した通り、現在のビッグサイエンスは「所与の技術」が存在することを前提に進められており、集団間に中間的存在が介在したとしても、その協働や協力は、所与の技術を上回らない程度という限界が課せられる。異質である者同士を介在する中間的な存在の活動が制約される以上、大量のリソースを投入してもビッグサイエンスは社会的な価値の創出を図ることができず、それゆえに中止又は停滞せざるを得ない。つまり、中間的な存在が介在し多様な主体を社会的協力へ媒介し「参画性」を高める機能と環境が、国が「集約性」を強める事で技術を「所与」とする従来の宇宙科学分野の体制には決定的に欠けており、それゆえプロジェクトを進められないまま体制の限界が生じているのである。

3.2.5 二重編み組織と「参画性」

この社会を構成する多様な主体同士及びそれを介在する中間的存在による協働関係こそが社会的協力関係を成り立たせ、社会的にみて高い意義を創出する研究開発やプロジェクトを決定してゆくのであれば、その中間的存在と各主体による協働関係にはどのような特質があるのだろうか。

あるテーマについて関心や熱意などを共有し、その分野の知識や技能を持続的な相互交流を通じて深めていく人々の集団をエティエンヌ・ウェンガーは実践共同体と定義した。実践共同体は、共有された関心や実践、探究発展する価値、プロセスに価値を置き、曖昧な境界、相互依存的な知識、繋がりを作り出し、互恵的貢献や信頼に基づくアイ

デンティティによる結束が特徴で、テーマや関心に基づき構成されるものであるから、同一人物が公式組織（大学や会社）に属しつつ実践共同体の一員として活動することが可能であり、ウェンガーはその状態を多重成員性と定義した。多重成員性により、公式組織は実践共同体の能力を活用し問題解決が図れるとともに、実践共同体は公式組織による取組みから知見を得ることができる。ウェンガーはこれを多重成員性の学習サイクルモデルとして示した。

この実践共同体の多重成員性の概念をもとに、マクダーモットは実践共同体での知識構造の機能を公式組織における現場との相互作用により最大限に活かす枠組みとして、公式組織と実践共同体による複合的な組織概念である二重編み組織を提唱した。公式組織は計画や組織の合意に基づき共同責任で達成する目標や成果に価値をおくのに対し、実践共同体は共有された関心や探究発展する価値、プロセスに価値を置く。両者の境界は相互依存的な知識によって定義づけられることで、二重編み組織を構成する両者の繋がりを作り出すことにより有機的な発展、互恵的貢献、信頼に基づくアイデンティティによる結束をもち、特性の違う公式組織と実践共同体が相互補完的な関係をもつとした。

すなわち、ビッグサイエンスにおいて公式組織と研究者コミュニティ（実践共同体）との間で二重編み組織を構成し、多重成員性の学習サイクルによる知識の循環を図り、また連携し参画度合いを増すこと、言い換えれば「参画性」を高めることで、相互作用を最大限に活用することができるといえる。この「参画性」について、宇宙科学分野において技術を「所与」とするのであれば、二重編み組織とその主体間に相互作用を促す中間的存在の機能には限界が生じる。このような多様な研究者コミュニティや公式組織がかかわりあう社会的協力活動においては、多様な発想と技術に基づくプロジェクトや研究目標の多義化・複合化が必須であり、そのためには二重編み組織内の効果的な社会的協力を働かせるため、多様な主体間を媒介し集団間の相互作用を促す存在が欠かせない。

4. プロジェクトへの協力を媒介するジョイント機能

4.1 大型科学プロジェクト推進のための新たな仕組み

ビッグサイエンスの行き詰まりをふまえれば、現状の仕組み・機能は限界であり、プロジェクトや研究全体の目的・科学的意義を多様化・複合化する仕組みが必要である。つまり関連する研究者コミュニティの取り込み、成果の積極的な共有による関係者の拡大、プロジェクトに賛同する新たな受益者の拡大が求められている。ビッグサイエンスの限界を超えて社会的に高い価値や意味合いの創出へとつなげてゆくには、多様な研究者コミュニティや公式組織がかかわり相互の「参画性」を高め二重編み組織を構成しながら社会的協力活動を推進し、各集団間の相互作用を促してゆく新しい仕組みが欠かせない。すなわち、二重編

み組織の下で多重成員性の下に多数の研究者が共同で研究にあたり（以下「共同研究性」と呼ぶ）、学習サイクルによる知識の蓄積を図り（以下「共同知識性」と呼ぶ）、共有された知識をもとに多様な研究者コミュニティや公式組織の間で新たな研究へとつなげ循環を図る（以下「研究循環性」と呼ぶ）ことで、参加する多様な主体間の「参画性」をより高め、その相互作用を最大限に活用することが可能となる。このような多様な研究者集団や公式組織がかかわりあう社会的協力活動においては、それぞれの集団間の相互作用をより促し社会的に高い価値や意味合いの創出へとつなげてゆく介在役（中間的存在）が欠かせないものと整理できる。

4.2 参画性における3つの視点

現状の大学共同利用機関の制度下では、集約された設備等の効率的な共同利用を図ることに主眼が置かれている。この「集約性」に対し、「共同研究性」「共同知識性」「研究循環性」という3つの特徴からなる「参画性」の概念を活用し、公式組織と研究者コミュニティの相互の連携を強め、ビッグサイエンスに係る関係者の拡大やその目的・科学的意義の多様化・複合化に向けて取り組む必要がある。

具体的には、第一に集約化された設備は国内に同様のものがない為、異なる興味・関心を持つ研究者を意図的に同一チームに編成し共同で利用させ共同研究性を促すことで、設備自体が分野横断的・融合的な研究の端緒となりうる。

第二に、共同研究性の増大が進む分、比例関数的に共同知識性の増大も期待することができる。広範な研究者の参画がより多様な研究成果を生み出すことにつながり、参加する研究者コミュニティや大学共同利用機関にはより広範で体系的な知識・技術的知見が蓄積されてゆく。

第三に、共同知識性の蓄積の厚みが増すことで、その成果を享受し還元される研究者コミュニティが新たな研究開発へ結びつけてゆく研究循環性の発展が可能になる。獲得された成果を研究者コミュニティ全体に適切に共有し検討中の研究構想や進行中のプロジェクトに結びつけることができれば、多様な研究者のプロジェクトへの参画や高度な研究開発の萌芽を創り出す事が可能となる。

言い換えれば、共同研究性と共同知識性の発展が研究循環性を促し、研究者コミュニティへの機会拡大や成果共有を通じた関係者の拡大・プロジェクト等の新たな受益者を広げることで、プロジェクトや研究全体の目的・科学的意義を多様化・複合化する仕組みにつなげられる。

4.3 中間的存在とジョイント機能

4.3.1 組織構造への取り込みと中間的存在

そのためには、プロジェクトの推進をはかり、かつ組織的に参画性を高める構造を構築する必要がある。この点で、大学共同利用機関（特に事例としてとりあげた宇宙研）と研究者コミュニティの関係は、マクダーモットが唱えた二重編み組織の構造と親和性が高いと考えられる。

二重編み組織の特徴と利点の第一は、宇宙研を公式組織と捉えれば、当該分野に関する問題意識や熱意などをもった宇宙科学の研究者コミュニティは実践共同体として位置づけられ二重編み組織の構造に馴染みやすい点である。

第二に、実践共同体は「その分野の知識や技能を、持続的な相互交流を通じて深めていく人々の集団」であり、研究者コミュニティは所属組織を異にしても当該分野の研究テーマに共通の関心を寄せ、参画性を持って協力し研究を行う存在である。このような特徴は、共同知識性の継承と発展に主体的役割を果たす実践共同体の特徴と一致する。

第三に、研究者コミュニティは、公式組織に対し計画を提案し各専門分野の実践知識を提供する。それに対し実行組織は設備等に加え、集約された知識（利用性・共同知識性）を研究者コミュニティに共有する有機的な繋がり（研究循環性）を提供できる環境にあり、これはウェンガーの多重成員性の学習サイクルモデルと同様であり、知識の循環を主要な機能とする二重編み組織の機能と整合する。

4.3.2 研究計画に対するジョイント機能

ビッグサイエンスにおいてはそれぞれの専門分野から多様な知見・関心をもつ研究者が参画する。この多様な研究者コミュニティと公式組織からなる二重編み組織により成立する社会的協力活動においては、それぞれの集団間の相互作用をより促し社会的に高い価値や意味合いの創出へとつなげてゆく介在役（中間的存在）が欠かせない。

言い換えれば、中間的な存在が本来は異質である者同士を介在し結びつけ横断的な取組みを形成する活動が社会的協力であり、介在者が存在することで、多様な主体間の協働関係がより効果的に働きプロジェクトや研究の目的や意義を多様化させ複合化してゆく機能が重要なのである。

この大学共同利用機関と研究者コミュニティ（研究者集団）との間で発揮される機能を「ジョイント機能」と呼ぶならば、例えば宇宙科学分野の研究者コミュニティ内である理工学委員会は、個々に提案されてきた研究計画に対し、従来のボトムアッププロセスのように主に提案をした研究者コミュニティのみを対象にした成果の獲得の視点に限られることなく、ジョイント機能を働かせ、プロジェクトや研究全体の目的や科学的意義の多様化・複合化を模索・検討し「参画性」を高める事が期待される。その結果は研究者コミュニティに投げ返され、科学プロジェクトの目的・科学的意義がより多義化されるよう研究提案の修正・変更がなされてゆくのである。いわば複数分野の研究者コミュニティがジョイント（接合）され、より横断的で必要性の高いプロジェクトや研究計画を推進してゆく。

5. 事例分析

研究者コミュニティと公式組織の中間的存在が果たすジョイント機能について、ジョイント機能が事業の参画性を高めプロジェクト目標の多様化と成功につながったはやぶ

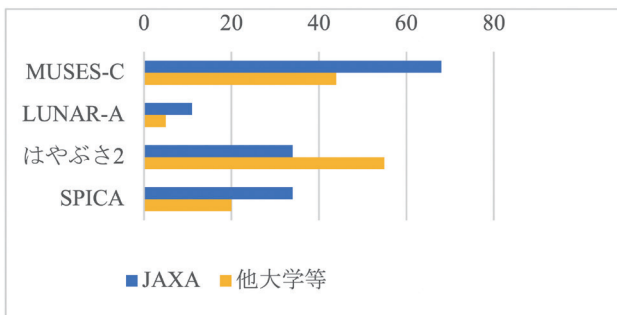
ビッグサイエンスの行き詰まりと研究者集団の参画性：
宇宙科学分野の研究者コミュニティを事例に

さ2と、ジョイント機能や参画性が計画末期に至るまで作用せず計画中止に至ったSPICAを対比し検証する³⁾⁴⁾。

5.1 はやぶさ2

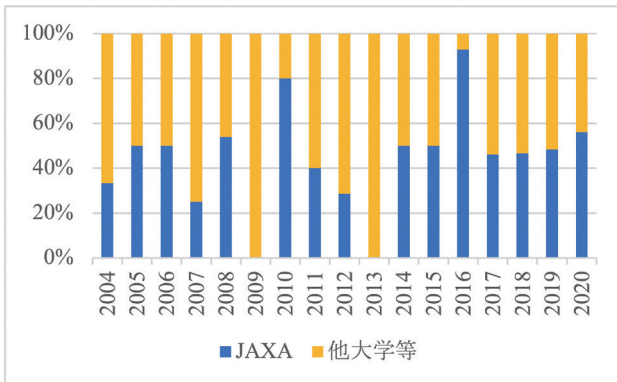
5.1.1 はやぶさ2の概要と参画性

はやぶさ2は、はやぶさ（初号機。以下「MUSES-C」⁵⁾という）の後継機として2014年に打上げられた小惑星探査機である。小惑星リュウグウのサンプルを収集し、2020年12月に大量の試料が入った回収カプセルを分離、地球上へ送り届けることに成功した。



図表1 プロジェクト参画者の所属⁶⁾

図表1からは、MUSES-Cとはやぶさ2の他大学等所属研究者が多く、中止された他計画より参画性が高いことが分かる。どのようなジョイント機能が働いたかは後述する。（LUNAR-Aは月内部の探査を目指す計画で2007年に中止）



図表2 はやぶさ2に係る論文における外部研究者が筆頭著者を占める割合の経年変化

図表2からは、他大学等の研究者のはやぶさ2への参画性がプロジェクト期間全体⁷⁾を通し高いこと（年次平均

55%）が分かる。

5.1.2 はやぶさ2とジョイント機能

はやぶさ2では計画当初から参画性が高いことを確認したが、それではジョイント機能はどのように作用したのか。はやぶさ2では、計画当初から広範囲の研究者の興味を引くことが重要との認識がなされ、公式組織（宇宙研）と研究者コミュニティの間に位置する理工学委員会下のワーキンググループが多様な意見を吸い上げプロジェクトに反映したことが確認できる。

なぜならば、第一に、はやぶさ2はMUSES-Cに続く小惑星探査機であった為、ただの繰り返しではない「惑星科学全体にとってどういう意味を持つか」という科学的意義が計画当初から問われていた。はやぶさ2のプロジェクトサイエンティストになる渡邊は、LUNAR-Aが残した教訓として同計画の目的が絞られているために広範囲の研究者の興味を引くことが困難であった点を指摘している。

第二に、はやぶさ2の検討には日本惑星科学会、日本鉱物科学会、地球電磁気・地球惑星圏学会等の広範囲の研究者の団体から意見が多く寄せられ、科学的目標の設定や探査の意義の検討の為に「宇宙理学委員会として状況把握・評価」の声があがった。それ故、理工学委員会の下に関係分野の研究者で構成された検討ワーキンググループでは、「はやぶさ2をやることでどんな科学的成果が上がるのか、宇宙研外の研究者コミュニティの納得を得る形で科学的意義を設定することに労力を割いた」と主査の吉川真が筆者ヒアリングで述べている。

第三に、中間的存在としての検討ワーキンググループでは、吉川や渡邊らが「探査計画の基礎となるサイエンスの土台」「ミッションを支えるだけの土台」を広げ、コミュニティを拡大して関連する研究者のメンバー、専門とする分野の層を厚くすることに心を砕いたと語っている。実行組織と研究者集団の二重編み組織の中で、ワーキンググループが多様な意見を吸い上げる介在役として機能し、プロジェクト目標が多義化することで社会的に高い価値のあるプロジェクト創出に繋がったことが分かる。

5.2 SPICA

5.2.1 SPICAの概要と参画性

SPICAとは、日本の赤外線天文観測の発展に貢献した天文衛星「あかり」の次世代機である。はやぶさ2と同時

³⁾ 事例分析とする理由であるが、宇宙科学分野においてプロジェクトごとの相違を具体的に比較する必要があること、検討対象となるプロジェクトの絶対数が限られることから、成功ないし中断に至った典型的な事例を抽出し検討する定性的手法がより適していると判断した。

⁴⁾ 論文数は、クラリベイト・アナリティクス社のWeb of Scienceにて算出している。同社の論文収録範囲には限りがあるが本稿の比較検討上、支障ないと判断している。

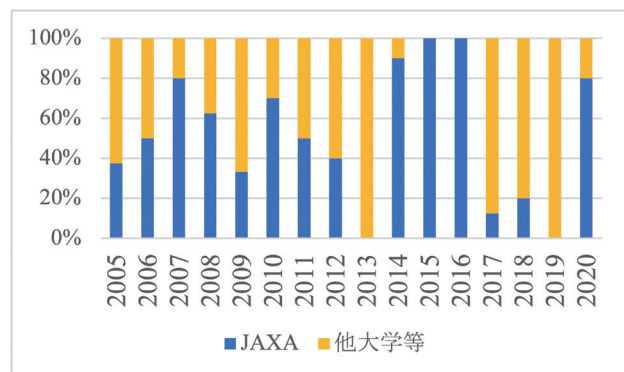
⁵⁾ MUSES-Cは、「はやぶさ」の宇宙研での計画名である。

⁶⁾ ジョイント機能による「共同研究性」及び「共同知識性」「研究循環性」の効能について、各プロジェクトに参画した中核的な研究者の所属別の数を代理変数として示している。

⁷⁾ 宇宙科学分野のプロジェクトの学術成果は、プロジェクト自体の検討や研究開発から得る知見と、観測や試料回収の分析・データに基づく知見に大別される。計画中止された科学衛星との対比の為、はやぶさ2は後者の試料回収による知見創出前の2020年末までを対象に検討する。

期に企画されたが、求められる機能を実現するには約1000億円の予算規模を要し、紆余曲折の末2017年にはESA（ヨーロッパ宇宙機関）が主導し宇宙研が協力する体制となったが、2020年にESA側にて次期衛星候補から取り下げることとなり、事実上の終了が発表された。

図表1からは、SPICAに参加したプロジェクト参画者がJAXAの研究者はほぼ同数なのに比し、他大学等の外部研究者が少なく、参画性が低いことが分かる。



図表3 SPICAに係わる論文における外部研究者が筆頭著者を占める割合の経年変化⁸⁾

図表3からは、他大学等の研究者のSPICAへの参画性が期間全体を通し低いこと（年次平均48%）が分かる。

5.2.2 SPICAとジョイント機能

SPICAではプロジェクトの計画当初から参画性が低いことを確認したが、それではジョイント機能はなぜ作用しなかったのか。その背景として、第一にSPICAの研究者コミュニティが国内外の赤外線天文分野に限られ、「あかり」との差異をより優れた機能要求に求めプロジェクトの目標が先鋭化した。それ故LUNAR-Aのように目的が絞りこまれてしまい広範囲の研究者の興味を引くことが難しくなった。

第二に、目的が絞り込まれたSPICAと赤外線天文以外の複数の研究者集団との間で、プロジェクトの目的や意義についての認識共有や相互の期待が深まらなかった。SPICAに関する最終報告書にも示された通り、SPICAを用いてどのような観測をどの程度行えば（共同研究性）、SPICAにこれから係る研究者でも学術的知見を得られるか（共同知識性、研究循環性）について、SPICAプロジェクトは説明とゴールのイメージ共有を図る必要があった。SPICAは、結果として代替性を取り難いプロジェクトとなり、ローレンスとローシュが論じたコンティンジェンシーが作用しなくなった。これにより、プロジェクトの目標の多様化・複合化が図れていれば可能なはずの、コスト低減と引き換えに観測精度の要求を下げる検討や、観測

目的を絞り込みコアの目標に注力する、といった代替案を選択できなくなった。

第三に、はやぶさ2と異なり理工学委員会に中間的な存在として複数主体の連携を働きかける作用（ジョイント機能）が不足していた点があげられる。SPICAの体制について見直しが図られていた2014年から2017年にかけて、宇宙研に専門の委員会が置かれ中間的存在として「SPICAに直接取り組んでこなかった外部研究者をも巻き込んだ検討」に取り組んだが、すでに大枠の目標が設定された中で、比較的関連性の高い電波天文学や惑星科学分野などの研究者コミュニティの意向をこの段階でプロジェクトに反映し参画させてゆくことは困難であり、ジョイント機能による効果は限られ、プロジェクトへの中止へと至った。

5.2.3 はやぶさ2とSPICAの対比

以上をふまれば、SPICAは研究者コミュニティと公式組織による二重編み組織、特に個別プロジェクトの「共同研究性」「共同知識性」「研究循環性」を高める中間的存在である理工学委員会のジョイント機能が当初からは働かず、その結果、プロジェクトの目的や科学的意義の多様化・複合化が十分にはなされず、それ故にプロジェクトの行き詰まりに直面したと結論づけることができる。

具体的には、はやぶさ2とSPICAは宇宙研と研究者コミュニティの二重編み構造の中であって、第一に研究者コミュニティが他の複数の関連研究分野への広がりを早期に意識していたか、第二に計画の初期から他領域の研究者集団と情報発信や共有など関係性を持つことができたか、第三にそれら多様な主体同士を中間的存在が介在し具体的に結び付けることができたかについて、はやぶさ2とSPICAとの違いを確認した。以上の確認結果は、個別プロジェクトの「共同研究性」「共同知識性」「研究循環性」から成る「参画性」を高めることで、研究開発の目的・科学的意義の多様化・複合化を図り大型科学プロジェクトの行き詰まりに対応してゆくためには、二重編み組織の中にあって公式組織と研究者コミュニティの間にある中間的存在がジョイント機能を働かせることが重要であるという本稿の主張と一致するものである。

6. 結論

6.1 まとめ

本稿は大規模化する宇宙科学分野のプロジェクトを事例に、研究者コミュニティと公式組織によるビッグサイエンスの実施体制に限界が生じている点について検討した。

宇宙科学分野の行き詰まりを乗り越えるには、多様な発想と技術に基づくプロジェクトや研究目標の多義化・複合

⁸⁾ 図表2及び図表3では各プロジェクトのジョイント機能による「参画性」の効能と経年変化を把握する為、それぞれの事業の責任者であるプロジェクトマネージャーが共著者として参画する各衛星の成果を含む学術論文を対象に、その筆頭著者の所属別数を代理変数として示している。

化が必須であり、そのためには二重編み組織内の効果的な社会的協力を働かせるため、多様な主体間に介在し集団間の相互作用を促す機能が重要である。本稿では、この集団間の協力を生み出し各主体の「参画性」を高める機能をジョイント機能と整理し、中間的存在がジョイント機能を作ることによってビッグサイエンスの限界を乗り越えるため重要であることを明らかにした。

ジョイント機能を働かせる中間的存在は、研究者コミュニティ（実践共同体）と公式組織をジョイントする役割を、なぜ果たすのか、以下改めて確認する。

ビッグサイエンスに必要な設備の集約や研究者が共同で利用できる体制について、大型科学プロジェクトの中止等が近年多発するようになり、研究者コミュニティと公式組織による従来の体制に限界が生じている（2項）。先行研究をふまえば大量のリソースと広範な協力を要するビッグサイエンスにおいては、多様な主体間が相互に作用しあい参画の度合いが強くなれば新たな技術や研究開発の採用と発展は困難であり、限界を迎える。それ故に複数の人びとが集合し活動する集団同士を参画させ結び付け、異質な他者の間に社会的な協力関係を構築する必要性があり（3項）、そのためには研究者コミュニティと公式組織の中間的存在が各主体に介在し働きかけ、各主体の参画性を高めることで、研究計画の高度化と主体間の協働関係をより効果的にする必要があった（4項）。この点についてはやぶさ2とSPICAの比較と事例分析を通じ検証した（5項）。本稿では、この集団間の協力を生み出し各主体の「参画性」を高める機能をジョイント機能と整理し、中間的存在は研究者コミュニティと公式組織の間でジョイント機能を担い、関係各分野からの提案等の取り込みを通じ参画性を高め一体となるよう接合（ジョイント）し、プロジェクトに多様で複合的な科学的意義や目標を与えると主張した。

6.2 今後の課題

より高度に専門化してゆく学術研究を進めるには、国内だけでは対応が困難な大規模プロジェクトを必要とする事例も出てくるであろう。また中間的存在には、中長期を見据えた複数の探査機・科学衛星にまたがる戦略的なとりまとめなどが期待されることもありうる。このような場合において、ジョイント機能を働かせる中間的存在には、より広範な観点から研究者コミュニティ全体を俯瞰し結び付け、より複合的で分野横断的な性格を持つ高度なジョイント機能を担い発展させることが求められるであろう。そうした視点については、今後の研究課題として取り組みたい。

謝 辞

本研究の遂行にあたり、指導教官として終始多大なご指導を賜った、放送大学 大学院文化科学研究科 特任教授 坂井素思先生に深謝致します。

文 献

- 明石博行. 科学技術基本体制にかんする覚え書き. 駒沢大学 駒沢大学経営学部研究紀要. 2011年. 第 40 号. p39-88
- ブルーノ・ラトゥール. 科学が作られているとき：人類学的考察. 川崎勝/高田紀代志訳. 産業図書, 1999年.
- Derek John de Solla Price. Little science, big science. Columbia University Press. 1963.
- 藤田康元. 技術決定論と技術者倫理：政治的想像力と技術選択における技術者の責任. 2019, 東京電機大学総合文化研究, 第17号, p69-78
- 秦明夫. 大学共同利用機関の組織論的特徴について. 埼玉工業大学出版会, 埼玉工業大学教養紀要, 2004, 22巻, p5-19
- 井原聰. マンハッタン計画の全体像について. 茨城大学教養部, 茨城大学教養部紀要, 1984年, 第16号, p81-104
- 加治木伸哉. 宇宙科学研究所の歴史に関する調査報告：理学と工学の連携の系譜. 宇宙航空研究開発機構特別資料. 2020.
- マイケル・キボンズ. 現代社会と知の創造：モード論とは何か. 小林信一監訳. 丸善, 1997年. 原書名 The New Production of knowledge. SAGE Publications, 1994.
- 松本雄一. 二重編み組織についての一考察. 関西学院大学商学研究会, 商学論究. 2012, 59巻4号 p73-100
- 松浦晋也. 小惑星探査機「はやぶさ2」の挑戦. 日経BP, 2014.
- リチャード・P・ファインマン. スペースシャトル『チャレンジャー号』事故少数派調査報告. ファインマンさんベストエッセイ. 大貫昌子, 江沢洋訳. 岩波書店, 2001.
- ラングドン・ウィナー. 鯨と原子炉：技術の限界を求めて. 吉岡斉他翻訳. 紀伊國屋書店, 2000年
- 坂井素思. 社会的協力論〔改訂版〕：いかに近代的協力の限界を超えるか. 放送大学教育振興会. 2020年
- 豊田利幸. 核時代における科学と政治. れんが書房, 1972年
- 徳永保. 大学共同利用機関制度の成立. 東京大学 大学総合教育研究センター ワーキングペーパー. 2018, p.10-16
- 上野直樹・土橋臣吾編. 科学技術実践のフィールドワーク：ハイブリッドのデザイン. せりか書房, 2006年
- Weinberg, Alvin M. Impact of Large-Scale Science on the United States. Science. 1961, 134 (3473), p161-164
- E. R. Wenger, R. McDermott, W. Snyder, Cultivating Communities of Practice: A Guide to Managing Knowledge. Boston: Harvard Business School Press. 2002. p23-47. (野村恭彦 (監修). コミュニティ・オブ・プラクティス：ナレッジ社会の新たな知識の実践. 2002. 翔泳社.)