

2015 年度科学技術インタープリター養成プログラム修了論文

専門家と非専門家の認識の差異

～宇宙太陽発電をテーマとしたサイエンスコミュニケーションを通して～

Cognitive Gaps between Specialists and Non-specialists

: The Case of Science Communication on Space Solar Power Systems

2016 年 3 月

東京大学大学院 総合文化研究科 広域科学専攻 修士課程

科学技術インタープリター養成プログラム 10 期生

石田 悠

指導教員 岡本 拓司准教授

| | |
|---------------------------------|------------|
| 要旨 | 71 |
| 1.はじめに | 72 |
| 1-1. 背景..... | 72 |
| 1-2. 問題意識 | 74 |
| 1-3. サイエンスコミュニケーションに関する研究 | 74 |
| 2.事例 | 78 |
| 2-1. 宇宙太陽発電 | 78 |
| 2-2. 宇宙太陽発電学会 | 79 |
| 2-3. 宇宙太陽発電への評価と社会受容調査 | 80 |
| 3.研究の枠組み | 82 |
| 3-1. 本研究の目的..... | 82 |
| 3-2. 事例選択の妥当性 | 83 |
| 3-3. 本研究の問題設定 | 83 |
| 3-4.本研究の視点..... | 84 |
| 4.方法 | 86 |
| 4-1. 企画概要 | 86 |
| 4-2. 調査内容 | 91 |
| 4-3. 分析方法 | 92 |
| 5. 結果 | 93 |
| 5-1. データ回収結果 | 93 |
| 5-1-1. 設問 1 本人について | 93 |
| 5-1-2. 設問 2 3 分類の順位 | 94 |
| 5-1-3. 設問 3 Q の記入率 | 95 |
| 5-1-4. 設問 4..... | 96 |
| 5-2. Q の比較 | 98 |
| 5-2-1. Q のカテゴリ設定 | 98 |
| 5-2-2. 「科学者」と「市民」の回答率比較..... | 99 |
| 5-2-3. 旧太陽発電衛星研究会 Q&A との比較..... | 101 |
| 6. 考察 | 102 |
| 6-1. 「説明のズレ」の可視化 | 102 |
| 6-2 価値観や疑問点のすり合わせをおこなう方法..... | 104 |
| 6-3 説明の 3 分類の効果について..... | 106 |
| 7. 結論 | 106 |
| 謝辞 | 109 |
| 文献 | 109 |
| 付録 | 111 |
| インタープリター養成プログラムを受講して | 131 |

要旨

本研究では宇宙太陽発電学会の協力のもと、宇宙太陽発電をテーマにしたサイエンスカフェを実施し、参加者へのアンケート調査と学会関係者へのアンケート調査を分析し、非専門家と専門家の認識の差異の可視化と差異のすり合わせを行う方法の提示を試みた。

サイエンスコミュニケーションの目的として、科学者と一般社会の価値観や疑問点、認識の差異や共有点を可視化し、そのすり合わせをおこなうことが挙げられている。本研究ではこうした差異を生む要因の一つが、サイエンスコミュニケーションの場における「科学者の考える“市民が知りたがる説明”」と「市民が実際に聞きたい説明」のズレであると想定した。その上で、このズレの存在を確認し可視化すること、そしてそれを解消するための具体的なアプローチの提示を本研究の目的とした。

調査としては、科学者による講演の機会を利用させていただき、i)講演内容を「宇宙太陽発電のシステム、技術」「学会や関係する研究者」「実現の社会的メリットやリスク」の3つの枠組みを用いて分け、参加者にどの話が面白いかに投票してもらい、ii)3つの枠組みそれぞれについて、科学者への「質問」を、一般参加者と学会関係者に記入してもらい、内容によって分類し比較する、という2つを行った。これらを3つの異なるイベントで実施した。

得られた結果から、i)あるトピックをどの分類と考えるかは、説明をしたにも関わらず各個人で大きく異なっており、講演者が枠組みを設定する方法は上手く機能しなかった。ii)「質問」の分類の頻度から、非専門家と専門家の間で疑問点や関心の相違が観察された。そして、設定したカテゴリと採集した質問から、具体的により参加者の興味関心に近づけた内容を提示した。こうした結果から「質問」を集め分析することで、非専門家と専門家の双方に有益なサイエンスコミュニケーションの可能性が示された。

Abstract

This study examines cognitive gaps between specialists and non-specialists by conducting the science café on space solar power systems and obtaining information through surveys on participants and scientists. Closing gaps in values, questions and understanding between scientists and the general public is the purpose of science communication. In this research we assume that the gaps arise from a difference between (i) questions which scientists think the public would like to know and (ii) questions which the public truly would like to know.

On this assumption, two different approaches were attempted: (1) In two distinct events two different scientists gave a talk about SSPS on three separate topics: its technology, scientists in this field, and its social influences. Then participants were asked to select the topic they felt curious about. (2) Questions for scientists (specialists) concerning SSPS were gathered in the two science events and a symposium of the SSPS society, and then categorized to several groups. Then the scientists' preference and that of non-specialists were compared.

The results visualized gaps between specialists and non-specialists and enabled us to formulate a question list reflecting the understanding of non-specialists in general. We conclude that this method can improve future science communication.

1. はじめに

1-1. 背景

近年、科学技術に関わる社会問題の解決のために、科学者と一般市民が顔を合わせてコミュニケーションをおこなう、サイエンスコミュニケーションが求められており、その専門家である「サイエンスコミュニケーター」の育成に大きな関心が集まっている¹⁾。(なお、Science Communication には科学コミュニケーション、科学技術コミュニケーションなど、複数の訳語があてられているが、引用などを除き本稿では「サイエンスコミュニケーション」で統一する。それに従い、サイエンスコミュニケーション活動を実施・補助する人々は「サイエンスコミュニケーター」とする)

渡辺ら(2003)によると、サイエンスコミュニケーターとは広い意味で「科学技術の専門家と一般公衆の溝を埋める役割を果たす人」を指し、具体的には次のような人々を念頭に置いている²⁾。

- 大学・研究機関・企業・団体の科学技術広報担当者
- 新聞・雑誌・テレビ・ラジオ等の科学記者
- テレビ・ラジオの科学番組制作者
- 科学書・科学雑誌の編集者
- 科学書・科学記事を執筆するサイエンスライター(専業)
- 科学書・科学記事の執筆や講演をする科学技術研究者兼サイエンスライター
- 科学系博物館関係者(いわゆるインタープリターを含む)
- 理科・科学等の教師
- 科学技術理解増進活動のボランティア

したがってサイエンスコミュニケーターとは特定の職能集団ではなく、共通した役割・機能を果たす人々を指すと考えられる。この「溝を埋める」という目的について、同じく渡辺(2008)はサイエンスコミュニケーションの定義として「従来の、科学者から門外漢への一方的な解説ではなく、互いの考え方や理解力を勘案したコミュニケーションを促進することにより、科学技術が一般社会に浸透していくことを目指す活動」³⁾と説明している。藤垣・廣野(2008)は「(科学技術についての)理解を深めるサイエンスコミュニケーション」と「議論を深めるためのサイエンスコミュニケーション」では内実が異なる⁴⁾とし、科学技術をめぐる意思決定の議論の場への市民の参加のために、科学技術を分かりやすく説明するだけではなく、市民の持つローカルノレッジを引き出すことを(サイエンス)コミュニケーターの役割として挙げている。

こうしたサイエンスコミュニケーターによるサイエンスコミュニケーションの活動としてよく知られるものに「サイエンスカフェ」がある。これは『平成16年版 科学技術白書』によって紹介され、その様々なメディアが相次いで取り上げたことにより日本での知名度が高まった(中村, 2008)⁴⁾。サイエンスカフェは90年代にフランス・イギリスで誕生した。そこでは一般市民と科学者が対等に交流し、議論をおこなうことが目的とされていた。そうした試みは日本に紹介され、多様な捉え方・解釈のもと主催者側のアレンジにより様々な形式で行われている。従って現在日本で一般的に行われているサイエンスカフェの形式は、当初のフランスやイギリスのそれとは大きく異なってきている。中村英国でサイエンスカフェを主導してきたトム・シェークスピア(Tom Shakespeare)の言葉を以下のように紹介する。

(サイエンスカフェで)重要なのは、専門家の話題提供がカフェの中心になるのではなく、議論と意見交換が中心となることである。参加者は研究者や学生ではなく、一般市民である必

要がある。サイエンスカフェの目的は、科学的事実を伝えることではなく、問いを提示することであるべきだ。たとえば、「この研究は私たちにとってどんな意味があるのか?」「影響をこうむるのは誰なのか?」「私たちにはいかなる変化がもたらされるのか?」「なぜわざわざそんなことに注意を払わなければならないのか?」といった問いである。

これは藤垣・廣野が提示した「議論を深めるためのサイエンスコミュニケーション」にあたりと考えられる。こうしたサイエンスカフェの特質は、「双方向性コミュニケーション」や「対話」という言葉で表されている。

サイエンスコミュニケーション活動を組織的に実施している機関として、日本学術会議が挙げられる。日本学術会議は2004年「社会との対話に向けて」と題した声明文において、「科学者が社会と対話をする事、特に人類の将来を担う子どもたちとの対話を通して子どもたちの科学への夢を育てることが重要であると考え⁶⁾」と述べ、「日本学術会議は自ら、科学に対する社会の共感と信頼を醸成するために、あらゆる可能な行動を行う」ことを宣言した。この声明を受け、サイエンスコミュニケーションを重要な活動として位置づけ、その実践としてサイエンスカフェの開催を続けている。そして『サイエンスカフェについて』における実施手順の項において、以下のようにサイエンスカフェの目的を明示している。

日本学術会議は政策の提言にとどまらず、国民と科学をつなぐ科学コミュニケーターの役割を積極的に果たすべきである。今回実施するこのサイエンスカフェでは、日本学術会議会員が一科学者として率先して市民と同じ空間・時間を共有し、価値観や疑問点のすり合わせを行い、科学者と一般社会の双方の認識のずれや共通点を顕在化させると同時に、日ごろから対話する文化をつくり科学技術についての会話に対する素養を国民すべてがもてるようにすることを目的とする。⁷⁾

日本学術会議のこうした規定に従うならば、サイエンスコミュニケーターの役割はその達成のためにサイエンスコミュニケーション活動を行ない、実践の場のひとつであるサイエンスカフェの内容を改善していくことである。本研究は東京大学科学技術インタープリター養成プログラムの一部として行われるため、サイエンスコミュニケーション活動を実際に行ない、その質を高めることが重要な課題であると考えた。

サイエンスカフェを実施する機会を求めたところ、宇宙太陽発電に関わる研究者をゲストとして招いた科学イベントの企画や実施に関わる機会を得ることができた。またそうした場で自由に設計したアンケート調査を行ない、データを収集して分析できることとなった。こうした場においてどの様なデータを収集すればよいのか、どうすればサイエンスコミュニケーション活動を「改善」していけるのかという視点から、これまで行われた実施報告や研究を参考にし、サイエンスコミュニケーション活動をおこなった。

1-2. 問題意識

日本学術会議が掲げるサイエンスカフェの目的をまとめると以下の3つに大別できる。

- 「科学者と市民の価値観や疑問点のすり合わせをおこなう」
- 「科学者と一般社会の双方の認識のずれや共通点を顕在化させる」
- 「日ごろから科学者と市民が対話する文化をつくり、科学技術についての会話に対する素養を国民全てがもてるようにする」

これらの目的は 1-1 で挙げた渡辺らや藤垣・廣野、中村の説明とも矛盾していない。サイエンスコミュニケーションは目的を持った活動であり、上記の目標を達成するにはその実践からフィードバックをおこない、内容を改善することが望ましいと考える。そこで、サイエンスカフェの実施方法や内容をどのように改善しているのかについて、サイエンスカフェの実施報告やいくつかの研究を調査した。

1-3. サイエンスコミュニケーションに関する研究

実施に先立ち、サイエンスコミュニケーションの実践の場であるサイエンスカフェにおいて、どのようなことが調査されているのか、そうしたデータの蓄積によりコミュニケーションを改善していく方法が示されているのかどうかを調査した。

サイエンスカフェの実施報告

日本学術会議が主催しているサイエンスカフェは、2006年の開始以来200回以上開催されている日本で最大規模のものの一つである。日本学術会議会員や連携会員を「講師」として招き、必要に応じ「科学コミュニケーター」をファシリテーター（またはコーディネーター・司会進行役）として起用し、一般参加者と「サイエンス」について自由に対話・議論する場を日本学術会議が提供する。したがってサイエンスカフェというイベントの主催者は日本学術会議であり、講師として登録、あるいは招かれた科学者は日本学術会議の掲げるサイエンスコミュニケーションの理念に一定の理解や賛同を持つ人々であると考えられる。こうした活動は日本学術会議のHP⁸⁾上に告知され、実施後にいくつかのサイエンスカフェは、その当日の様子などを「結果報告」としてHP上に掲載する。参加費や定員、結果報告の有無はそれぞれ異なっており、講師やイベント会場の要望に応じて変更されていると考えられる。

2016年2月現在公開されている範囲において、2015年の開催回数は19回、そのうち結果報告が掲載されているものは8回であった。同様に2014年は23回開催中結果報告は9回、2013年は23回中結果報告は6回掲載されている。これらの結果報告では、日時やテーマ、参加人数といった基本情報が共通して記され、(i) 内容の概説、(ii) 当日の質疑応答の概説、(iii) ファシリテーターのコメントが書かれている。(i)~(iii)はそれぞれ記述量・図の有無・小見出しなどの形式は全て異なっており、それぞれの報告者の裁量や講師の事情に委ねられていると推測される。2015年では内容の概説とコメントは全てに共通していたが、当日の質疑応答については省かれているものも見られた。

研究途上段階にある科学技術についてサイエンスコミュニケーションをおこなった研究として Erinら(2012)⁹⁾による、合成化学をテーマとしたサイエンスカフェの実施報告研究がある。これは遺伝子操作や生物体構造を人工的に作り出すといった、未だ一般的な技術として確立されておらず、か

つ議論を呼ぶような科学技術について、サイエンスカフェによる市民参加を実施し、そこで行われた議論やアンケート調査を分析したものである。合成化学の専門家として科学者や社会学者、生命倫理や法律の専門家を招き、27~150という小規模~大規模なサイエンスカフェを複数回実施し、合成化学についての知識の有無、専門家の講演への反応、合成化学への受容、合成化学やサイエンスカフェについての意見などをアンケート調査した。

この研究では参加者の社会的立場や知識の有無ごとの「期待と不安」や「科学者への信頼」、「サイエンスカフェ参加経験の有無」などが結果として示されている。また、得られた自由記述による28の質問を分析し、(i)合成化学の内容に関する質問、(ii)実現までの時間、(iii)途上国での利用可能性の3つが全てのサイエンスカフェで共通して挙げられていたことなどを報告している。

同様にサイエンスカフェを実施した報告をおこなった紺屋(2008)¹⁰⁾は、サイエンスカフェの形式に注目し、20~30人の小規模なサイエンスカフェを成功させるためのいくつかの試みを実施している。参加者同士の会話がおこなわれるような実施の工夫や、参加者層をコントロールするような広報の方法が示されている。調査としては参加者にアンケートをおこない、参加の動機やサイエンスカフェ参加経験の有無、用いた試みの効果などを収集し、データとして提示している。こうした取り組みから、サイエンスカフェの双方向性の確保のためにアンケート調査だけでは不十分であり、参加者との直接の対話から意見を聞く必要性を指摘している。

サイエンスカフェ参加者の調査

加納ら(2013)¹¹⁾¹²⁾はサイエンスカフェを始めとする科学イベントにおいて、どの様な人が参加しているかを認識することがサイエンスコミュニケーション活動の実践を改善していく上で必要であると考えた。「双方向コミュニケーション」をおこなうには「誰と対話しようとしているのか」を把握することが必要であるとし、サイエンスカフェ参加者を「一般市民」と一括にするのではなく、いくつかの層に分けて捉え直すための評価方法を提案した。その実践として3つの質問項目の回答結果から回答者を6つのセグメントに分類し、「科学・技術への関与」という軸を用いて一般市民を「高関与層」と「低関与層」に分ける手法を用いて、大規模なインターネットモニタリング調査をおこなった。またサイエンスカフェなどの小人数対話型科学イベントや中・大規模の講演会や科学フェスティバルでもアンケート調査をおこなった。

インターネットの調査から、日本全体における科学技術への「高関与層」と「低関与層」の割合はほぼ半々であることが明らかになった。一方、サイエンスカフェや中・大規模の科学イベントの参加者は「科学への高関与層」が中心になっていることが明らかになった。こうした調査から、日本全体では「科学技術の低関与層」が半数を占めているにも関わらず、サイエンスカフェや科学イベントへの参加者は科学技術に関心のある人々で占められていることが明らかになった。したがって、科学者コミュニティ以外の人々と気軽に科学技術について語り合うことで、社会の中に科学技術を位置づけるための手段であるはずのサイエンスカフェが、現状では「科学技術の低関与層」が参加しづらい場になっている可能性を指摘している。サイエンスコミュニケーション活動に関わる人々が「実感」として経験してきた可能性のあるこうした点を、エビデンスを示して可視化している。

サイエンスカフェで行われるコミュニケーションの調査

サイエンスカフェなどの場で実際に行われるコミュニケーションに注目した研究として、高梨ら(2012)¹³⁾のコミュニケーションの観察研究が挙げられる。サイエンスコミュニケーションの目的として挙げられている「双方向性コミュニケーション」について、どのような形のコミュニケーションをおこなえば「双方向」が達成出来るのか明確ではないことを指摘し、単に科学者が市民からの質問に丁寧に応答する「授業」や「説明」形式では十分ではなく、サイエンスコミュニケーションの場での会話参与の役割が固定的でないものが望ましいと仮定した。つまり固定的で非対称的な役割関係ではなく、科学者と一般参加者とがより柔軟な関係に立ってコミュニケーションをすることで、双方向性が向上するということである。

こうした考えのもと、実査に実施されたサイエンスカフェのビデオ録画を分析し、うまくいっている・いっていないコミュニケーションを科学者にフィードバックすることで、科学者にサイエンスカフェの場での振る舞いを向上させ、コミュニケーションの双方向性を向上させることができると提示した。科学者のサイエンスカフェにおける会話の中での自身と参加者の参与役割やそれぞれの背後のメンバーシップに配慮を向ける振る舞いなどを向上させ、特にファシリテーターに依存しない科学者自身のコミュニケーション能力を向上させることが重要であるとした。

日高ら(2014)¹⁴⁾は同じくサイエンスカフェの場でのコミュニケーションに注目し、参加者・科学者・ファシリテーターから構成される集団がどのように構成されているかを調査した。15～25名の小人数サイエンスカフェで行われた会話の観察やインタビューから、そこでおこなわれた発話をKJ法によってカテゴリ分けし、「何かを得に来た」ことを示唆する発言(テーマに関係する知識を得る、場の「手続き」について知る、スピーカーの人物像に迫るなど)と、「何かを言いに来た」(自分の意見を述べる)ことを示唆する発言に大別できることを発見した。前者は参加者の「質問」に科学者が「回答」という形式の会話だが、後者の参加者の発言は「問い」ではなく自分の考えを述べる形式でなされていた。この結果から、サイエンスカフェにおける「対話」の性質を明確に表しているのは、「自分の意見を述べる」カテゴリに属する発言と考え、前後関係も含めたディスコース分析をおこなった。

それによると、対話構造は(i)収束:発話に不足する情報を付け加え、共通の見解に至るよう収束させる、(ii)発展的修正:事実誤認などの修正をおこないながら、場の対話を発展させる形で位置づけ直す、(iii)流し:発言に対し返答をしない、の3つの分類できることが明らかになった。そしてこうした調査から、サイエンスカフェの主催者(ファシリテーター)は「発展的修正」の場合のみ市民の発言に介入していることも明らかにされた。したがって日高らは「ファシリテーター」の発言によって示される「ファシリテーション機能」について、「市民参加者が自分の意見を述べることを不適切にしない」機能であるとしている。具体的には、言葉の知識や定義についてある程度の「正しさ」を示すこと、参加者が「自分の意見を述べること」を容易にすることであるという。こうした実際の会話の構造の分析から、ファシリテーション機能はサイエンスカフェを始めとした「専門家」と「非専門家」のコミュニケーションの場において不可欠なものであると指摘している。

本研究との問題意識の相違

これらの試みを本研究における問題意識から考察する。

日本学術会議のサイエンスカフェ実施報告では、サイエンスカフェやサイエンスコミュニケーションの目的を自ら提示し、かつ講師(科学者・専門家)の登録制度を用いてサイエンスコミュニケーション活動の向上を図っている。しかしながらサイエンスコミュニケーターの役割として掲げる「価値観や疑問点のすり合わせをおこなう」「科学者と一般社会の双方の認識のずれや共通点を顕在化させる」、そして「日ごろから対話する文化をつくり科学技術についての会話に対する素養を国民全てがもてるようにする」という目標について、サイエンスカフェの実施によって達成されたか、向上されたかについて言及しているものはない。また、開催の意義として明示している「国民の科学に対する理解の増進」「日本学術会議が今後発信していく提言や要望につなげる」「日本学術会議の活動を目に見える形で社会に還元」「科学コミュニケーターの育成」についても、それを調査したという説明はされていない。ただし、「開催の意義」については、サイエンスカフェ参加による知識の増加、HPでの内容の開示、サイエンスカフェの満足度などによって評価をしている可能性もある。Erinらの研究では主に調査していたのは「テーマ(合成化学)への認識」であり、紺屋のものは実施に対する感想である。これらはサイエンスコミュニケーションの改善のために、一般化出来るような情報収集の枠組みを提示するものではなかった。

参加者についての理解を深めることがサイエンスコミュニケーションを向上させるという視点による加納らの調査は具体的で、かつ改善の方向性が明確に示されている。しかしながら、実際のサイエンスカフェの実施において科学者やサイエンスコミュニケーターがどのような設計をおこなえばよいか、どのような形でコミュニケーションや説明をおこなえばよいかを調査したものではない。こうしたデータにもとづきサイエンスカフェを行う場合、対象者を広げ「低関与層」にアプローチする、「高関与層」の満足度を高める、など目的によって様々な設計が考えられる。

実際に行われているコミュニケーションを分析することで、サイエンスコミュニケーションでの「双方向性」の向上を目指す高梨らの視点は日本学術会議が掲げるサイエンスコミュニケーターの役割とよく一致している。しかし、そこで提案されるのは科学者のコミュニケーション能力の向上などであり、個々の実施内容を細かく分析する必要があるため、どのように改善したほうがいいのかという方向性の決定にコミュニケーション分析の専門知識や技術が必要な可能性もある。日高らの提示したファシリテーターの役割は、サイエンスコミュニケーションにおいてサイエンスコミュニケーターの重要性を裏付けるものである。しかしこの研究でもファシリテーター機能を改善・向上していくためには、どのような情報を収集し、どのようなプロセスをおこなうことがよいかには触れていない。また、サイエンスコミュニケーションのテーマの認知度との関係も考慮する必要がある。

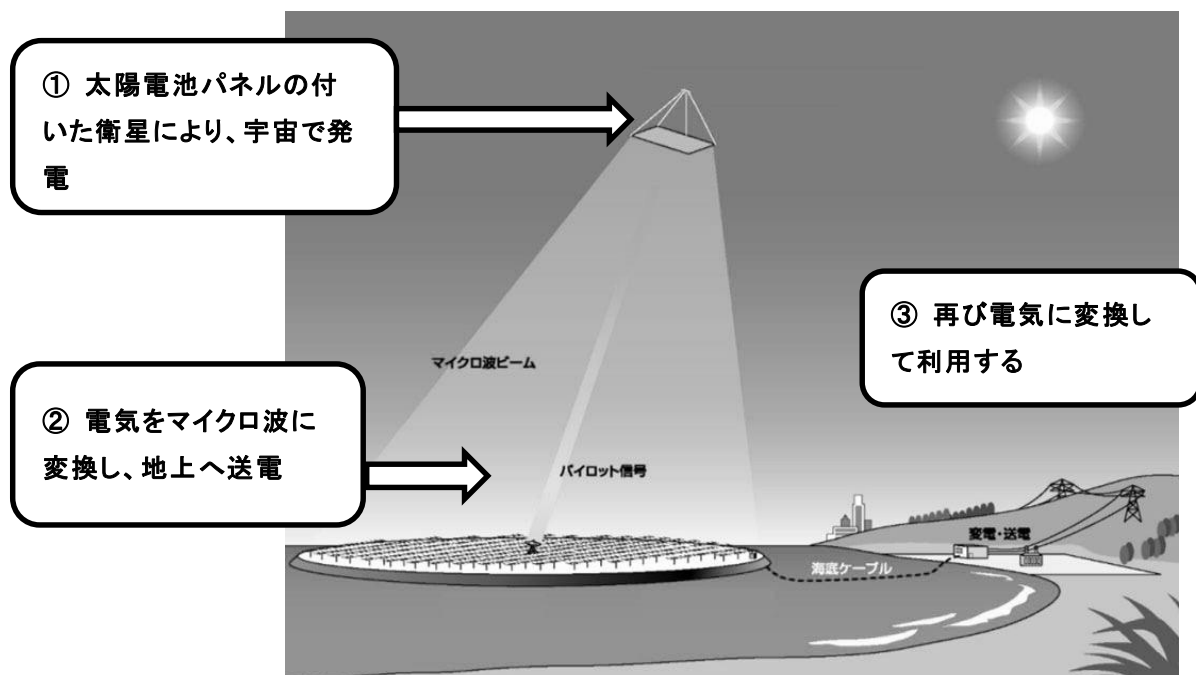
以上のサイエンスカフェ・サイエンスコミュニケーションに関する調査では、日本学術会議の掲げる目的に向けて具体的にどのようなデータを収集すればよいか、宇宙太陽発電というテーマでどのような形の調査を行えばよいかについて明確な方法は得られなかった。本研究で設定したサイエンスカフェの目的やサイエンスコミュニケーターの役割について、その達成度・改善度という視点からは調査されていなかったとも言える。したがって、達成度や改善度を測るために「なにを分析対象(パラメーター)とするか」を設定する必要がある。それには本研究の事例(テーマ)である「宇宙太陽発電」の特質を考慮する必要があると考えた。そこで次に事例である宇宙太陽発電についての調査をおこなった。

2. 事例

本研究におけるサイエンスコミュニケーション活動でテーマとなる宇宙太陽発電(SSPS: Space Solar Power Systems)について、その技術的な側面とサイエンスカフェを行う宇宙太陽発電学会について以下に概説する。また、宇宙太陽発電と社会との関わりに関して行われている調査についても調べた。

2-1. 宇宙太陽発電

宇宙太陽光発電とは、宇宙空間で超大型の太陽電池パネルを展開し、太陽光から発電した直流の電気エネルギーをマイクロ波に変換して、宇宙の送電アンテナから地上の受電アンテナへ伝送し、再び直流に変換して利用するという発電システムを指す。図.1 に概要を示す。太陽発電のシステムは高度3万6千kmの静止衛星軌道上にあり、日照時間や天候にほぼ影響を受けずに発電を続ける。米国の構想では、太陽発電衛星の発電部は5km×10km、全質量は5万トンであった。最新の日本の設計であるJAXA2004モデルでは、発電衛星の重さは約1万トン、発電電力200万kw、地上での利用電力は100万kwとされている。SSPSが発電した電力を地上に送るための無線エネルギー伝送として、マイクロ波を用いるものとレーザー光を用いるものが想定されている。JAXA2004モデルでは5.8GHzのマイクロ波が想定され、受電部であるレクテナの整流回路で直流に変換して利用する。このレクテナは直径2kmほどの面積が必要となると試算されている¹⁵⁾。



【図.1 宇宙太陽発電システム概要】

SSPSの技術的なメリットとして松本(2011)は、

- 効率の良さと安定性: 地上の太陽光発電システムと比較し、年2回の地球の影に入る食の期間を除き、年中24時間一定量の発電が可能。地上では時間や太陽の位置によって日照量が増減し、実際に日が当たっているのは一年で18~25%程度である。

- 原子力発電と同規模の基幹大型安定電源：宇宙での太陽電池に入射する年間日照量は 1 万 1970kwh/m²で安定しており、これは日本の地上で日照量の約 9 倍、中東の約 4 倍である。分散電力になる地上での太陽光発電と比較して、一基で 100 万～1000 万 kw の発電能力を有する。また、宇宙から複数の受電所に向けて電力を送電できるため、事故や災害による電力不足に対応でき、更に電力の輸出が容易になる。
- クリーンなエネルギーである：SSPS で生産した発電電力は、二酸化炭素や窒素酸化物を排出せず、放射能被害もない。建設時には 20gCO₂/kwh と試算されているが、実際に運用を開始すると 0 になる。

を挙げている¹⁶⁾。一方でその課題として、

- 大量の資材の宇宙への運搬
- 宇宙における大規模建設作業と保守運用
- 環境問題対策
- 通信網への電磁障害対策

といったものを挙げている。ただし、これらは技術的に克服出来るとしている。こうした SSPS の建造コストについて、JAXA は「1GW 級の発電所を 40 年間運用し、1kWh の電力量を 8 円で供給すると目標をおいた場合、1 基あたりの建設費を 1.2 兆円程度に抑える必要がある¹⁷⁾」としている。ただしこれは研究開発費、試作機や輸送系の開発コストは含まれていない。特に宇宙への資材の運搬にかかる輸送コストがネックであることが指摘されている。また、現在の達成状況について以下のように説明する。

「大規模発電型(典型的なものは 1GW)の SSPS は、実現までに相当の時間が必要となります。現在は、そのための基礎的な研究、地上技術実証を積み重ねている段階です。これと並行して、大型再使用型輸送系の使用を前提としない早期実現可能な小規模 SSPS や関連技術の地上応用による『踊り場成果』の創出など、研究開発の成果を社会に早期に還元しながら、研究開発を進めていく努力を行っています。」

2-2. 宇宙太陽発電学会

宇宙太陽発電学会は 2014 年、宇宙太陽発電の実現に向けその前身団体である「太陽発電衛星研究会(SPS 研究会)」の発展的解散によって設立された。ここでは、本研究においてサイエンスカフェを実施する側であり、かつ宇宙太陽発電を推進していく集団である科学者・専門家の活動の歴史を概説する。表.1 に SSPS をめぐるイベントを示す¹⁸⁾¹⁹⁾²⁰⁾²¹⁾²²⁾。

表.1 に示されている通り、日本における科学者の共同体は 1988 年「SPS ワーキンググループ」から 1997 年「太陽発電衛星研究会」、2014 年「宇宙太陽発電学会」へと変化している。ワーキンググループが「SPS を実現するための理工学的課題とそれが引き起こす環境現象の解明などを研究範囲」として、特に航空宇宙関係の研究者が中心となっていたのに対し、研究会は「地球の環境とエネルギーの問題の研究者を含め、SPS 研究情報の交換、対外的な啓蒙活動、研究のための調査を行うこと」を目的とし、より幅広い専門の人々の参加を目指していた。そして「社会的に認知を受ける(社会的に力を持つ)」ことを目的とし、SSPS 研究者やエネルギー・宇宙関係者だけではなく、産官政府関係者や市民・学生を巻き込み、将来の法人化を見据えた組織として学会という名前を用

いた組織が設立された。したがって学会という形を取ってはいながら、その活動の目的は 1988 年の設立から一貫して「SSPS の実現」であり、特定の学問領域や学術的探求によって規定される組織ではないことに留意する必要がある。実際、関係する研究者の専門領域は多彩であり、学会員がアカデミックな領域の人々で占められているわけではない。

【表.1 宇宙太陽発電をめぐる歴史】

| 年 | 出来事 |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1968 | ピーター・グレーザー博士(旧チェコスロバキア出身)が太陽発電衛星の論文を Science 誌に発表し、1973 年には太陽発電衛星の概念に関する特許を取得。宇宙太陽発電の父と表現される場合もある。 |
| 1988 | 日本の文部省宇宙科学研究所において、SSPS 実現のための理工学的課題と環境への影響の研究解明を目的とした「SPS ワーキンググループ」が設立される。 |
| 1997 | SPS ワーキンググループは SPS の研究が宇宙科学としてだけではなく、より広い社会的なエネルギーシステムとしての研究の段階に入ったとして解散され、新たに「太陽発電衛星研究会」が設立される。これは太陽発電衛星の実現のために、研究情報の交換、対外的な啓蒙活動、産業技術研究のための調査などを行うことを目的していた。 |
| 1998 | 日本の宇宙開発事業団(NASDA)に、SSPS 検討委員会が設立される。 |
| 2000 | 日本経済産業省(METI)に SSPS 実用化検討委員会が作られる。 |
| 2009 | 内閣府 宇宙基本計画が策定され、「目指すべき 6 つの方向性」のなかで推進していく研究開発プログラムとして言及される ²³⁾ 。 |
| 2014 | 太陽発電衛星研究会を発展的に解消し「宇宙太陽発電学会」を発足した。 |

2-3. 宇宙太陽発電への評価と社会受容調査

宇宙太陽発電が他の研究者や行政からどのような評価を受けているかを知るための手がかりとして、以下にいくつかの評価レポートを概説する。

● 内閣府 平成 27 年宇宙基本計画

内閣府の宇宙政策において「我が国の宇宙開発利用に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るために策定されるものであり、我が国の宇宙開発利用の最も基礎となる計画として位置づけられて」いる²⁴⁾。これは何度か改訂が行われており、2016年現在最新版にあたる平成27年度版の本文²⁵⁾と工程表²⁶⁾に SSPS について記載されている。その「将来の宇宙利用の拡大を見据えた取組」項目において、「エネルギー、気候変動、環境等の人類が直面する地球規模課題の解決の可能性を秘めた『宇宙太陽光発電』を始め、宇宙の潜在力を活用して地上の生活を豊かにし、活力ある未来の創造につながる取組や、太陽活動等の観測並びにそれに起因する宇宙環境変動が我が国の人工衛星等に及ぼす影響及びその対処方策等に関する研究を推進する。」(本文 p.23)と記された。この宇宙基本計画に明記されたことについて、JAXA による解説だけではなく SSPS を紹介する複数のメディアの中でも「政府は研究開発を推進している」根拠として示されている²⁷⁾²⁸⁾。

- **文部科学省 科学技術・学術政策研究所（NISTEP）第10回科学技術予測調査**

NISTEP が今後 30 年程度の科学技術発展の方向性について、専門家にウェブアンケート調査（デルファイ調査）をおこなうものである。したがってここでの評価は科学技術の専門家からの意見が反映されていることになる。ただし、必ずしもその研究と関わりの強い科学者が回答者として選ばれているわけではない。全 136 トピックについてアンケートの集計が行われている。まず SSPS の実現年は 2030～38 年として設定されている。これはこの調査における「技術的実現から社会実装までの期間が長いトピック」のなかで第 5 位にあたる。また、「不確実性の高いトピック」では第 1 位、研究開発の成果が現在の延長線上にない「非連続性の高いトピック」では第 2 位、「実現しないの回答が多いトピック」では第 1 位であった²⁹⁾。全体としてその実現性を疑問視する結果が示されていると考えられる。

また JAXA と三菱総合研究所は一般市民に対する宇宙太陽光発電の認識について、大規模な意識調査を 2003 年、2006 年、2008 年、2009 年と 4 回おこなっている³⁰⁾³¹⁾³²⁾。これらの調査に共通していることは、一般市民に対する「SSPS や宇宙基本計画などの認知度」「SSPS を含む将来のエネルギー供給方法への期待」「SSPS についての情報の入手方法」「SSPS への支払い意思」などの項目が調査されていることである。そして全体に共通するまとめとして、SSPS に対する認知度は低いものの、説明をすると期待・賛同という反応を得られる可能性が高く、したがって幅広い人々に SSPS について周知してもらえようような活動をする必要がある、と述べられている。「SSPS の社会的受容(PA)を形成していくことを前提とした広報活動、PR 活動を行うためには、SSPS のどのような情報を、誰に対して、どのような方法で提供するかを、十分に考慮した上で行っていく必要がある」と述べられているように、一般市民に対するサイエンスコミュニケーション活動をおこなう意欲があることが見て取れる。

また、同様の社会的受容について長山ら(2013)³³⁾は「研究者」と「一般市民」の双方からアンケート調査を行っている。両者を比較した項目として、「SSPS の認知度」「予測する実現時期」「将来主力になる発電方式の予測」「最も必要なエネルギー源」「受電設備の設置場所」「マイクロ波送電への不安」などが示されている。こうした調査項目のうち、認知度と実現時期には両者に違いが見られたものの、将来の予測や不安については大きな違いが見られなかった。

同じ行政機関による調査であっても、宇宙基本計画と科学技術予測調査では SSPS について受ける印象が大きく異なる。また、SSPS を推進していく立場にある JAXA や三菱総研による調査では、一般市民を対象に大規模な意識調査が行われており、社会における認知のされ方に注目している様子が見られる。しかしながら、認知度が上昇すれば受容度・支持率が上昇するとの観点から、広報活動の推進という結論を提示しているに留まり、具体的にどのような情報を、どの様な人々に伝えるべきかという調査やフィードバックはなされていない。

これらのレポートから、一般市民の間ではまだ認知度が低いものの、行政からは一定の認知度を受けている。宇宙太陽光発電学会やそれを推進するステークホルダーは、SSPS について一般市民とサイエンスコミュニケーションをおこなう強い動機とメリットがあると考えられる。

3. 研究の枠組み

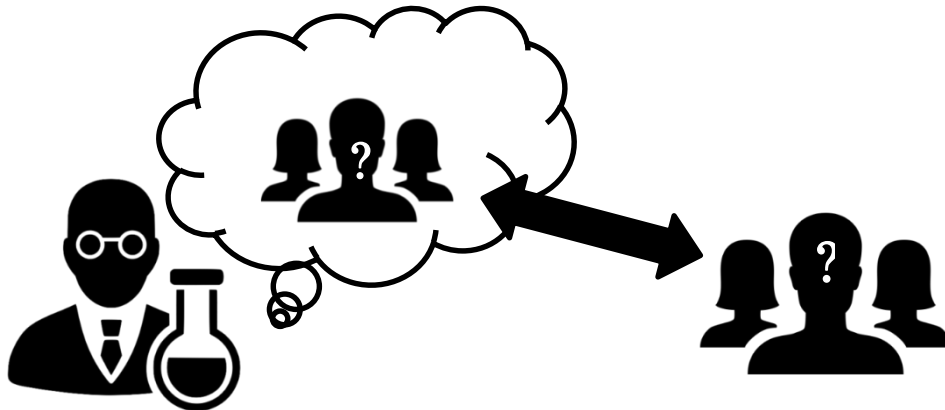
3-1. 本研究の目的

本研究では問題意識として、サイエンスコミュニケーションの実践の場ではどのようなことを調査すればその目的に沿った改善を行うことが出来るのか、ということ挙げた。そしてその「目的」を日本学術会議が掲げる以下の3点と考えた。

- 「科学者と市民の価値観や疑問点のすり合わせをおこなう」
- 「科学者と一般社会の双方の認識のずれや共通点を顕在化させる」
- 「日ごろから科学者と市民が対話する文化をつくり、科学技術についての会話に対する素養を国民全てがもてるようにする」

この3点の達成のために本事例ではどのようなパラメーターを測定すればよいのかについて、いくつかのサイエンスカフェの研究を検討したが、明確な結論は得られなかった。

上記の目的から本研究における測定する対象を、“すり合わせや顕在化の必要な「科学者と一般社会の価値観や疑問点、認識のズレや共通点」”とした。そして、科学者と一般社会の価値観や疑問点、認識にズレが生じているという状態を具体化するために、以下のように設定した。すなわち、「科学者と一般社会の価値観や疑問点、認識にズレが生じている」とは、「**科学者(専門家)が科学技術について市民(非専門家)とコミュニケーションをおこなう時に、“科学者の考える『市民が知りたがる説明』”と“市民が実際に聞きたい説明”にズレが生じている**」ということである。



【図.2 科学者の考える「市民の知りたい説明」と市民が実際に聞きたい説明のズレ】

これは言い換えると、「科学者の想定する市民像の興味関心」と「実際の市民の興味関心」に差異があるということである。コミュニケーションの場において、情報の伝え手(話者)と情報の受け手(聞き手)の興味関心にギャップが生じていることは自然な状態であるが、そのギャップを認識し埋める努力なしにはコミュニケーションがうまくいかない可能性がある。科学者が市民に対しておこなう「科学技術についての説明」には、科学者(話し手)の価値観や想定する疑問点、科学技術そのものへの認識などが大きく反映されると考えられる。同時に市民(聞き手)の「期待する科学技術についての説明」も、どのような点について興味関心を持つかについて、価値観やそれによる疑問点、認識が反映されるだろう。したがって「説明」を調査し、そのギャップを可視化することで、「興味関心」のギャップを可視化することが出来ると考えた。またこの「説明」は、用いられている言説(表現)によ

って分類可能であり、内容や目的が科学者と市民の間で「ズレる」場合や「共通(一致)する」場合を観察することが出来る。

以上より、本研究でのサイエンスカフェ実施において調査するパラメーターとして、「科学者の考える『市民の知りたい説明』と市民が実際に聞きたい説明のズレ」は妥当であると考えた。また、これは1-3で調査した研究の枠組みでは測定することが出来ず、このズレを可視化するための研究枠組みを新たに設定する。

3-2. 事例選択の妥当性

本研究の事例である宇宙太陽光発電に関するサイエンスコミュニケーション活動について、以下の点から問題意識に沿った調査を行う上で妥当であると考ええる。

- i. まだ研究段階であるが、実現すると社会に大きな影響を与える。
- ii. 市民の間で知名度が低く、分かりやすい説明が必要。
- iii. 科学者(学会)がサイエンスコミュニケーションを必要としている。

まず、実現のための技術的課題が多く残されており、その研究を継続していくためには多額の補助金が必要である。これは研究者自身も技術的イノベーションが多数必要であると上記の書籍やHPで認めている。しかしSSPSが実現することによる影響は次世代の基盤エネルギーだけにとどまらず、CO₂削減や宇宙開発、国際関係など様々な分野に及ぶ可能性がある。宇宙基本計画を始め行政の注目も増加しており、実施が進むと様々な利害関係者(ステークホルダー)が関わる大規模な科学技術プロジェクトとなれば、直接利害関係にないような一般市民も巻き込んだサイエンスコミュニケーションを行なう必要があるだろう。

様々な立場のステークホルダーや一般市民に説明する場合、JAXAと三菱総研の調査によって明らかになった、一般市民の間での低い知名度を考慮しなければならない。サイエンスコミュニケーションの場で初めてSSPSを知る場合、科学者と市民が議論をするためにはSSPSについてのある程度の知識と理解が必要になるだろう。「分かりやすい説明をおこない、疑問に答える」という従来の「双方向性」コミュニケーションでは否定されてきた部分も重要である可能性がある。これには「どの様な説明をするか」が重要となると考えられる。

宇宙太陽光発電学会の設立趣旨に「広範な人々を結集」とあり、学会の目的そのものに科学者と一般社会のコミュニケーションが含まれている。これは前身団体であるワーキンググループや研究会が専門家の集まりであったことの反省に基づくものであり、異なる価値観・目的・立場にある人々と議論することを目的としていると考えられる。サイエンスカフェのようなサイエンスコミュニケーション活動を継続して実施することは、そのための重要な手段の一つだろう。

3-3. 本研究の問題設定

本研究ではサイエンスコミュニケーション、サイエンスカフェの目的に沿った改善のために調査すべき対象を、「科学者の考える『市民の知りたい説明』と市民が実際に聞きたい説明のズレ」と定め、その対象について(i)ズレや共通点があるのかどうか、(ii)どうすれば「ズレをすり合わせる」ことによって「改善」されていくのか、を探る。

3-4.本研究の視点

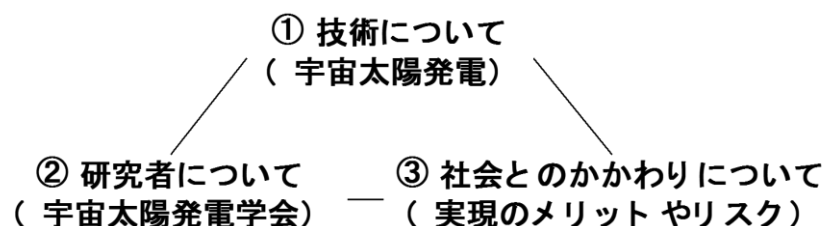
本研究の目的のために、実施するサイエンスコミュニケーション活動において上記のズレの可視化をおこなう調査方法として、以下の2つを用いた。

3-4-1. 説明の3分類

サイエンスカフェ実施のために、宇宙太陽発電学会から2人の研究者に講師として参加していただくことになった。事前調査として、その一人が過去にSSPSをテーマに行なった講演のスライドを分析し、同時にSSPSや学会についてインタビューをおこなった。この結果、これまで行われてきたSSPSに関するサイエンスコミュニケーション活動や、JAXAに掲載されているQ&Aなどでは主に「SSPSを構成する技術について」と「SSPSが実現した際のメリットやリスクなどの社会的影響」が説明されていることが明らかになった。しかし、一般向けの書籍の内容やインタビューでのSSPSについての解説では、それらに加えて「研究者や学会の活動」についての説明が多く含まれていることに気がついた。「SSPSの技術がどのようにして日本に持ち込まれたのか」「研究者が実現のためにどのような活動をおこなってきたか」「どのようにしてこれから活動をおこなっていくと考えているか」というトピックは、素人の視点から興味深いものであった。これは同様に、SSPSについて素人であるサイエンスカフェ参加者にとっても興味のあるトピックである可能性がある。また、SSPSの実現のために研究やサイエンスコミュニケーション活動を行う人々を、「科学者」という「自分たちとは違う人」というくくりではなく、より身近な存在として感じることで、より効果的なコミュニケーションがおこなえるのではないかと考えた。

こうした観点から、サイエンスカフェにおいて講演者に

(1) 技術について(SSPSを構成する科学技術の説明)、
(2) 研究者について(学会や講演者自身の説明)、
(3) 社会との関わりについて(実現のメリットやリスクの説明)、
という3つの説明の枠組みを用いて講演を行ってもらうことを提案した。この際、講演開始時に予めこの3つの枠組みで話をする事、また各テーマの開始時にスライドで現在どのテーマについて話そうとしているのかを明示するよう依頼した。これをもとに、3つの説明のどれが最も楽しめたか、更に詳しい話を聞きたいとすればどのテーマかをアンケートで調査する。この際、あらかじめどの話題がどの枠組みに入るのかを講演中のスライドで提示することで、参加者が投票する時に想定する枠組みの分類を統一できるようにする。また、当日に講演スライドを印刷して配布し、適時参照できるようにする。こうした調査結果データをもとに、参加者に合わせたテーマの時間配分やトピックの選択をおこなうという改善の方法が提示できると考えた。



【図.3 講演で用いる説明のテーマの3分類】

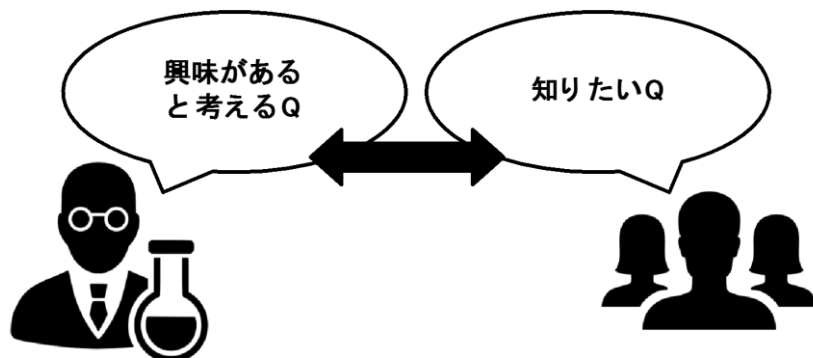
3-4-2. Q の比較

さらにアンケート調査によって「説明のズレ」を具体的に調べる方法として、「専門家(SSPS に関係した科学者)」と「非専門家(サイエンスカフェに参加した一般の人)」が考える「SSPS に関する質問(Q)」を抽出し比較することを考案した。ここでいう質問(以下 Q)とは、非専門家の価値観や認識、興味関心が反映されたものを想定しており、したがって専門家から抽出する Q は「市民が聞きたいであろう SSPS に関する質問」、非専門家から抽出する Q は「SSPS について疑問に思ったり、更に知りたいと思うことに関する質問」である。これらをアンケート調査で収集し、どのような質問が多く現れるのか、専門家と非専門家ではその質問内容の分布にズレがあるのかどうかを分析する。

Q を比較する意義として、上記のように価値観や疑問点、認識のズレ/一致が具体的に開始化されると期待できることが挙げられる。また、太陽発電衛星研究会が HP に掲載していた Q&A と比較することが可能である。もしもズレが存在することが確認された場合、それは得られる Q の内容の相違という形であるため、それを訂正した「市民が聞きたい質問」を用いた説明内容の提示を行なうことが出来ると考えられる。これらの点から、本研究のアンケート調査では、「SSPS についての Q」を専門家と非専門家と比較するという方法を実施する。

本研究では、「非専門家」のグループはこの研究で実施するサイエンスカフェなどに参加し、SSPS についての説明を聞いた人のみとした。SSPS の認知度が低いという調査結果から、ある程度まとまった説明を聞き、参加者の認知度をより均質に近づけた上で調査をおこなうのが妥当と考えた。また事前知識が少ないということは、説明の内容の選択や当日の印象に大きく影響を受けると想定されるため、どのような説明がなされたか把握しておかなければならない。また、Q の記入を行う際には、「学会 HP で作成する Q&A の参考にする」ということが周知されるようにする。記入したデータの利用方法が明確になることで、単に感想を自由に記入するよりも、高い回答率が得られるのではないかと考えた。同時に、科学者から Q を抽出する際には、「一般の人が聞きたいであろう」Q を記入するよう説明する。

定量的データではない質的データを集めることは、一般化するという点で様々な問題があると考えられる。ある会場での傾向に沿った調整をおこなった講演が、他の会場で有効であるという保証はない。しかし、サイエンスコミュニケーション活動を実施しながら、目的に沿った改善のためのトライ・アンド・エラーをおこなう枠組みについて、これまで試みられてこなかった方法を探ることが出来ると考え、本研究では Q の比較を実施する。



【図.4 専門家と非専門家の Q の比較】

4. 方法

本研究ではデータ収集のために4つの異なるイベントを実施し、アンケート調査をおこなった。各イベントでは計画段階から実施者とともに企画を相談し、参加者の満足度が最大になるよう工夫するとともに、本研究に用いるためのアンケート調査を設定した。ただし、次に説明する「土曜カフェ」を除く3つのイベントは、予め実施日・場所・会場設計・参加方法・時間などが決定しており、そうした制約のもとデータ収集をおこなった。また「土曜カフェ」を除く3つのイベントでの当日進行は原則として主催者に任せた。

4-1. 企画概要

以下に4つの調査を概説する。

【表.2 企画概要一覧】

| イベント名 | 高校生のための金曜特別講座 | 土曜サイエンスカフェ | 柏図書館サイエンスカフェ | 宇宙太陽発電学会シンポジウムワールドカフェ |
|-----------|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| 講演者 | 佐々木 進 (東京都市大学特別教授、宇宙航空研究機構名誉教授) | 佐々木 進 (東京都市大学特別教授、宇宙航空研究機構名誉教授) | 小紫 公也 (東京大学工学系研究科教授) | 学会シンポジウム企画運営委員 |
| 実施日時 | 2015年10月9日 | 2015年10月17日 | 2015年12月10日 | 2015年12月15日 |
| 実施場所 | 東京大学駒場キャンパス | 東京大学駒場キャンパス | 東京大学柏図書館 | 宇宙太陽発電学会シンポジウム |
| 対象参加者 | 高校生、一般 | 「高校生のための金曜特別講座」参加者の高校生 | 一般 | 学会シンポジウム参加者 |
| 参加方法 | 自由参加(当日受付) | メールで事前申し込み | 自由参加(当日受付) | 自由参加(シンポジウム参加は有料) |
| 実施形式 | 60分間の講演の後、30分の質疑応答 | 120分の自由議論 | 60分の講演の後、質疑応答 | 120分のブレインストーミング |
| アンケート調査方法 | 入場時にアンケート用紙を配布し、退場時に回収 | 入場時にアンケート用紙を配布し、退場時に回収 | 入場時にアンケート用紙を配布し、退場時に回収 | 入場時にアンケート用紙を配布し、イベント開始時に記入、回収 |

「高校生のための金曜特別講座」と「土曜カフェ」の講演者である佐々木進氏は JAXA の広報活動として、様々な場でサイエンスコミュニケーション活動をおこなっている。その対象も幅広く、小中学生や高校生、教員や高齢者など、参加者の興味関心の幅は非常に広い。また、その形式も展示発表や大規模講演など多数の参加者がいるものと、数十人という比較的少数のものどちらも経験している。テーマは SSPS に限らず、宇宙開発や天体、エネルギー問題など様々なものを取り扱ってきた。また、一般向け HP も運営している³⁴⁾。

「柏図書館サイエンスカフェ」の講演者である小紫公也氏は現在東京大学大学院工学系研究科に研究室をもち、ロケット推進などの講義をおこないながら、電気推進ロケットの研究をおこなっている。またワイヤレスエネルギー送電技術やロケット開発などをテーマに、中高生への出前講義や企業向け講習会の講師など、様々な活動をおこなっている³⁵⁾。

以上から、講演者はどちらもサイエンスコミュニケーションについて様々な経験を持ち、専門的な科学技術について一般市民にわかりやすく説明する能力を有していると考えられる。説明する専門家のコミュニケーション能力によって、SSPS に対して得られる反応や質問が大きく異なると考えられる。これは認知度が低い SSPS では特に、「宇宙に設備を作る」「マイクロ波で送電する」「クリーンなエネルギーを作る」といった言葉から連想するイメージと、実際に科学者がおこなう説明とのズレが生じやすく、科学者のコミュニケーション・説明能力の影響が大きいと予想される。

4-1-1. 高校生のための金曜特別講座

高校生のための金曜特別講座は東京大学教養学部と東京大学生産技術研究所の共催で行われる、主に高校生を対象とした公開講座である。毎週金曜日に開催され、一回の講演につき一人のゲスト講師を呼ぶため、毎週テーマが変わる。告知は近隣の高校とインターネット³⁶⁾で行われ、定員 200 名の教室で行われる。事前申し込みは必要なく、2002 年から継続して行われているため、一定数の一般参加者が含まれる。また、提携高校の一部は本講座に一定数参加することで単位取得が可能のため、特に春季～夏季にかけて積極的な高校生の参加者が含まれる。同時にインターネットで提携校に配信をおこなうため、質疑応答時には会場外からの質問を受け付ける。

この講座を企画・運営している教養学部附属教養教育高度化機構 社会連携部門の協力のもと、SSSPS をテーマにした講演をおこなった。講演者は佐々木進氏が担当した。佐々木氏は太陽発電衛星研究会において 1997 年設立から 2011 年まで事務局担当幹事を担当し、これまでも学生や社会人を対象とした宇宙太陽発電に関する講演をおこなってきた。本企画決定後に初めて顔合わせをおこない、複数回の打ち合わせによって本研究の趣旨の説明と、実施方法の設定をおこなった。この打ち合わせの際に、佐々木氏の以前の講演で使用したスライドを調整し、「技術」「研究者」「社会との関わり」の 3 分類を用いて講演をすることを承諾頂いた。修正後のスライドは予め確認をし、講演をおこなった。

当日会場参加者の会場占有率は 7~8 割で、半数以上が高校生という印象を受けた。ただし、これらの正確な数値は記録していない。当日の配布資料は講演のスライドを印刷したもの、土曜サイエンスカフェ案内広告、金曜特別講座用アンケート(これは毎回同じものを配布)、そして本研究で作成したアンケートである。アンケート記入については講演開始時に説明し、また講演終了時に再び記入について促した。

約 60 分間佐々木氏がスライドに沿って講演をおこなった。その後会場から質問を受け付けた。質疑応答終了後、石田が壇上で土曜サイエンスカフェの告知と応募方法について説明をおこなった。これらは全てインターネットにより提携校に配信されている。また、本研究で作成したアンケートは提携校にも配布し、記入したものを送付してもらった。

佐々木氏には講演開始時にまず、本日の講演内容が 3 つに分類されていることを、独立したスライドを使って説明してもらった。また講演中に次の分類の話題に移る際には、一枚の独立したスライドを使って明示してもらった。これらのスライドは配布資料中に印刷しているため、参加者が適時参照しながらアンケートを記入できる。またアンケート記入の時間は特に設定していないが、講演終了後は自由退場であるため、講演を聞きながらアンケートの記入をおこなうか、講演終了時に記入するかは参加者の裁量に委ねた。これにより、参加者は現在講演で話しているトピックや資料に記入してある内容が、3 分類のうちどこに含まれるかを常に確認できる状態にあるよう留意した。



【図. 5 金曜講座 当日の講演の様子】

4-1-2. 土曜カフェ

前述の高校生のための金曜特別講座の参加者の高校生を対象に、佐々木氏とインタープリター養成プログラム特任講師、社会連携部門特任講師を交えて、小人数で議論をおこなうという目的のイベントである。これまでこうした形のイベントは金曜特別講座で実施されておらず、企画・告知・設定を石田と上記特任講師で考案し実施した。金曜講座参加時には SSPS について初めて聞く参加者が大多数であることを想定し、科学技術やリスクなどについて知識を得た後、それについて家族や友人と話した後の意見や感想の変化について、科学者を交えて議論することを目的とした。小人数であるため、1-3 で調査した参加型形式のサイエンスカフェを参考に、SSPS というテーマでの双方向性コミュニケーションについても探る。ただし、小人数かつ参加者人数の予測が難しいため、テーマや進行は当日の裁量に任せるものとした。

応募方法は金曜講座当日に配布したチラシに書かれた URL にアクセスし、メールを登録しておこなう。その際金曜講座で聞いた宇宙太陽発電に関する内容を、友人や家族と話し、その結果を当日報告してもらいたいというメッセージが表示されるように応募フォームを設定した。

約 1 週間の募集期間を設定したが金曜講座参加学生からは応募が得られなかった。これは参加者多数になる場合を考慮し、事前告知を行わなかったことが原因と考えられる。また、10 月ではす

で提携高校の学生は単位取得条件を満たしている場合があり、そうしたモチベーションが働かなかった可能性もある。これに対し、宇宙太陽発電学会事務局担当幹事 田中孝治氏が以前宇宙太陽発電について授業をおこなった高校に告知をおこなったところ、1名の参加者を得られた。したがって、当日は高校生1名、石田、科学技術インタープリター養成プログラム特任講師1名、社会連携部門特任講師2名、佐々木氏の計6名で開催した。

佐々木氏がスライドを使って金曜講座の内容を簡単に振り返った後、それぞれのテーマについて質問を交えながら議論をおこなった。金曜講座で使用したアンケートはおこなわず、当日の内容を録音した。旧太陽発電衛星研究会 Q&Aなどを提示し、どのような質問を掲載するべきかについて議論をおこなったところ、技術や言葉の定義については別途解説を設け、Q&Aは純粋に非専門家からの質問に答えてほしいという意見が得られた。ただし、本研究の枠組みで設定した「Q」については収集できなかった。また、やり取りの結果、参加者は宇宙について強い興味があり、定期的にJAXAなどのイベントに参加しており、平均的な高校生よりも宇宙に関する高い知識を有していた。



【図.6 土曜カフェ 当日の様子】

4-1-3. 柏図書館サイエンスカフェ

柏図書館サイエンスカフェは、東京大学柏図書館開館10周年イベントの一つとして2014年に開始され、通年でテーマを設定し複数回開催している。毎回異なる講師を招待し、主に自身の専門分野や研究について講演をおこなう。ホストとして柏図書館館長が参加する。2015年度のテーマは「科学史」「光および光技術」である。

講演は小紫公也東京大学工学系研究科教授に依頼した。小紫氏も宇宙太陽発電学会員であり、学会広報からご紹介いただいた。小紫氏には先に開催された金曜講座での講演と同様に、打ち合わせ時に「技術」「研究者」「社会との関わり」の3分類を用いて講演をすることを承諾頂いた。また、佐々木氏の発表スライドを参考にしたいとの希望を頂いたため、佐々木氏の承諾をいただき、利用した。佐々木氏の講演スライドと異なっていたのは、「研究者」に自身の専門領域、宇宙開発に関わるようになった経緯などを加えてより多くのスライドを割いていたことである。

当日の参加者は 30 人前後であり、追加のイスを設置する必要があった。比較的遅い時間であったためか、参加者のほとんどは大学生ではなく一般の人々で、やや高齢者の男性が多いように見受けられた。また、会場の隣で行われていた留学生を対象としているとみられる講義の終了後に参加したと見られる人も数人あった。

講演後の質疑応答はかなり活発になされ、ホストが最後の質問者を締め切ることで終了となった。全体的に参加者の関心や熱心さは高いように感じられた。金曜講座と比較して、より技術的な質問が多い印象を受けた。

参加者には受付において、柏図書館サイエンスカフェで共通しておこなっているアンケートに加えて、本研究で用いるアンケートを配布した。これは金曜講座で用いたものと全く同じである。配布時に修了までに記入する旨を伝えた。また、小紫氏の講演の開始時と終了時にアンケートの記入を促した。講演終了後にアンケートを記入する参加者も散見された。



【図.7 柏サイエンスカフェ 当日の様子】

4-1-4. 宇宙太陽発電学会シンポジウム ワールドカフェ

第 1 回宇宙太陽発電シンポジウム 第 1 日目に「ワールドカフェ形式ブレインストーミング『宇宙太陽発電の Q&A を作ろう！』」と題して、ブレインストーミングをおこなった。これは第 1 日目の招待講演の終了後、懇親会の前に 2 時間をかけておこなわれた。シンポジウムの進行表には「学会 HP に記載する Q&A のアイデアを出してもらおう」「原則として全員参加」といったことを明記した。

本シンポジウムは学会員以外も自由に参加することが出来る。ただし、参加は有料であり、第 1 回ということもあり関係者が中心となっている印象を得た。招待講演終了後、そのままブレインストーミングに参加して欲しいという旨を説明し、また広報係が積極的に声掛けをおこなったため、ファシリテーターを合わせておおよそ 50 人以上が参加した。まず、金曜講座・柏図書館サイエンスカフェでおこなった活動についてスライドを用いて説明し、それまでのアンケートで得られたデータを提示した。その後、学会 HP 作成などに用いるという目的を説明した上で、「高校生のような一般人が知りたがるような Q」を会場から収集し、これまでのデータと比較するという本研究の趣旨を説明した。

説明をした後、ブレインストーミング開始前にアンケートを配布し記入する時間を設けた。これはこの後のブレインストーミングのための準備という位置づけもあり、SSPS に関する説明や、周りの人と

の議論を促すようなことは実施せずに記入してもらった。したがって参加者の知識量に開きがある可能性は高い。こうしたイベントの形式上の違いから、金曜講座と柏で収集したアンケートとは質問項目をいくつか変更している。このアンケートを回収した後、ブレインストーミングイベントを実施した。本研究ではこのブレインストーミング実施前におこなったアンケートをデータとして用いる。



【図.8 ブレインストーミングの様子】

4-2. 調査内容

表.3 に本研究でおこなったアンケート調査内容を示す。実際のアンケート用紙は付録を参照。

【表.3 アンケート調査内容】

| 設問 | 金曜講座+柏 | 学会シンポジウム |
|--------------|------------------------------------|-------------------------------------------------|
| 1. 本人について | 1.1 所属(選択) | 専門は何か (自由記述) |
| | 1.2 SSPS について知っていたか(選択) | |
| | 1.3 内容は分かったか(選択) | |
| 2. 面白かった内容 | 技術 / 研究者 / 社会 について 1位・2位・3位から選択 | なし |
| 3. Q | 技術/研究者/社会について「質問」 を自由記述(複数回答可) | 技術/研究者/社会について「一般 の人がするような質問」を自由記述 (複数回答可) |
| 4. SSPS について | (後述) | (後述) |

金曜講座と柏図書館サイエンスカフェは共通したアンケート調査をおこなった。学会シンポジウムではSSPSの説明をおこなう講演を行うことができないことから、記入者の専門領域を自由回答で設

定した。また同様に設問 2 の「面白かった内容」については調査できなかった。設問 4 は以下の 8 問について「そう思う」「ややそう思う」「どちらともいえない」「あまりそう思わない」「そう思わない」から一つを選択してもらった。

- マイクロ波などの健康への悪影響がある
- マイクロ波の兵器への転用の懸念がある
- 宇宙での廃棄物とゴミ問題に対処できる
- 研究者や技術者は信頼できる
- 国は何か問題が起きた時、対応する能力がある
- 宇宙太陽光発電は環境問題の解決に貢献する
- 将来どんな影響が起こるかを予測できている
- 宇宙太陽光発電は社会にとって必要である

また、この質問設定は遺伝子組換え食品、原子力発電、ナノテクノロジーの医療応用技術のリスク認知について、専門家と市民にアンケート調査をおこない比較した土屋ら(2011)³⁷⁾の研究を参考に決定した。

4-3. 分析方法

設問 1、2 および 4 はそれぞれの項目ごとに単純集計をおこなう。Q の比較を行なう設問 3 は以下の方法で分析をおこなう。

1. 得られた Q を金曜講座と柏でまとめて「非専門家」とし、学会で得られた Q を「専門家」とする。
2. Q の有効回答をカテゴリ分けし、全体に対する割合でグラフ化し「非専門家」と「専門家」で比較する。カテゴリ分けの妥当性は複数人で確認する。
3. 得られたカテゴリをもとに、旧太陽発電衛星研究会 HP の Q&A をカテゴリ分けし、調査によって得られた「非専門家」と「専門家」の Q のカテゴリの傾向と比較する。

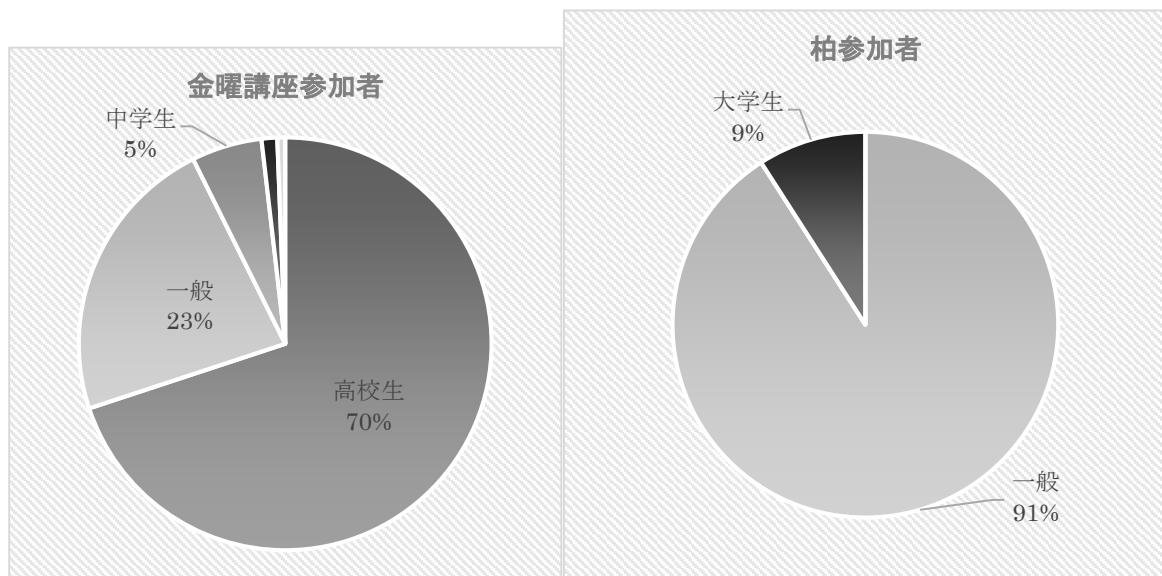
5. 結果

5-1. データ回収結果

3つのイベントで行われたアンケートの回収枚数は、金曜講座:164、柏:23、学会:37であった。設問3で得られたQの内容はそれぞれ付録に示した。これらのアンケートをデータとして整理し、それぞれの設問について集計をおこなった。

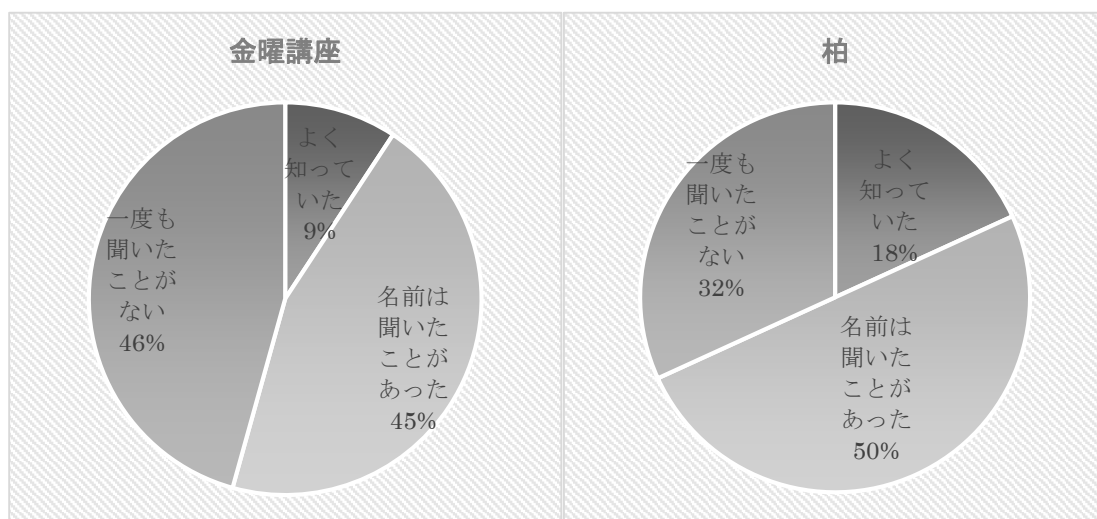
5-1-1. 設問1 本人について

それぞれの回答の割合を図.5、図.6、図.7で示す。なお、学会シンポジウムの結果は自由記述であったため本項では集計をおこなわない。



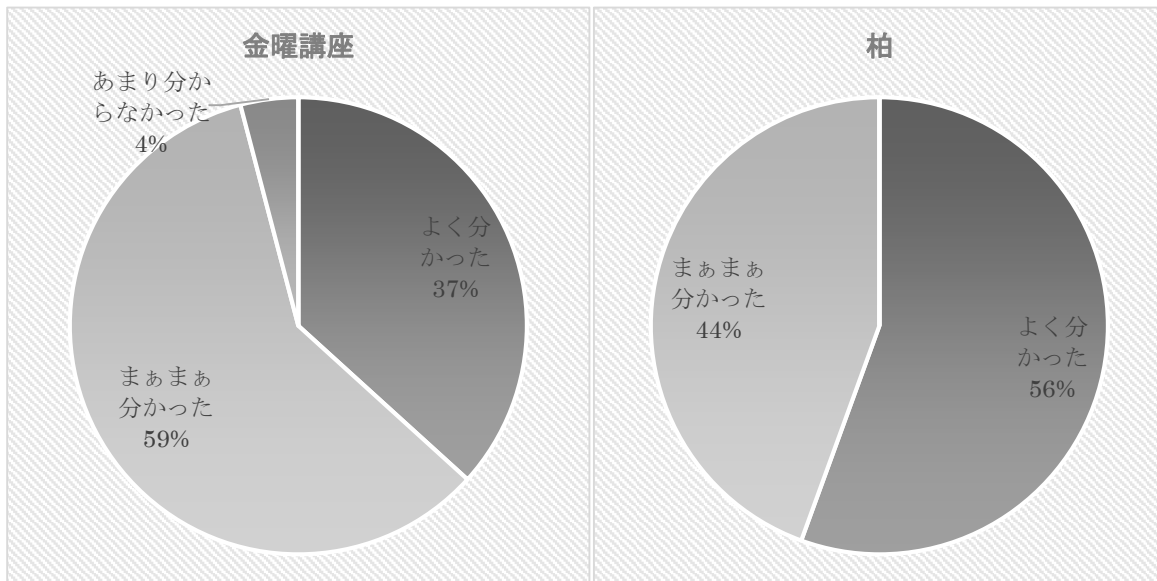
【図.5 参加者の構成】

金曜講座の参加者は7割が高校生で、約2割が一般、中学生が5%、小学生・大学生は1%であった。一方で柏図書館サイエンスカフェは9割が一般で、約1割が大学生であった。



【図.6 宇宙太陽発電について知っていたか】

SSPSの認知度については金曜講座も柏図書館サイエンスカフェも良く似た割合になった。

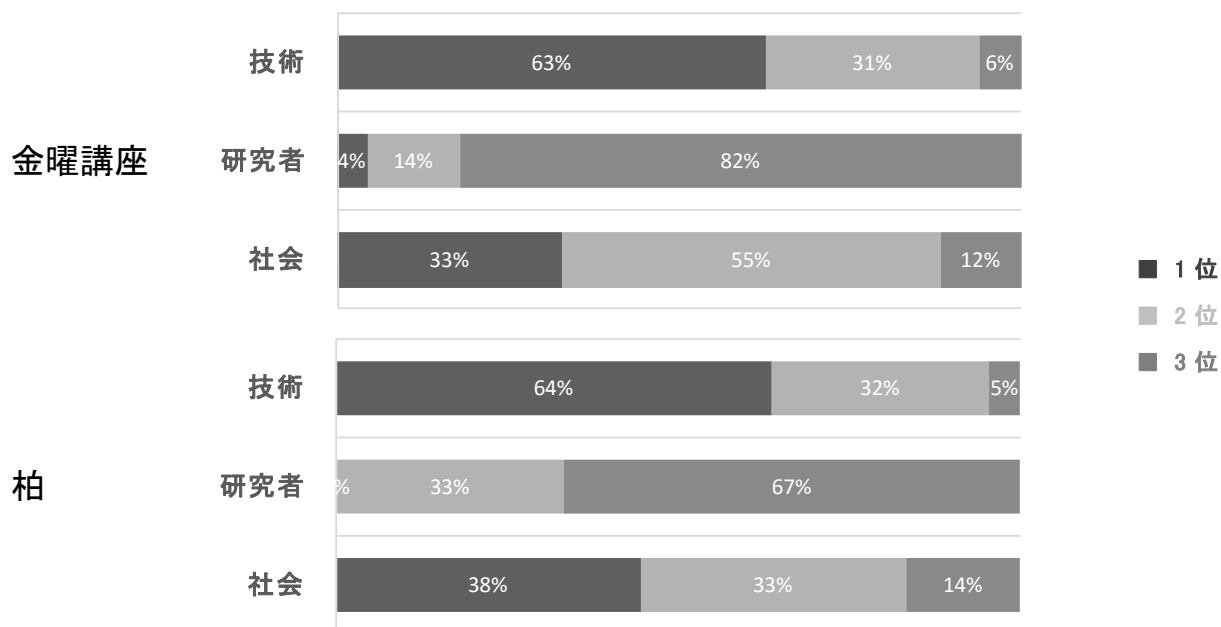


【図.7 講演の理解度】

講演の内容に関する理解度からは、どちらの講演でも「分からない」と答えた人がおらず、全体的に「分かった」という印象を与えていることが分かる。

5-1-2. 設問 2 3 分類の順位

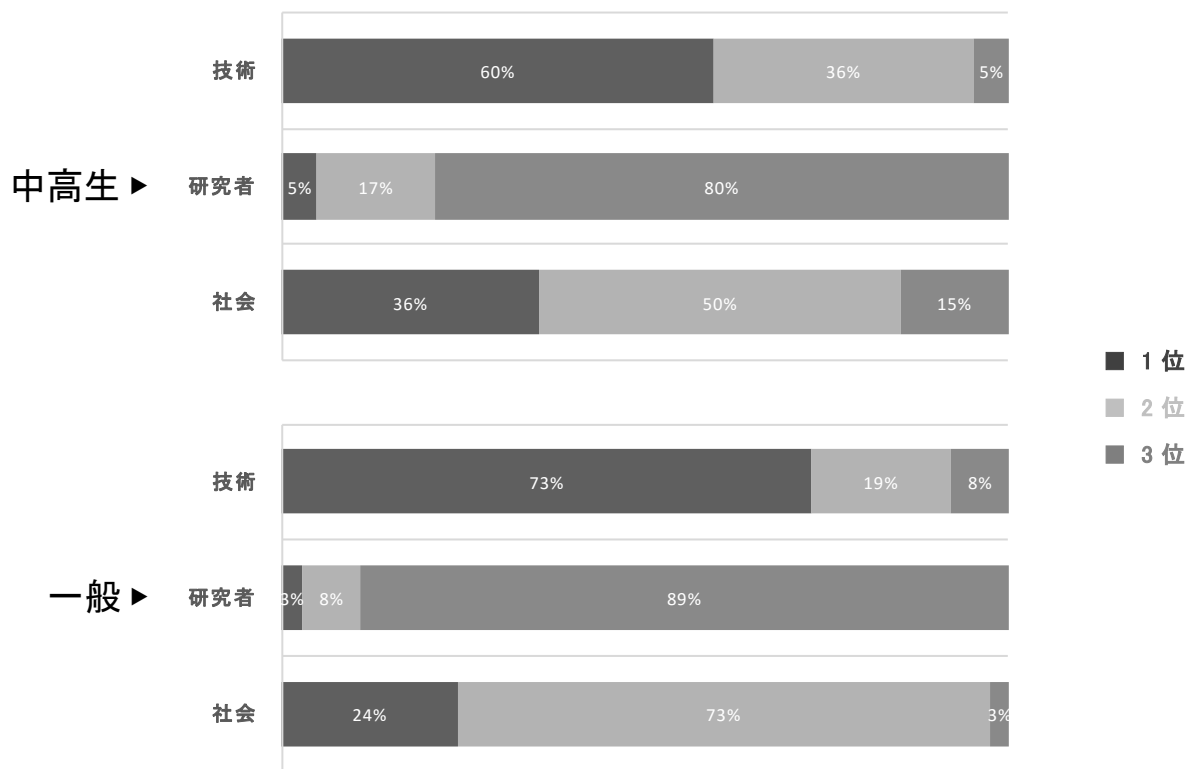
3つの枠組みに分けておこなった講演について、どの内容が最も面白かったか、または更に詳しく聞きたいかを1位・2位・3位の順で投票してもらった。この調査も講演が無いことから、学会シンポジウムではおこなっていない。



【図.8 面白かった内容の順位】

図.8では、1位の投票が占める割合が多いほど参加者が面白いと感じており、2位、3位と割合が増加するにつれて相対的に面白くないと感じていないと言える。金曜講座と柏では母数が大きく異なるため、投票人数で比較せず、分布の形から傾向が類似しているかどうかを検討した。図.8からは、参加者の属性が大きく異なりかつ講演の内容も異なるにも関わらず、面白いと思う内容の傾向は非常によく似ていることが分かる。

金曜講座内で「高校生＋中学生」と「一般」について比較してみた結果が図.9である。この結果で興味深いのは、9割が一般である柏により近いように見えるのは、金曜講座の37人の一般のデータではなく、中高生のデータであるということである。ただし、この近似は統計的に有意とは言えず、あくまでそういった傾向が見えるという程度である。

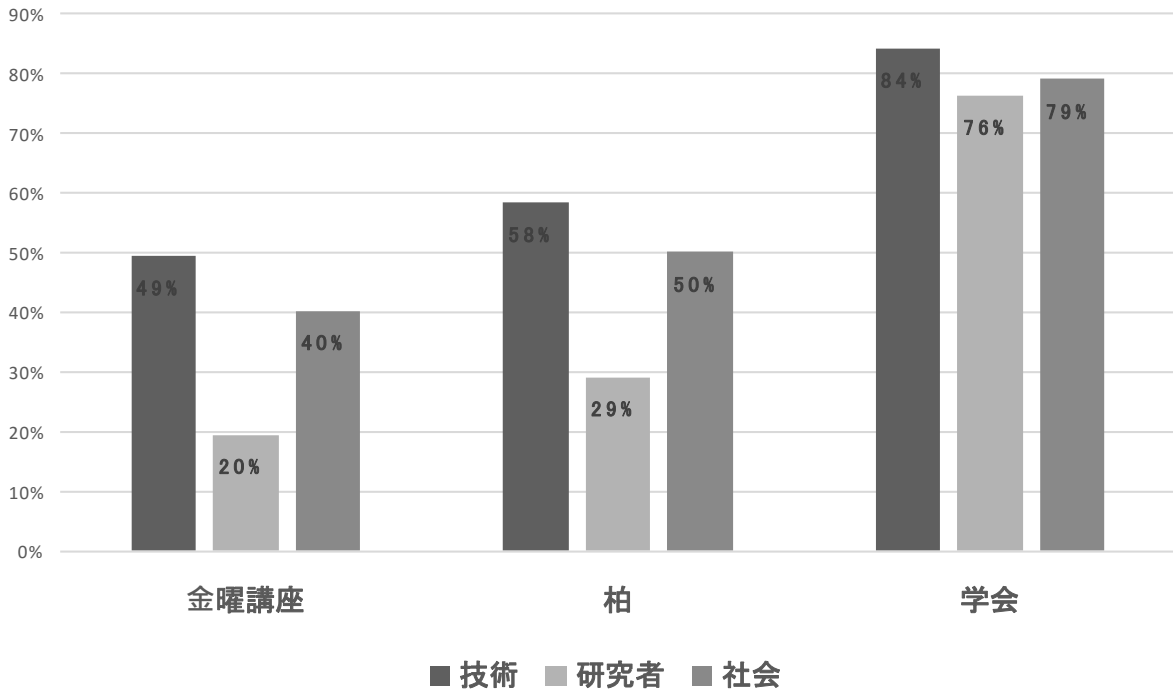


【図.9 金曜講座の中高生と一般の面白かった内容の順位】

5-1-3. 設問 3 Q の記入率

設問 3 でそれぞれ Q の記入率を図.10 に示す。これは単純に Q の記入欄に何かを記入したかどうかで集計しており、また Q の 3 つの枠は独立で計算した。金曜講座と柏図書館サイエンスカフェでは、Q の記入率は設問 2 の面白かった順位と似た傾向があることが確認できる。興味関心があるものの方が質問(Q)が出やすいと考えられるが、「感想」や「批判」も含まれている様子が観察されたため、本当に関係性があるかどうかは未確認である。また、学会シンポジウム参加者からは高い記入率が観察された。これと「学会 HP の Q&A 作成のデータとして用いる」という説明をおこなったこととの相関は不明である。

得られた Q のカテゴリ分けと分析は後述する。



【図.10 設問 3 Q の記入率】

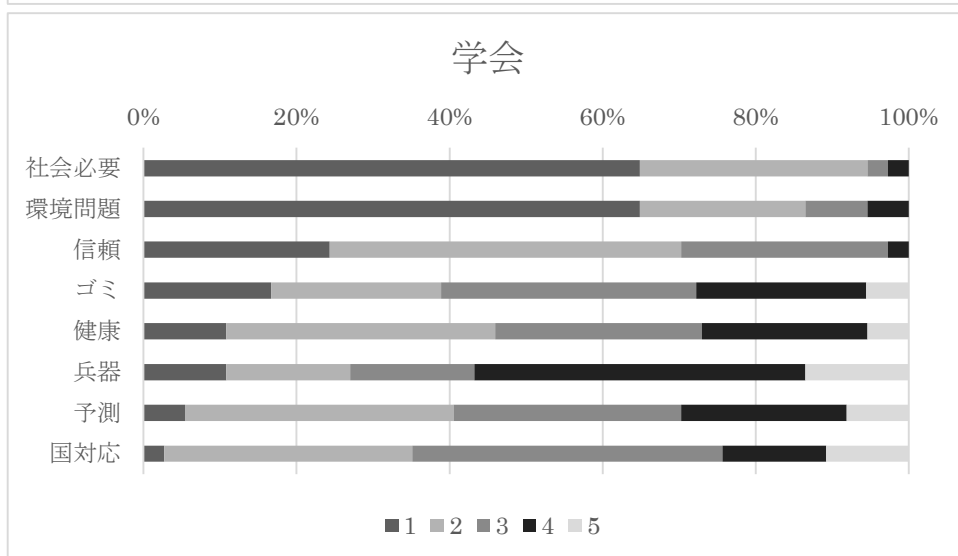
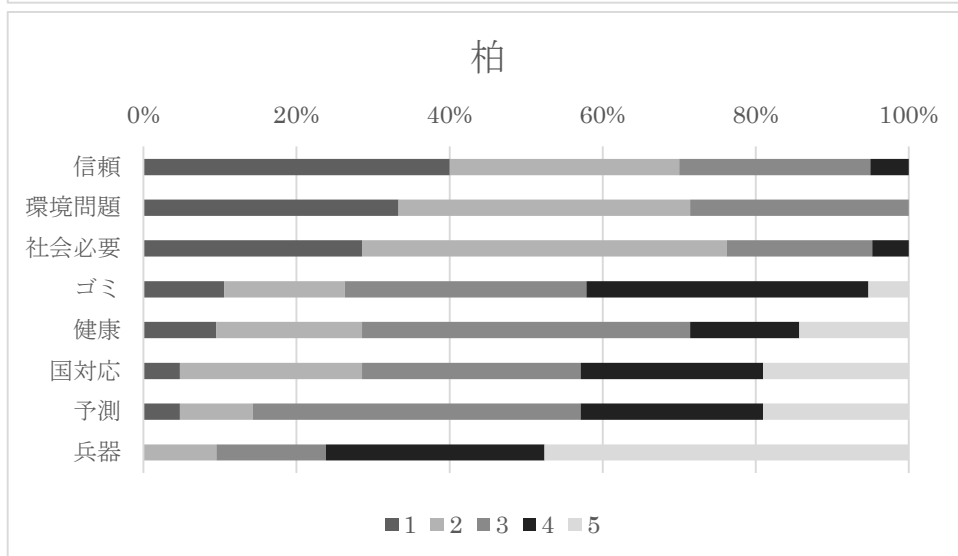
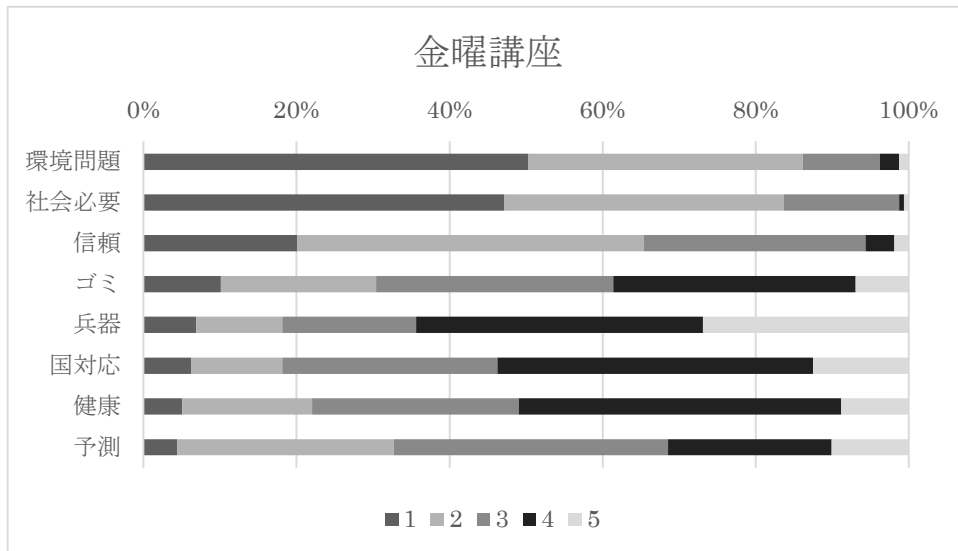
5-1-4. 設問 4

設問 4 の質問において、「マイクロ波などの健康への悪影響がある」と「マイクロ波の兵器への転用の懸念がある」の 2 つの質問は反転項目とした。したがって、以下の集計データにおいては「マイクロ波などの健康への悪影響がない（影響がない）」「マイクロ波の兵器への転用の懸念がない」という質問の回答になっている。回答は 1.そう思う、2.ややそう思う、3.どちらともいえない、4.あまりそう思わない、5.そう思わないとし、各回答数の全体の割合 (%) で集計し、1 が最も多いものから順に図.11 に並べた。各質問は

- **健康**：マイクロ波などの健康への悪影響がない（影響がない）
- **兵器**：マイクロ波の兵器への転用の懸念がない
- **ゴミ**：宇宙での廃棄物とゴミ問題に対処できる
- **信頼**：研究者や技術者は信頼できる
- **国対応**：国は何か問題が起きた時、対応する能力がある
- **環境問題**：宇宙太陽光発電は環境問題の解決に貢献する
- **予測**：将来どんな影響が起こるかを予測できている
- **社会必要**：宇宙太陽光発電は社会にとって必要である

と表記した。

図.11 から、金曜講座と柏では SSPS の環境問題解決への期待、研究者への信頼、SSPS の社会必要について高い同意が見られた。逆にどちらも兵器転用の懸念が最も高かった。一方で学会でも同じく環境問題解決、研究者への信頼、社会必要に高い同意が見られた。兵器転用も比較的高い懸念が示されている。金曜講座と学会では「環境問題」と「社会必要」が等しく高い。



【表.11 設問 4 回答 (%)】

5-2. Q の比較

全ての Q から有効回答を抽出し、金曜講座と柏を合わせて「非専門家」、学会シンポジウムのもを「専門家」とした。項数は非専門家:235、専門家:147であった。これらを類似した内容ごとに分類して、上位カテゴリを設定する。

5-2-1. Q のカテゴリ設定

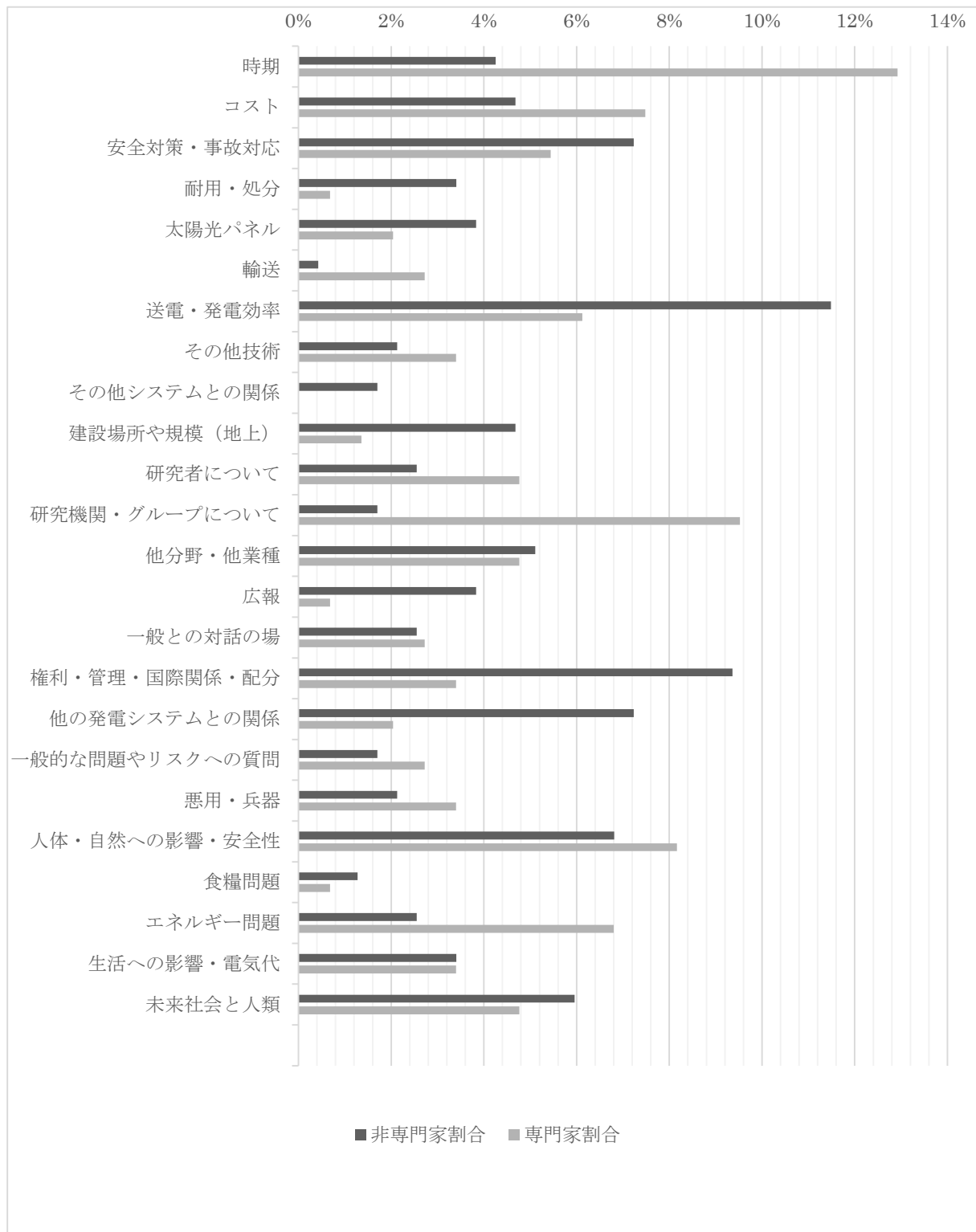
全ての質問を整理していき、表.4 に示した 4 つの大区分とその下位の 24 の小区分を設定した。これらの妥当性は複数人で確認した。小区分はそれぞれ①②…と番号を設定し、大区分は I : II : …と番号を設定した。分類について、講演の内容の 3 分類に加えて、具体的な質問としてよく見られた実現時期やコストなどを「実現可能性」として別の大区分を作成した。

【表.4 Q のカテゴリ分け】

| 大区分 | 小区分 |
|----------------|------------------|
| I : 実現可能性 | ① 時期 |
| | ② コスト |
| | ③ 安全対策・事故対応 |
| | ④ 耐用・処分 |
| II : 技術について | ① 太陽光パネル |
| | ② 輸送 |
| | ③ 送電・発電効率 |
| | ④ その他技術 |
| | ⑤ その他システムとの関係 |
| | ⑥ 建設場所や規模(地上) |
| III : 研究者や研究内容 | ① 研究者について |
| | ② 研究機関・グループについて |
| | ③ 他分野・他業種 |
| | ④ 広報 |
| | ⑤ 一般との対話の場 |
| IV : 社会とのかかわり | ① 権利・管理・国際関係・配分 |
| | ② 他の発電システムとの関係 |
| | ③ 一般的な問題やリスクへの質問 |
| | ④ 悪用・兵器 |
| | ⑤ 人体・自然への影響・安全性 |
| | ⑥ 食糧問題 |
| | ⑦ エネルギー問題 |
| | ⑧ 生活への影響・電気代 |
| | ⑨ 未来社会と人類 |

5-2-2. 「科学者」と「市民」の回答率比較

設定した24の区分について、「非専門家」と「専門家」それぞれのQの個数の相対値を比較した結果を図.11に示す。



【図.13 非専門家と専門家のQの相対値比較】

このうち「非専門家」と「専門家」で頻出した小区分を上位 10 抽出して比較したものを表.5 に示す。表.6 からは少なくとも上位 5 つのうち、「人体・自然への影響・安全性」の小区分以外の 4 つが異なっている様子が観察される。

【表.5 左:非専門家・右:専門家の上位 10 の小区分比較】

| 大区分 | 小区分 | 割合 | 大区分 | 小区分 | 割合 |
|--------------|-----------------|-----|--------------|-----------------|-----|
| II:技術について | ③ 送電・発電効率 | 11% | I:実現可能性 | ① 時期 | 13% |
| IV:社会とのかかわり | ① 権利・管理・国際関係・配分 | 9% | III:研究者や研究内容 | ② 研究機関・グループについて | 10% |
| I:実現可能性 | ③ 安全対策・事故対応 | 7% | IV:社会とのかかわり | ⑤ 人体・自然への影響・安全性 | 8% |
| IV:社会とのかかわり | ② 他の発電システムとの関係 | 7% | I:実現可能性 | ② コスト | 7% |
| IV:社会とのかかわり | ⑤ 人体・自然への影響・安全性 | 7% | IV:社会とのかかわり | ⑦ エネルギー問題 | 7% |
| IV:社会とのかかわり | ⑨ 未来社会と人類 | 6% | II:技術について | ③ 送電・発電効率 | 6% |
| III:研究者や研究内容 | ③ 他分野・他業種 | 5% | I:実現可能性 | ③ 安全対策・事故対応 | 5% |
| II:技術について | ⑥ 建設場所や規模(地上) | 5% | IV:社会とのかかわり | ⑨ 未来社会と人類 | 5% |
| I:実現可能性 | ② コスト | 5% | III:研究者や研究内容 | ③ 他分野・他業種 | 5% |
| I:実現可能性 | ① 時期 | 4% | III:研究者や研究内容 | ① 研究者について | 5% |

割合の差が非専門家と専門家の間で大きかったものの上位 5 つを表.6 に示す。

【表.6 割合の差が大きいもの】

| 大区分 | 小区分 | 非専門家 | 専門家 |
|--------------|-----------------|------------|------------|
| I:実現可能性 | ① 時期 | 4% | 13% |
| III:研究者や研究内容 | ② 研究機関・グループについて | 2% | 10% |
| IV:社会とのかかわり | ① 権利・管理・国際関係・配分 | 9% | 3% |
| II:技術について | ③ 送電・発電効率 | 11% | 6% |
| IV:社会とのかかわり | ② 他の発電システムとの関係 | 7% | 2% |

また「専門家」にはほとんどなく、「非専門家」に特有と考えられる小区分は以下の 3 つである。

- I:実現可能性 - ④耐用・処分
- II:技術について - ⑤その他システムとの関係
- III:研究者や研究内容 - ④ 広報

5-2-3. 旧太陽発電衛星研究会 Q&A との比較

宇宙太陽発電学会の前身である太陽発電衛星研究会の HP に掲載されていた SSPS に関する Q&A を表.7 に示す。これは宇宙太陽発電学会で新しく作り直す予定のため、現在削除されている。この Q&A は 1 宇宙太陽発電とは、2 安全・生活への影響について、の 2 つのパートに分かれており、それぞれ 11 と 6、合計 17 の質問から構成されている。17 の質問を表.4 のカテゴリにしたがって分類した。その際、1-1 と 1-2 は SSPS の解説であるため、Q としては扱わず除外することとした。

【表.7 旧太陽発電衛星研究会 Q&A 質問一覧】

| Q 内容 | カテゴリ |
|-----------------------------------------------------|------|
| 1-1. 宇宙太陽発電とは何ですか？ | 解説 |
| 1-2. 宇宙太陽発電の主な構成は何ですか？ | 解説 |
| 1-3. 宇宙太陽発電の発電量はどれくらいですか？ | Ⅱ：③ |
| 1-4. 宇宙太陽発電の開発シナリオはありますか？ | I：① |
| 1-5. 何年ごろの実現をめざしているのですか？ | I：① |
| 1-6. 現在日本が宇宙太陽発電の開発を進める必要性は何ですか？ | Ⅳ：① |
| 1-7. 地上の太陽発電システムと比べて有利な点は何ですか？ | Ⅳ：② |
| 1-8. 他のエネルギーシステムと比較して宇宙太陽発電の発電コストはどの程度ですか？ | Ⅳ：② |
| 1-9. 宇宙太陽発電が利用する太陽エネルギーは地球に降り注ぐ太陽エネルギーのどの程度ですか？ | Ⅱ：③ |
| 1-10. 宇宙太陽発電によって得られるエネルギーは宇宙太陽発電に必要なエネルギーより大きいのですか？ | Ⅱ：③ |
| 1-11. 宇宙太陽発電のための主要課題は何ですか？ | I：① |
| 2-1. 宇宙太陽発電のエネルギービームの中を鳥が飛んでも大丈夫ですか？ | Ⅳ：⑤ |
| 2-2. 宇宙太陽発電のエネルギービームは人体の安全に対してどれくらい余裕があるのですか？ | Ⅳ：⑤ |
| 2-3. 宇宙太陽発電のエネルギービームが受電エリア以外に向けられることはないのですか？ | I：③ |
| 2-4. 受電エリアの立ち入り規制はどのように行われるのですか？ | I：③ |
| 2-5. 通信機器への影響は考えられますか？ | Ⅳ：⑤ |
| 2-6. 宇宙太陽発電のエネルギービームの中を航空機や人工衛星が通過しても問題ないのですか？ | Ⅳ：⑤ |

これをもとに本研究で得られたデータを表.8 で比較する。旧太陽発電衛星研究会 Q&A をカテゴリごとにまとめ、小区分の多い順に並べ替える。割合は 15 の質問に対する％で表した。それを非専門家と専門家の Q の多い小区分順に並べたものと比較する。「非専門家」「専門家」の小区分の順は表.5 にしたがって、大区分(ローマ数字)-小区分(丸文字)で記入した。表.8 から旧太陽発電衛星研究会 Q&A の Q のカテゴリの分布は、項目そのものが「非専門家」と「専門家」と大きく異なっている

わけではない。一見すると両者の折衷になっているようにも見える。ただし、学会 HP 原案は全ての質問を用いており、他の 2 つは 1/4 のみ用いていることに留意する必要がある。

【表.8 旧太陽発電衛星研究会 Q&A との比較】

| 大区分 | 小区分 | 割合 (%) | 非専門家 | 専門家 |
|-------------|-----------------|--------|--------------------|---------------------|
| IV:社会とのかかわり | ⑤ 人体・自然への影響・安全性 | 27 | II-③ 送電・発電効率 | I-① 時期 |
| I:実現可能性 | ① 時期 | 20 | IV-① 権利・管理・国際関係・配分 | III-② 研究機関・グループについて |
| II:技術について | ② 送電・発電効率 | 20 | I-② 他の発電システムとの関係 | IV-⑤ 人体・自然への影響・安全性 |
| I:実現可能性 | ② 安全対策・事故対応 | 13 | IV-③ 安全対策・事故対応 | I-② コスト |
| IV:社会とのかかわり | ② 他の発電システムとの関係 | 13 | IV-⑤ 人体・自然への影響・安全性 | IV-⑦ エネルギー問題 |
| IV:社会とのかかわり | ① 権利・管理・国際関係・配分 | 7 | IV-⑨ 未来社会と人類 | II-③ 送電・発電効率 |

6. 考察

以上の調査から得られた結果をもとに、本研究の問題設定である (i) 説明のズレや共通点があるのかどうか、(ii) どうすれば「ズレをすり合わせ」「改善」出来るのかを探る、という目的が十分達成されたかどうかを検討する。6-1、6-2 では Q の比較による上記 (i) (ii) について、6-3 では説明の 3 分類を用いた効果について考察をおこなう。

6-1. 「説明のズレ」の可視化

本研究では主に日本学術会議の掲げる

- 「科学者と市民の価値観や疑問点のすり合わせをおこなう」
- 「科学者と一般社会の双方の認識のずれや共通点を顕在化させる」
- 「日ごろから科学者と市民が対話する文化をつくり、科学技術についての会話に対する素養を国民全てがもてるようにする」

というサイエンスカフェの目的をもとに、「価値観や疑問点」「認識のズレや共通点」を「科学者の考える『市民の知りたい説明』と市民が実際に聞きたい説明のズレ」として具体的に仮定し、SSPS をテーマとしたサイエンスコミュニケーションの実施から、この可視化を試みた。アンケート調査によって SSPS に関する「質問(Q)」を市民(非専門家)と科学者(専門家)から実際に収集し、Q のカテゴリ分けをおこない表.4 として示した。そしてその 24 のカテゴリに含まれる Q の数から、非専門家と専門家それぞれのカテゴリの頻度を算出し、どのような質問が頻出するのかを表として可視化した。これ

により、非専門家と専門家それぞれのカテゴリの順位という形で、どのような疑問がより持たれるのかを比較可能な形で表している。

本研究で用いた可視化の方法では、「専門家」と「非専門家」で同一のカテゴリ分けを採用しているため、図.13、表.5 で示した様にカテゴリの順位によってその差異を確認することが出来る。また、同一のカテゴリが全体に占める割合を数値として示すことが出来る。ただし、こうした数値は「専門家」と「非専門家」の興味関心や性質を一般化して捉えるために用いる事ができるかは未検証である。本研究では全く異なる3つのイベントから得られたデータを用いて「Qのカテゴリ」を設定しており、同じSSPSをテーマに行なった異なるサイエンスコミュニケーション活動からカテゴリを設定した場合、本研究のカテゴリに分類することができないQが複数発生する可能性がある。また、アンケート記入は任意であるため、イベントでの説明に対する参加者の反応が偏って収集されていることも考えられる。様々な制約から、本研究で得られた結果データから推測できる範囲は限定手的である。

しかしながら、現実のサイエンスコミュニケーション活動で調査できること、そして同じテーマで複数の講演者が様々な場でサイエンスコミュニケーション活動を行ないながら、情報を共有しフィードバックをおこなう方法の一つを試みるという観点から、本研究の枠組みを用いたことで、SSPSに関して金曜講座と柏図書館サイエンスカフェに参加した人々が抱いた質問の内容と、学会シンポジウムに参加した人々が一般市民(高校生など)が求めると想定する質問の内容にはズレがある可能性が示された。このズレは「疑問点や興味関心を文章化したもの」それぞれが全体に占める割合の不一致である。ただし、この「ズレの度合い」が表.6 の様な「Qの頻度の差」と相関があるかどうかは未検証である。多くの不確実性や制約がありつつも、サイエンスコミュニケーション活動をおこないながら収集できるデータの範囲から、「専門家」と「非専門家」のSSPSでの認識にズレが存在する可能性を可視化することには、一定の成功を得られたと言えるだろう。

図.13 や表.5 から、非専門家の中で強く見られるQに「権利・管理・国際関係・配分」が挙げられる。これには、実現したSSPSを管理する国についての質問、技術力の有無による電力の国家間の配分の偏りについての質問、他国の取り組みについての質問などが含まれる。このカテゴリの質問は専門家の間では4%に満たない。特に、非専門家の中でSSPSのシステムをエネルギー安全保障の国際関係の様な文脈で捉えている様子が見られる。これは例えば実現した際に、技術的・資金的な不公平が国家間で生じる懸念や、宇宙空間で生産したエネルギーは誰が権利を主張するのかなど、倫理的な側面への質問から見て取れる。一般向けの書籍や講演内容では見られなかった視点であり、特に高校生の中で観察された。このような差異がSSPS特有のものなのか、科学技術一般に見られるものか、またはまだ研究段階の技術特有のものなのかは不明である。しかし、専門家がこうしたことに気づいていなかったと考えるよりも、「専門」の範囲の捉え方の違いからこうしたズレが生じた可能性が考えられる。SSPSで用いられる技術の研究者が多い「専門家」(付録参照)にとって、SSPSに関する「倫理」や「国際関係」を自身の専門範囲と捉えていない場合や、より実現度合いが高まってから問題になると考えている場合、そうした内容を「自分たちが答えるよう求められるだろう質問」として挙げなかったということである。言い換えると、専門家(イベント参加者からすると主に講演者)の「専門の範囲」について、両者のズレが「権利・管理・国際関係・配分」カテゴリの頻度の相違として表れた可能性がある。

また、「送電・発電効率」が非専門家の中で1位となったのは、「実現した際にどれほど社会や自身の生活に影響を与えるか」についての関心が、「どれほど電気を生産することが出来るのか」という質問の形で表れたものと考えられる。「発電効率」や「発電量」という技術的スペックを問いかけているものの、「実現する必要性」という疑念からの質問である可能性もある。この発電効率について、専門家の間での質問は6%と、非専門家の約半分の割合であった。この差異は専門家の間では発電効率は当たり前の情報として認識されていることが原因なのか、またはそうした機能・数値的な部分には興味を持たないだろうと専門家の間で判断されたのかは分からない。興味深いのは、実現によって電気代が変化するかという質問を含む「生活への影響・電気代」の質問はあまり多くはない。また、このカテゴリは非専門家と専門家で違いがない。これはSSPSをエネルギー生産の新技术と捉えながらも、自身の生活への影響を電気料金という形ではなく、実現する意味のあるスペックを本当に備えているのかという形で質問していると言えるのかもしれない。「質問」について考える際、個人的な利害関係を越えた視点で捉えているのか、SSPSの実現による影響について現実感をもって捉えることが出来ていないことを表しているのかは不明である。

専門家の中で強く見られたのは、いつ実現できるのか、本当に可能なのかという「時期」についての質問である。これに加えて「安全性」や「コスト」といったカテゴリが上位に現れていることから、専門家の中で「市民が興味関心・疑問を持つであろうことは主に実現可能性について」という認識が共有されていることを示しているのかもしれない。専門家の間での13%という「時期」のQに対し、非専門家の間では4%と差があるのは、高校生のための金曜特別講座や柏サイエンスカフェにおいて、様々な解決すべき技術的課題があると説明したため、参加者は実現をまだ具体化出来ない未来の話と捉えたのか、同じ数値でもスペックほど興味関心を集めなかったのか、など理由は分からない。また、「研究機関・グループ」のカテゴリはどのような人々がどこで、どうやって研究をおこなっているかについてであり、これは非専門家の間では非常に少ない。原因として考えられるのは、今回の非専門家のアンケート調査対象は大部分が高校生であり、学会や研究機関、研究者といった組織やシステムについての知識があまりなく、科学者の専門領域や活動についての質問に繋がらなかったからではないだろうか。

6-2 価値観や疑問点のすり合わせをおこなう方法

ズレの存在を確認した上で、その結果を元にサイエンスコミュニケーションを改善していく方向を提示するという、本研究のもう一つの目的について考察する。

可視化したズレや共通点について、「科学者と市民の価値観や疑問点のすり合わせをおこなう」というサイエンスコミュニケーションの目的に従うと、ズレを修正して共通点に近づけていくことが「サイエンスコミュニケーションを改善する」ことであると考えられる。これは科学技術に特有のことではなく、異なる立場・価値観・目的の人同士があるテーマについてコミュニケーションを行う場合、お互いの持つ「違い」を受け入れ、相手がより理解できる形で主張をおこなうことが重要である。したがって、本研究で得られたデータから考えられる「ズレの修正」とは、「聞き手の疑問点や興味関心に合わせた説明をおこなうように説明内容を変更していく」ことであるといえる。本研究の枠組みを用いることで、この「説明」を得られた個々の質問(Q)や質問のカテゴリを利用して変更して行くことが出来ると考えられる。講演やサイエンスカフェの構成をこうした興味関心のカテゴリに近づけることや、実際に得られた質問に答えていくというやり方が考えられる。

これまでのサイエンスカフェで調査されていた「○○という話が面白かった」「××についてもっと詳しく聞きたい」「△△はよく分からない」という感想を蓄積していった場合、こうした具体的変更の選択肢は提示することが出来なかった。ここで、本研究で得られた結果を用いて表.7の旧太陽発電衛星研究会 Q&A と同じ形の Q&A を作成してみる。各カテゴリの割合を同じにし、割り振られたカテゴリ内の実際の質問を抽出したものを以下に示す。

- 宇宙太陽発電で得たエネルギーの何割が、実用可能な電力になるのか？
- マイクロ波を地球に送る際に、地球の表面を雲などが覆っている場合は地表に届くのでしょうか？
- 地球と宇宙太陽光発電のパネルなどをケーブルで繋いで、電気を送ることは出来ないのでしょうか？
- どの波長でも発電できるのか？
- 宇宙太陽発電所が実現したら、発電所の管理はどの国がおこなうのか？
- 技術がない国にはどのようにしてエネルギーを供給できるのでしょうか？
- 宇宙太陽発電に取り組んでいる国はどれくらいあるのか？
- 隕石の衝突などの可能性はないのですか？
- もし壊れてしまった場合、どのようにして回収するのですか？
- 有人でスタッフが常駐する必要があるのでしょうか？
- その他発電による電気との使用コストの差はどのくらいか？
- 国から補助を出して出来るだけ(地上に)太陽光パネルを設置すれば、そこまで宇宙太陽光発電に頼りすぎなくてもやっていけるのでは？
- 海上アンテナで立ち入り禁止区域を作るとありましたが、漁業への影響はないのでしょうか？
- マイクロ波によって心臓病の人への被害が多いのではないか。バスや電車の中では携帯電話は切るように言われているから。

各カテゴリには複数の質問(Q)があるため、この質問の選択には作成者の判断や解釈が入ってしまう。したがって、表.8の結果を前提としても、異なる「改善」が考えられる。

しかし本研究で提示した枠組みの利点は、「ズレがある」ことを仮定し、そのズレを修正しようとした時に、現在の状態から変更する方向や内容が具体的に提示されることである。アンケート調査によって感想や意見を自由記述した場合、情報の話し手が自身とのズレを感じたとしても、それを修正すべきなのか(ズレは大きいのか無視してもよいのか)やどう変更すればよいのかが具体的に分からない。本研究の提示する調査項目を採用することで、価値観や疑問点、認識のズレが見られた時に、具体的な変更によるトライ・アンド・エラーをおこなう選択肢を提示することが出来る。そして、こうしたデータはサイエンスコミュニケーション活動を繰り返すことで蓄積し、選択肢を増やすことが出来ると考えられる。また、ズレを感じた場合に変更の内容や方向性について、学会やその広報などの間で共有することも可能である。科学技術の専門家である科学者がサイエンスコミュニケーション

ンをおこなう場合、属人化していない改善方法が存在することで、これまでこうした活動への参加をためらっていた科学者に、積極的なサイエンスコミュニケーション活動を促すことが出来るだろう。

6-3 説明の3分類の効果について

Qの比較によるズレの可視化に一定の成果が得られた一方で、講演内容に説明のテーマについての解説を組み込み、サイエンスコミュニケーション活動参加者の投票を利用して、次回実施時の内容の設計に活かすという構想は上手く機能しなかった。これは、アンケート用紙のQの記入欄は3つの分類がなされていた(付録参照)ものの、得られたQを整理すると、同じ質問が異なる分類に記入されるということが散見された。特に「実現可能性」に関わるものは全ての分類に渡って記入されている。学会でおこなったアンケートでもその傾向は変わらなかった。これから考えられるのは、それぞれのトピックについて上位分類を実施者側が設定し、様々な工夫を行って周知しても、「質問を発する」という段階ではどの分類から連想したと考えるかは各個人ごとに異なっているということである。また、Qから得られたカテゴリの小区分は27であり、その上位分類である大区分の4分類のみでは、表.5、6、8の比較において疑問点や興味関心のズレを見出すことは難しい。本研究の枠組みを用いた改善のためには、説明を行う側から枠組みをトップダウン的に提示するのではなく、説明を受けた側の反応を丁寧に分析するボトムアップ的な枠組みの設定が必要であった。

一方で、サイエンスカフェ実施者がどのようなトピックで説明を行なうかを検討する際の指標として効果があった可能性がある。高校生のための金曜特別講座において佐々木氏と講演内容を検討する際に、佐々木氏が以前行なった講演のスライドをもとに、3分類それぞれのトピックを増やすように説明の種類について相談した。その結果、研究者の話と社会とのかかわりの話について、いくつかトピックを加えていただくことができた。こうしたトピックの選択の全体像を掴み、選択肢を考える際に、この3分類が機能する可能性も考えられる。

また未検証ではあるが、Qの記入を促すさいに、単に「何か質問を書いてください」と書くのではなく、枠組みを複数提示したことで、Qの記入率やデータの多様性を向上させることが出来た可能性もあるのではないかと考えた。本研究では一つでも多くの質問を集めることが重要になってくる。そのために、質問を考えやすくする枠組みは重要な役割を果たすだろう。

以上から、本研究で設定した3つの分類の妥当性や、こうした分類そのものの効果について、今後の研究で検討していく必要があるだろう。

7. 結論

SSPSとサイエンスコミュニケーションの形式

本研究の調査対象として実施された「土曜カフェ」を除く2つのサイエンスコミュニケーション活動は、参加者の規模の違いから金曜講座の「大規模」と柏図書館サイエンスカフェの「小規模」として区別できる。しかし両者の実施スタイルは「専門家の科学技術についての説明の後、会場との質疑応答」という「講演型」である。本研究では1-3において様々なサイエンスコミュニケーション活動についての研究を検討したが、その多くのサイエンスコミュニケーションの実施スタイルは「対話と双方向性」を重視したものであった。非専門家と専門家が議論をする場という視点から考えると、本研究で実施されたサイエンスコミュニケーションは、藤垣・廣野(2008)による「(科学技術についての)理解を深めるサイエンスコミュニケーション」「議論を深めるためのサイエンスコミュニケーション」の前者

にあたるだろう。そしてこうした専門家から非専門家への一方通行的な知識の伝達は、高梨ら(2012)の「サイエンスコミュニケーションの場での会話参与の役割が固定的でないものが望ましい」とする双方向性コミュニケーションの仮定からは、歓迎されない形式といえるかもしれない。

しかし、本研究の事例である宇宙太陽発電には、双方向な会話参与を行うことが難しいと考えられる特徴がいくつかある。まず、一般の認知度が低いいため、参加者との議論がうまくいかない可能性があげられる。事実誤認を訂正することを繰り返すのは、参加者の満足度という観点からもあまり望ましくないように思われる。同時に専門家にとっても、どのようなことが非専門家の間で議論になりやすいのかを把握していない場合や、社会問題やリスクの具体例についてよく分かっていない場合も考えられる。小人数の議論型を行うべきか、講演型を行うべきかは、サイエンスコミュニケーションの目的だけではなく、テーマとなる科学技術の社会での認知度や成熟度によって影響を受けるだろう。

そうした場合、本研究で行なったような「質問」を分析することに、一定の意義があると考えられる。ある程度の説明が必要な場合、おこなえる調査は限定的であり、質疑応答や専門家からの問いかけだけでは、サイエンスコミュニケーション活動を改善していただくの十分なフィードバックが得られない可能性もあるだろう。想定する説明の内容のズレを可視化し、それを埋める方法を探ることは、限られた調査の選択肢の中でおこなえる一つの方法といえるだろう。ただし、本研究が「説明のズレ」と仮定したものを、別の視点から検討していく余地は多く残されている。「何をすることが改善なのか」はサイエンスコミュニケーションの理念・定義から、どのような評価パラメーターが妥当であると解釈したかによって大きく異なるだろう。サイエンスカフェの効果や改善について、こうした視点からより幅広く検討した研究や調査が必要である。

また、SSPSのような研究段階の科学技術に関するサイエンスコミュニケーションでは、どのような形式のサイエンスコミュニケーションならば改善を実施していくことができるのか、どこかの段階から講演型と議論型の必要性が切り替わるのか、などに関する検討も、本研究からの課題として残された。

サイエンスインタープリターの役割

「非専門家と専門家の Q を抽出し比較する」という調査手法の効果について、「質問を書いてもらう」ことは、参加者に「議論の訓練の機会」を与えているのではないかと考えた。日本学術会議のサイエンスコミュニケーションの目的の一つに、日頃から国民に科学について対話・議論する習慣をもたせるというものがある。これは、日本人は議論をすることに不慣れであるために、実際の日本のサイエンスカフェの多くが講義型であると言われることを受けてのものと考えられる。科学技術について単に話を聞いて「分かる」だけではなく、積極的に議論、すなわち自分の「反応」を持つため、ある程度の訓練や経験が必要だろう。こうした訓練の第一歩は「疑問をもつ」ことではないだろうか。普段接することのない科学技術についての説明を受け、それを自分の価値観や興味関心と照らし合わせて質問を思いつくことが、科学リテラシーや科学技術政策の市民参加と言われることの最初の、重要な入り口になるように思える。アンケートに感想ではなく「質問」を書くことで、「疑問をもつ」ことが出来るようになり、科学について対話・議論する「習慣」につながる。これは、講演型サイエンスコミュニケーションと議論型サイエンスコミュニケーションを繋げていくことになるのではないだろうか。

専門家にとっても、「市民の視点で考える」ことが科学者の社会的責任として求められている(藤垣・廣野,2008)。そのために、「市民の視点で質問をあげてみる」ことは重要な経験となるのではないかと考えた。本研究ではそれらは非専門家の Q と比較したことで、「市民の目線に立っているのかどうか」が可視化されている。

こうしたことから、「質問」を挙げやすい環境を整え、「比較」から気づきを得やすい情報を提示するという本研究の調査枠組みは、サイエンスコミュニケーションにおける参加者(一般市民・非専門家)と講演者(科学者・専門家)双方にとって「得るもの」のあるサイエンスコミュニケーション活動を提示していると考えた。廣野(2008)はコミュニケーションの目的に関する考察において、研究者と一般市民のコミュニケーションにおける「会話の方向付け」の共通認識の重要さとそれが機能していない可能性を挙げ、

「一般市民は科学者が伝えたい方向付けを把握できない。科学者は一般市民が知りたいこと、どのような伝え方をすれば伝わるのかが分からない。サイエンスコミュニケーションにおいて、一般市民の科学技術リテラシーの向上だけでなく、科学技術者の『社会リテラシー』『市民リテラシー』の向上が唱導されるゆえんである。」

と述べている。つまり、市民が「科学技術リテラシー」を得ると同時に、科学者が自身の研究や専門分野に関する「社会リテラシー」や「市民リテラシー」を得ることが(サイエンス)コミュニケーションにおいて必要であるということである。これは、サイエンスコミュニケーションの目的が「市民の科学技術リテラシー向上」と「科学者の社会・市民リテラシー向上」にあるということである。そしてこのリテラシー向上はコミュニケーション参加者の市民(非専門家)と科学者(専門家)が、お互いを知ることによって得られるのではないか。ここで「双方向」という視点を用いるならば、単に情報が双方向にやり取りされているだけではなく、学びやリテラシー向上という「得るもの」が双方向になっているといえるのではないだろうか。こうした「学び」「リテラシー向上」が双方に得られるようなサイエンスコミュニケーションの枠組み・調査設計を提案し、実施するのが「サイエンスコミュニケーター」の役割ではないかと、本調査を通して考えた。また、そうした実践技術が属人化し職人芸とならないよう、より多くの人々が科学技術を楽しめる方法を提示・共有していくことも重要な仕事である。

以上から、サイエンスコミュニケーターの果たしているものは、科学者が市民に教える際の「表現の仕方の提示」や、市民が科学者に質問する時の「専門的知識の補足」といった「どうやって伝えるか」だけに留まてはいない。科学者に「何を伝えるか」を具体的なデータから検討し、市民の疑問から科学者に「何を伝えるか」を実践の場で調査する。これが「どうやって伝えるか」に留まらず、「何を伝えるか」をサイエンスコミュニケーションで実践する「サイエンスインタープリター」の役割である。サイエンスコミュニケーションの目的に沿った改善や、「双方向の得るもの」の最大化を目指す調査の枠組みについて、様々な視点からのアプローチが求められる。本研究で用いた枠組みの妥当性の検討とともに、異なるアプローチや異なるテーマでおこなった報告が増え、共有されていくことを期待している。

謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導を頂きました指導教員の岡本拓司准教授に深謝いたします。また、丁寧なご助言を頂きました科学技術インタープリター養成プログラム特任講師の定松淳さま、江間有沙さまに感謝いたします。様々な申し出を快く引き受けて下さいました、佐々木進さま、小紫公也さまには改めてお礼申し上げます。また、こうした調査の機会を与えて下さり、親身にご助力下さいました、東京大学教養学部附属教養教育高度化機構社会連携部門 加藤俊英さまと標葉靖子さま、柏図書館館長雨宮慶幸さま、同図書館課長市村櫻子さま、および職員の皆様々に感謝いたします。SSPS 関係全般の便宜を図って下さいました宇宙航空研究開発機構の田中孝治さま、宇宙太陽発電学会シンポジウム実行委員の皆さまにはひとかたならぬお世話になりました。ありがとうございました。そして講義や日常の議論を通じて多くの知識や示唆を頂いた、科学技術インタープリター養成プログラム講師と受講生の皆様に改めてお礼申し上げます。

文献

1. 文部科学省(2004)「平成 16 年版 科学技術白書」
2. 文部科学省 科学技術政策研究所 渡辺政隆・今井寛(2003). 「科学技術理解増進とサイエンスコミュニケーションの活性化について」
3. 渡辺政隆(2008)「科学技術理解増進からサイエンスコミュニケーションへの流れ」『科学技術社会論研究』 Vol.5 p.10-21.
4. 藤垣裕子・廣野喜幸[編](2008)『サイエンスコミュニケーション論』 東京大学出版会.
5. 中村征樹(2008)「サイエンスカフェ：現状と課題.」『科学技術社会論研究』 vol.5 p.31-43.
6. 内閣府 日本学術会議(2004)「社会との対話に向けて」
7. 内閣府 日本学術会議 科学者委員会 科学と社会委員会合同 広報 科学力増進分科会委員長 小松久男(2015 改訂)「日本学術会議サイエンスカフェ実施へのお誘い」
8. 内閣府 日本学術会議, サイエンスカフェとは?, 日本語, 2016/02/27 閲覧,
<http://www.scj.go.jp/ja/event/2015cafe.html>
9. Navid, Erin L., and Edna F. Einsiedel. 2012: “Synthetic Biology in the Science Cafe?: What Have We Learned about Public Engagement?” *Journal of Science Communication* 11(4).
10. 紺屋 恵子. 2008. 「小規模サイエンス・カフェの可能性と課題.」『科学技術コミュニケーション』 vol.3 149-58.
11. 加納圭. 2013. 「サイエンスカフェ参加者のセグメンテーションとターゲティング:『科学・技術への関与』という観点から」『科学技術コミュニケーション』 vol.13 3-16
12. 後藤崇志 et al. (2014) 「科学・技術イベント参加者層評価に豪州発セグメンテーション手法を用いることの有効性.」『科学技術コミュニケーション』 vol.15 17-35.
13. 高梨克也 et al.(2012)「双方向コミュニケーションでは誰が誰に話すのか?」『科学技術コミュニケーション』 vol.11 p.3-17.
14. 日高友郎 et al. (2014) 「サイエンスカフェにおけるファシリテーターの集団維持機能 市民-科学者間の会話を支える要因に注目して」『実験社会心理学研究』 vol.54 (1) p.11-24.
15. 宇宙航空研究開発機構, 宇宙太陽光発電システム(SSPS)の研究開発, 日本語, 2016/02/28 閲覧, <http://www.ard.jaxa.jp/research/hmission/hmi-index.html>

16. 松本紘(2011)『宇宙太陽光発電所』ディスカヴァー・トゥエンティワン
17. 宇宙航空研究開発機構, SSPS に関してよくある質問, 日本語, 2016/02/28 閲覧,
<http://www.ard.jaxa.jp/research/hmission/hmi-faq.html>
18. 高野忠(2012)『エネルギーの未来宇宙太陽光発電』株式会社アスキー・メディアワークス
19. NHK「サイエンス ZERO」取材班+佐々木進(2011)『宇宙太陽光発電に挑む』NHK 出版
20. 太陽発電衛星研究会, 研究会の概要, 日本語, 2016/02/28 閲覧,
<http://www.sspss.jp/www.ssprs.org/summary.html>
21. 宇宙太陽発電学会, 学会の概要, 日本語, 2016/02/28 閲覧,
<http://www.sspss.jp/history.html>
22. 佐々木進(2014)「SPS 研究会の活動を振り返って」第17回 SPS シンポジウム
23. 宇宙開発戦略本部事務局(2009)「宇宙基本計画」
24. 内閣府, 宇宙政策, 日本語, 2016/02/28 閲覧, <http://www8.cao.go.jp/space/index.html>
25. 内閣府(2014)「宇宙基本計画(平成27年1月9日宇宙開発戦略本部決定) 本文」
26. 内閣府(2014)「宇宙基本計画(平成27年1月9日宇宙開発戦略本部決定) 工程表」
27. 日経ビジネス ONLINE 山田久美, 実現なるか! 宇宙太陽光発電システム 宇宙で発電し、無線で地上に伝送(2014/08/18 公開), 日本語, 2016/02/28 閲覧,
<http://business.nikkeibp.co.jp/article/topics/20140807/269795/>
28. 産経ニュース【経済インサイト】、「馬鹿げた計画」酷評「宇宙太陽光発電」 NASAが手を引いても開発続ける「技術立国日本」の意地(2015/03/27 公開), 日本語, 2016/02/28 閲覧,
<http://www.sankei.com/premium/news/150327/prm1503270001-n1.html>
29. 文部科学省 科学技術・学術政策研究所(NISTEP)(2015)「第10回科学技術予測調査 分野別科学技術予測 [調査資料-240] 報告書」
30. 吉田裕之 et al. (2007)「SPS における社会的受容性に関する検討-2003, 2006 年度のアンケート結果から-」『信学技報』(2007-07), p.35-39
31. 長山博幸 et al. (2009)「成人の SSPS に求める情報と情報行動-2006・2008 年 SSPS の社会的受容に関する調査から-」『信学技報』(2009-07), p.11-18
32. 長山博幸 et al. (2009)「宇宙基本法・宇宙基本計画と一般成人の SSPS に対する意識」第12回 SPS シンポジウム
33. 長山博幸 et al.(2013)「宇宙太陽光発電システムの社会的受容性調査」『宇宙科学技術連合講演会講演集』 vol.57
34. Space Dream 2030, 近未来の宇宙開発一宇宙発電所と月開発一, 日本語, 2016/02/28 閲覧, <http://www13.plala.or.jp/spacedream/>
35. 東京大学, 小紫公也の自己紹介, 日本語, 2016/02/28 閲覧,
<http://www.al.t.u-tokyo.ac.jp/kimiya/kimiya4.html>
36. 東京大学, 高校生のための金曜特別講座, 日本語, 2016/02/28 閲覧,
<http://high-school.c.u-tokyo.ac.jp/index.html>
37. 土屋智子 et al.(2011)「市民と専門家のリスク認知の違い-2009 年度調査結果報告-」『電力中央研究所報告 Y11003』

付録

1) 金曜講座と柏図書館サイエンスカフェで用いたアンケート

東京大学 科学技術インタープリター養成部門のアンケート調査にご協力をお願いします。

「宇宙太陽光発電に関するアンケート調査」

1. 以下の該当するものに○をつけてください。高校生の方は学年もご記入お願いいたします。

1.1 ご所属について

高校生 (年生) 小学生 中学生 大学生 大学院生 一般・社会人

1.2 今まで「宇宙太陽光発電」について知っていましたか？

よく知っていた 名前は聞いたことがあった 一度も聞いたことが無かった

1.3 本日の講義はよく分かりましたか？

2. よく分かった まあまあ分かった あまりよく分からなかった 全く分からなかった **今日のお話**の中で、面白かった、もっと話を聞いてみたいと思ったものから順に、1~3の順位をつけてください。

位： 宇宙太陽光発電とはどのようなもの？その背景、技術、実現の見通し

位： どんな人たちが研究している？係わる研究者や学会設立の動き

位： 実現したらどんな未来社会が実現する？社会的受容とリスクは？

3. 宇宙太陽光発電学会ウェブページでは**皆さんからの質問に対して、学会の研究者が答える「Q&A」を作成して公開する予定です。**今日の3つのテーマについて研究者に聞いてみたい質問を、下にいくつでも書いてください。

3.1. 宇宙太陽光発電の背景、技術、実現の見通しについて（技術や実現の見通しの話）の質問

3.2. どんな人たちが研究しているのかについて（関わる研究者や学会の話）の質問

3.3. 実現したらどんな未来社会が実現するかについて（社会的受容やリスクの話）の質問

4. 宇宙太陽光発電についてどのようにお考えですか。8問それぞれ当てはまる数字1つに○をつけてください。

| | そう思う | やや そう思う | どちらとも いえない | あまりそう 思わない | そう 思わない |
|-----------------------|------|------------|---------------|---------------|------------|
| マイクロ波などの健康への悪影響がある | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| マイクロ波の兵器への転用の懸念がある | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 宇宙での廃棄物とゴミ問題に対処できる | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 研究者や技術者は信頼できる | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 国は何か問題が起きた時、対応する能力がある | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 宇宙太陽光発電は環境問題の解決に貢献する | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 将来どんな影響が起こるかを予測できている | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 宇宙太陽光発電は社会にとって必要である | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |

以上でアンケート調査は終了です。ご協力ありがとうございました。お帰りの際に回収箱にお入れください。

2) 学会シンポジウム アンケート 設問 1「あなたのご専門を教えてください」回答一覧

回答率は 30/37 であった。原則として自由記述の回答内容をそのまま使用。同一の回答の場合は【】に回答数を記入した。順不同。

- 電気工学【3】
- 電気・電子【2】
- 電子工学
- 機械工学
- プラズマ科学、宇宙科学
- 航空宇宙学
- 宇宙工学(小型衛星・デブリ)
- 宇宙工学、推進工学、電磁波
- 無線電力伝達(エネルギー専攻)
- マイクロ波無線電力送電
- マイクロ波発生源
- マイクロ波
- マイクロ波工学
- マイクロ波送電
- 輸送
- 無振動伝達、衛星通信
- 通信工学
- 衛星通信
- Rf 関係
- レーザーアブレーション/推進
- 中小企業論
- 科学技術教育、次世代の企画・開発
- 社会システム工学
- 行政
- 宇宙分野の調査
- イラストレーター
- 広告

3) 得られた質問(Q)一覧

非専門家(金曜講座+柏)のQ一覧

(太字は柏図書館サイエンスカフェのもの、それ以外は金曜講座のもの)

I:実現可能性

① 時期

1. コストや安全面での問題などが浮き彫りとなっていたが、安全実験を全てクリアし、実行段階に移すまでに一体何年かかる予定なのですか？
2. 発電機を宇宙で自動的に展開できるようにする研究の映像があったが、地球で自動的に展開できても、まだ謎が多く、環境の違う宇宙でどこまで展開できるのか
3. 何年後ぐらいに実現するか
4. まずは原発をゼロにする方向で、クリーンエネルギー保有が数年後単位で(早めに)可能なのだろうか？
5. 地球閉鎖空間からの脱出は、概念的には理解できるが、講師の見解には、希望的で実現は数倍先と考察する。
6. 化石燃料がなくなる(or 地球かんきょうが非常に悪化する)までに完成する目処は？(経済的な面も含め)何年を目処に完成させるか？
7. 研究者の方々はこの技術をどれほど本気で目指しているのか？つまり、軌道上への輸送コストを1/100にして、尚且つ宇宙ゴミの除去を効率的に実施する方法を確立せねば、いくら宇宙太陽発電について語っても、「絵に描いたモチ」に過ぎない。この技術を研究している方々は、この点についてどのようなご意見を抱いているのか。
8. 宇宙太陽発電が実現される見込みは現状どれぐらいの確率であるのか。また、いつごろ(何年くらい先に)実現できる見込みか？電力の心配はなくなるだけの設備が作れるのか。
9. 衛星の形態毎に可能性を一覧にしてほしい
10. 静止軌道 100t は重過ぎよ、1/10~1/20

② コスト

1. 今から発電の実現まで何円くらいかかるの？
2. 10~20兆円に資金が必要！2020年に具体化は無理。(この件では欧米は引き気味、研究・日本開発・中印ではKNOW、HOW以前、ノーベル財団も傾注していないETC)
3. 1kmどのくらいのコストがかかっているのか？今後はどのくらいでできる？
4. 予算、採算
5. 宇宙太陽発電というシステムを全体としてどれくらい安くできると見積もっているのか
6. 実現した場合、1年でどれくらい経済的に利益になるのか
7. 今、日本は赤字になっているけれど、この計画にどのくらいの費用がかかるのかと、もし失敗したときの赤字や影響
8. 軌道上への輸送コスト。資料に書かれていた通り、輸送コストを1/100にしないと話にならない。この手の話はベンチャー企業にやらせた方が早い。国で話を進めると公共事業になる。

9. メンテナンスを含めコスト評価は？
10. 運搬手段のコスト削減についてどんな研究課程がありますか(ロケット開発技術)、燃料
11. 代替エネルギーとのコスト比が重要と思う。

③ 安全対策・事故対応

1. 宇宙空間には宇宙ゴミはもちろん、流星や隕石といった物体がありますが、それらが発電所に衝突するという可能性はあるのでしょうか？また、そのような場合にどの様に対処するのでしょうか？
2. 隕石の衝突などの可能性はないのですか？
3. 宇宙のゴミがあたった場合でも、部分的に修理(故障部分を入れ替える)しながら使用する場合、人力またはロボット等での修理を想定しているのか？資材の納入なども含めて想定していることは？
4. 宇宙太陽発電の太陽光エネルギーを利用して、宇宙でブリを処理することが可能か？
5. 原発のような何らかの事故が起きた時の状況と対応
6. 事故などの対処
7. 発電パネルに隕石などが衝突した場合、どうするんですか？
8. 太陽光パネルの破損などの事態に対する対応などは考えられているのか
9. もし、宇宙で機会が壊れたら、どのように対処する予定ですか？"
10. もし壊れてしまった場合、どのようにして回収するのですか
11. もしも壊れたとしたら修理などはどうするのか。また打ち上げなければいけないのか。
12. 何度もアクシデントが起こって上空に分散された場合、地上にも影響すると思いますがどうなの
でしょうか？"
13. 地上の発電所と違い、無人で運用することによる突発的の事故への対応への心配が生まれる。
14. すでにある宇宙ゴミによる破損のリスクはないのか？
15. 地上に作った受電基地が海上につくるときき、津波などでの破損したりはするのですか？また、
しないとしても発電に影響が出たりはしないのですか？
16. 会場での質問でもありましたが、メンテナンスや設備の寿命がどのくらいになるかが気になりました。
有人でスタッフが常駐する必要があるのでしょうか？
17. 保守、運営、メンテナンスをおこなう上での問題、およびそれに対する対処法はどんなものがある
か。

④ 耐用・処分

1. 今の化石燃料の発電などは、100年もつといわれているが、宇宙太陽発電はどのくらいの期間
で活用できるものなのか
2. ソーラーパネルの寿命と、運用終了後の処置は？
3. 宇宙の太陽発電所が完成したとすると、その使用期間はどれくらいですか？
4. 何年くらいそれが使えるか
5. 宇宙と地球とで、太陽光パネルの耐久年数は異なりますか？また、それぞれの耐久年数はど
れくらいでしょうか？

6. 劣化の速度はどれくらいなのか"
7. 宇宙空間のパネルの耐久性はどうか？入れ替えの頻度によるコスト。
8. 老朽化した場合、発電所を処分・廃棄する方法や、コストを出す人、責任を負う人は考えてくれているのか。

II : 技術について

① 太陽光パネル

1. 大型構造 2km×2km ということでしたが、やや小さめのサイズを多数というのではダメなのでしょうか？コストの課題になるのでしょうか。
2. 小さな規模での実験は成功しているようですが、大きな規模だと難しいのですか？
3. 太陽フレア(磁気)による影響はあるのでしょうか？
4. 太陽風への対策について教えて下さい。
5. 太陽電池パネルによって地球に送られる太陽の光はさえぎられるのではないか(影にならないのか)？
6. "・パネルの基本は地上で使用しているものと同じなのか？
7. 自動で組み立てられることができるソーラーパネルは、無重力空間でも問題なく動くのか
8. 宇宙で自動でパネルを組み立てることは本当に可能なのか？
9. たくさん打ち上げた場合、地上から発電所は見えるのでしょうか？"

② 輸送

再利用型のロケットで打ち上げトン数はどれくらいを目指しているのでしょうか？

③ 送電・発電効率

1. マイクロ波でエネルギーを地上に送る場合、どのくらいエネルギーを失うのですか？
2. 宇宙太陽光発電装置一つで原発一つ分と聞いて、意外と少ないと感じたが、もっと発電能力を上げることはできないものですか？
3. マイクロ波のエネルギー密度を下げて発電した分を余すことなく送れるか？
4. 送電効率がげんざい 20~30%、将来 50%ということだったが本当か。もっと低いのではないか？
5. 反対にエネルギー密度を下げてしまうと、効率的に悪くなるのではないか(開発投資と利潤との関係)？"
6. ソーラーバッテリーの薄化、軽量化が先決と思うが、効率化をもっと進めないのか？マイクロ波の転換上の技術もあるかもしれない。
7. 太陽光パネルの発電効率は40%以上にならないのか？LDE みたいに発光効率みたいに技術革新はできないのか？発電した電気の損傷率は地上の太陽光発電と変わらないのか
8. 宇宙で得た電力をマイクロ波で送った時に損は出ないのですか
9. マイクロ波で宇宙から送電した場合、どれほどその過程で電気が損なわれるのか
10. 宇宙太陽発電で得たエネルギーの何割が実用化される電力になるのか？
11. 宇宙太陽発電で得たエネルギーの何割が、実用可能な電力になるのか？"

12. 宇宙太陽発電から実際に利用できる電気にするまでのエネルギー発電効率は何%ですか？
13. 発電した電気は蓄えることができるのか。また、蓄える場所の蓄えておける期間はどのくらいか
14. 発生した電気を電波で送る時、発電した分余すことなく送ることができるのか(宇宙空間のゴミなどの障害物)
15. 本当に電磁波受信部に電磁波を適切に送れるの？"
16. マイクロ波を地球に送る際に、地球の表面を雲などが覆っている場合は地表に届くのでしょうか？
17. 発電衛星についてはそこそこ理解することが出来たが、マイクロ波を受け取る例について気になった
18. マイクロ波の受信施設のサイズは？また複数のパネルからの送電を受けられないのか？"
19. 太陽光のパネルから地上につくまでどれくらいかかるのか？"
20. 宇宙に重りを飛ばして地球とつなぐ方法で、宇宙エレベーターを作るという話を聞いたことがありますが、同様に地球と宇宙太陽光発電のパネルなどをケーブルで繋いで、電気を送ることは出来ないのでしょうか？
21. マイクロ波とレーザー波はどのように違うのか(エネルギーを変換する場合)
22. マイクロ波レーザー送電の、日本での一般化はありますか？
23. どの波長でも発電できるのか？
24. 地球へマイクロ波を送電する時に電気量は半減するのですか？
25. 静止軌道上での発電は、直流の発電だと思います。4項の宇宙太陽発電所の構想では、海上なので受電・直流電力に変換とあります。静止軌道上で直流→交流変換するのでしょうか？
26. 地球に向けてマイクロ波を放射する時、反対向きの(地球から遠ざかる向きの)運動量を衛星が受けることになり、静止軌道からずれていく心配はないのでしょうか。
27. 宇宙での発電量と地上での受信時に実際消費できる電力量の比率が気になりました。

④ その他技術的

1. 宇宙でマイクロ波を計ることのできる機械はあるのか？
2. 温度変化による制御の熱に関するノイズへの対策は？
3. 回路(特にアンプ)のノイズはさらにきれいにすることが出来ると思うか？
4. テラヘルツ光などの別の先端技術の利用を視野にいれるといいと思う
5. 宇宙には太陽光の他にエネルギーになるものはあるのか？

⑤ その他のシステムとの関係

1. 宇宙エレベーター(空想レベル?)との関係は？
2. 所持、先駆者(三浦折パネル等)の思考を否定せず、仲良くやって物事実現に加担が肝心と心得よ。
3. お話には出てこなかったが、太陽エネルギーで飛ぶ航空機が開発されてきていることをニュースで見たことがあるが、それとの関連はどうなのか知りたいと思いました。

4. ロケットのコストがたいへんとすごく分かりました。SF でよく出てくる軌道エレベーターは考えられていますか？

⑥ 建設場所や規模(地上)

1. 中継点を作りそこからいろいろな場所を送ることで一か所に大きく作るのではなく、多い場所に小さく作ることで土地の問題を解決できませんか
2. 地球の太陽光発電所の場所について(現地人の反対)どういう所に建設する予定なのか？
3. どのような土地に置くのか？"
4. 映像で見ると、宇宙から電磁波で送電される電波を受ける施設(アンテナ)もかなり大規模なように思ったが、もっと規模の小さいものにできないのか。規模が大きくなると、メガソーラーと同じ問題を抱えることになると思った。コストの問題も大きい。
5. 100kw レベルの受信装置は地上ではどれくらいの規模になるのだろうか？"
6. 殊に、どの程度の規模のものが考えられるのであろうか？小さなもの、実験的なものにしかならないのではないかと思える。送電技術(空間での大量の超遠距離送電技術)についての可能性はあるのか分からない。
7. もし、実現したら何個ぐらい建設できるのですか？
8. マイクロ波を受信する場所は、どこですか？四季などが関係ない赤道直下らへんですか？
9. 地上の受信基地はどのような所に建設する予定ですか？
10. 受信機地は最終的にどのくらい必要か？
11. 地球上にある受信施設の場所による発電量の差などはあるのか？

Ⅲ: 研究者や研究内容について

① 研究者について

1. 何人くらいが研究者として学会に参加しているの？"
2. どんな分野の方が研究に関わっているのですか？
3. どんな思いで研究にうちこんでいるのか？
4. 今の段階で 100%達成するのか分からない状態で、今研究している人は何を思って研究をはじめたか。また、今何を思っているのか？
5. 日本人の研究者は長友先生や松本先生以外にどのような方がしているのか
6. 研究者は独身なのか

② 研究機関・グループについて

1. 今後これについて研究する研究室(大学)は増えていくと思うか？また増えたとしたら東京大学はするのか？
2. どんな大学の学部の人研究しているのか
3. どんな機関が関係しているか
4. 日本の研究者は世界のどんな位置にあるのか。現在の最先端の研究機関は？

③ 他分野・他業種との関係

1. 分野が宇宙航空工業だと思うんですけど、航空の関係者は何か取り組んでいますか？あったら教えてください。
2. 科学者や技術者だけじゃなくて、社会学者とかも研究に参加してるの？
3. 研究者と政官関係者、市民との間はどのようにして
4. 政府の人いるんですか？
5. 政治家なども関与しているのか
6. 宇宙や発電を研究している方々以外の研究者が、何らかの形で関わることはあるのですか？
7. 企業における研究・開発のテーマとして、どんな課題(R&D)があるのか知りたい。
8. 電力会社(送電)との連携はいつ頃から行われるか？
9. 産学協同が必要だと思う。産の立場に立つ人はいるのか？
10. 自分の研究に関わるのなら、JAXA や民間に務めるしか方法はないのですか？
11. 文系出身の人でも役に立ちますか？
12. 国家間の協力体制と役割分担

④ 広報

1. 個人的に、地球の天然資源が底をつきそうだから、とって宇宙のエネルギーに侵略したという感じが否めないのですが、そう考える人達に対しどのような説明をされるのでしょうか？
2. 宇宙太陽発電を知ってもらうための方法としてどういったことを検討しているか？ マスメディア・アニメ・ゲームなどの活用はどうか？
3. どの段階まで技術が発展したら、メディアなどに大きく発表していくのでしょうか？
4. 一般国民に対して PR が重要だと思う。関わる人の数を増やす方法、この講義のような場を増やしてほしい。
5. 教科書やNHKのサイエンスZEROで紹介すれば知名度が上がるのではないかと？
6. 後100年で地球の資源がほぼ無くなるということは一般の人にも知っていると思われるが、あまりにも現実味がなく、社会に浸透させるのは難しいのではないのでしょうか。また、どのように世間に広めるつもりですか？
7. クラウドファンディングや寄付を集めたらどうか？
8. 世の中一般の人にわかりやすく夢物語ではない情宣活動が必要ではないか。
9. 核融合研究はNHKのテレビ番組で見たことがあります。宇宙太陽光発電はテレビで紹介されている(これからされる)のでしょうか？

⑤ 一般との対話の場

1. どのようにしたら一般の人々に広められるとお考えでしょうか？
2. 学会に一般市民が入ることで何か見聞が広がることはあるのか？
3. 興味はあるが知識はそれほど持っていない市民・学生が研究に少しでも関わるとすれば、どのような方法がありますか？"
4. どこに行けば知識を得られるか？
5. そもそも不得意な分野なので外から教えて貰わないとわかりません。

6. 学生・一般人の方に興味を持って理解していただくなら、学生・一般人だけの学会を作るのもありではないか

IV: 社会とのかかわり

① 権利・管理・国際関係・配分

1. この装置によって発電された電力は、誰のものになるのですか？
2. "・宇宙太陽発電所が実現したら、その発電所の管理はどの国がおこなうのか？
3. 宇宙太陽発電所は日本の技術・費用だけで叶うものなのか？
4. 「とつきよ」とかとるんですか？
5. (3にも関連)宇宙太陽発電による国ごとの得る電力の差によって、争いが起きる可能性は(国際問題)？
6. 発電されたものは、どこに、どれくらいの割合で分けられるのか
7. 宇宙太陽発電に取り組んでいる国はどれくらいあるのか？配分は？
8. 宇宙太陽発電を巡って(リソースの)争いが起きる可能性は？
9. 多国から技術を買わなくてはならない国では、売るものと買うものとの間の格差が生まれる可能性があるのではないのでしょうか？
10. 一部の企業や国が独占的に開発・電力供給をおこなうと、競争が起これば効率が悪くならなかったり、原発のような問題が起きるのではないか
11. 宇宙での利益などは一国に集中しないように決めてあるようなのですが、分配について、宇宙よりエネルギーを利用できるようになった時に、何をもって公平としていくのでしょうか？
12. どこが管理するのか？全ての国が使用できるのか？それらをめぐって争いは起きないか？
13. 技術がない国にはどのようにしてエネルギーを供給できるのでしょうか？
14. 宇宙太陽光発電で発電した電力を受け入れるインフラの整っていない国や、整えるのが難しい国はどうすればよいのでしょうか？
15. SDIに通じるこの仕組の取り決めは、米中などでどこまで護るか？
16. 日本でしか実施しないのか？
17. アメリカはいつ頃から積極的に関わり始めるか？
18. 日本が一番先行しているようですが、国連等とタイアップして推進してはどうか。
19. 日本が唯一真面目に研究を続けてきたということのようだが、どうやってその優位性を保つか？
20. エネルギー資源を求めて国家間が争うことがなくなることを考えると素晴らしい。宇宙太陽光発電した電力をどこの国が管理するかを考えると難しそう。
21. 運営、管理、使用する上で意思決定をおこなう人、機関、責任を持つ人、機関といったシステムや法的な事柄はどんな人が考えているのか
22. 開発格差、宇宙太陽発電のメリット受容への格差の是正について

② 他の発電システムとの関係

1. 上手くいけば、地球の電力の何%を補うようになるのか
2. 発電効率は他の発電に比べてどれくらい

3. これから技術力が発展していくとどこまで発電が可能か
4. この技術の実現に何らかの問題があったときに、これに変わって大量の電力を作れるシステムはあるのか
5. 宇宙太陽発電ができた場合、他の発電は全く必要ないのか
6. 実現したら、化石燃料の使用量がどれくらい減るのか？
7. 街の壁や屋根、屋上など太陽が当たる場所に、国から補助を出して出来るだけ太陽光パネルを設置すれば、そこまで宇宙太陽光発電に頼りすぎなくてもやっていけるのではないかと思います。
8. 実現して生活に必要なだけ発電可能になったとき、「原発ゼロ」になるでしょうか？また、宇宙太陽光発電の実現により割合が特に減少すると思われる発電方法はありますか？
9. 我々は火力発電から抜けられるのか？
10. 核融合も同じだが、集中的エネルギー創出方法は、マイクロ発電(スモール太陽光、スモール風力、スモール水力)に駆逐されるのでは？
11. その他発電による電気との使用コストの差はどのくらいか？"
12. 原子力発電との総コストの比較は？(30年スパン?)他の自然エネルギー発電とのROI比較は？
13. 太陽光発電が出来たとしても、世界の電気の多くを補うことが出来るのか。原子力の実力を上回る発電ができるのか？
14. 人には個性があるのと同じように、この発電に関して反対の人もいると思いますが、現在ほぼ独占状態にある電力市場において、宇宙太陽発電が受け入れられる前の電力の自由選択は受け入れられていくのでしょうか？"
15. CO2を減らす技術を開発したほうが、開発コストが低くてすむのでは？
16. 他の発電機と比べて、取り組む価値が有るのか？
17. 例えば第四世代原子力発電所(わけでも高温ガス炉)の中には原理的にメルトダウンをしないものも存在する。とりわけ高速ガス炉の排熱をつかって熱分解により水素生成をすればクリーンエネルギーを得られる。こういった技術とどのように対抗していくゆくおつもりなのか。ご意見を伺いたい。

③ 一般的な問題やリスクへの質問

1. どんな問題点があるかもう少し聞きたかったです。
2. リスク・メリットをわかりやすく説明してほしい。
3. どんなリスクがあるのか
4. 原子力でもそうだったが、リスク面を過小評価しないで欲しい。かつそのリスクをオープンにすべき。

④ 悪用・兵器

1. マイクロ波を悪用するのではないかと？
2. 今、核兵器など戦争に関する問題があるが、宇宙太陽光発電によるエネルギーがそのような面で悪用されないのか"・リスク>メリットになるように思えた。

3. システムをどこまで導入していくのか。それによっては兵器になってもおかしくないと思うため。
4. テロや戦争に巻き込まれた際の、供給の全面停止はいかに阻止するか
5. ジャミングなどに悪用される可能性はないですか

⑤ 人体・自然への影響・安全性

1. 海上アンテナで立ち入り禁止区域を作るとありましたが、漁業への影響はないのでしょうか？
2. マイクロ波使用の場合の危険性
3. 送電しているマイクロウェーブ帯を鳥、航空機が横切ったらどうなるのか？
4. ゴミが出た時にどうやってゴミを処理するのか(宇宙ゴミにならないのか)？
5. マイクロ波が生物や環境に悪影響を与えることはないのか
6. マイクロ波が与える物への具体的な影響の内容
7. 安全性を懸念して大きなデモは起きるのでしょうか？
8. マイクロ波によって心臓病の人への被害が多いのではないかと。バスや電車の中では携帯電話は切るように言われているから。
9. 送電のために薄まったマイクロ波はどのくらい浴び続けると、人体に被害が出ますか？もしマイクロ波がずれた時の最悪の事態も知っておきたい。
10. エネルギー出力を上げたらリスクあるのでは？
11. 受電基地が海上にある図があったが、地震・津波の影響はどうか？
12. 世界的に進めば、宇宙への廃棄物はもとより、地球への日射の影響はどのようなものか？
13. 発電が実現した場合、電気は実質無限に使用できるようになるが、無限になることで、工業化が更に活発になり、二酸化炭素が出なくても有機物質が出てしまい、環境が悪くならないか
14. 高出力のマイクロ波が送られてくると思うのですが、それが万が一人体や電子機械などに及ぼす影響はどうか
15. 地球上の生物や環境に影響があることは考えられるのか
16. a) 宇宙ゴミの問題。10,000tもの超大型設備を軌道上に配備するからには、この問題は避けて通れない。

⑥ 食糧問題

1. 人口を高いレベルのまま維持できるというのが、人口が増えたままだと他の問題(食糧など)も起きるのではないのでしょうか？
2. World-3 についてです。人口が高いレベルで維持された場合、食料生産を今より増産できなければ豊かな未来社会は実現しないのではと思いました。なので、無限に電力を得ると食料生産を増やすことは出来るのでしょうか？
3. また、無限に電力を得たとしえて、どのような関係性で食料生産を増やせるのか、という点も気になりました。"

⑦ エネルギー問題

1. 太陽エネルギーはやはり電力に変換するのがもっともよいのか？
2. 太陽エネルギーを用いた電力以外の二次エネルギーの可能性はないか？

3. 「エネルギーがふんだんに得られる」とありますが、エネルギーをいくらでも使えると思い、ますます人々がエネルギーを消費するようになり、地球環境が悪化することはないのでしょうか？
4. CO₂ の発生量の規模と、その環境に与える影響の割合が先ずもって良く分からない。
5. エネルギー問題や CO₂ 問題にかなり貢献できる。
6. エネルギーのつかいほうだいの社会になるんですか？

⑧ 生活への影響・電気代

1. 実現によって社会へのどのくらいの恩恵がもたらされるのか、具体的に示してほしい。電気代がやすくなるのか？
2. 電気代は実現したらどうなりますか？
3. 率直な質問ですが、電気代はお安くなるのでしょうか？
4. 電気代はいくらぐらいになるか？
5. 一般家庭でも使用できる日はいつごろでしょうか？
6. 自分たちの生活の変化
7. 実現したら僕たちの生活の電気代はいくらぐらいになるんですか
8. 地球すべての電力をまかなえるようになるのか

⑨ 未来社会と人類

1. 宇宙の太陽光発電所が実現したとしても、これから人口が増え続けるのなら、ウィルスが増え続けるから、地球環境は修復されないのでは?!
2. 発電が実現するころには、家電の電力消費量とかはグッと低くなっているだろうから、未来を予測するのは難しいね
3. 何か良い未来社会を期待。
4. エネルギーを贅沢に使うのは人間にとって幸せなのか？"
5. 宇宙太陽光が実現すれば人口が増加するか？人間は地球にとってウィルスなのに人口を増やしても問題に影響はないのか？
6. 宇宙から直接個々の車にエネルギーが供給されて、ガソリンスタンドを入れたりせずに走れるような時代が来るのか？
7. 地球以外の他の惑星に移住が成功したら、人口爆発改善の他にどんな影響があるのか？
8. 資源による争いは本当に終わるのか
9. 人類は月に行ったら豊かになるのか
10. world-3 のグラフで宇宙太陽発電が出来たら人口がすごく増えるけど、生産がおいつかなくなると、人口は維持できなくなると思います。エネルギーで作物が育つわけではないので、結局のところ人口は衰退するのではないのでしょうか？
11. 電気自動車が増えると思いますが、ガソリンで走る車が使われなくなるとも思いました。そうなるごみ問題が深刻になってしまいそうですが、その問題はどのように対処すると思いますか？
12. 地球にとってウィルスである人類が、他の星に移住することはよいことなのでしょうか？
13. 最後、プロジェクターで少し流れてましたが、月面移住に関して、その現実性とかかる年月は？

14. 少なくとも火力発電(化石燃料)に頼らない→公害の少ない社会の実現。電気自動車の時代になる。停電のない社会生活の実現。

佐々木先生について(分析には用いていない)

- 佐々木先生は研究分野をこれまで変えてこられていますが、研究分野を変えるのは大変ではないのですか？
- 人口オーロラ生成は成功したのか？詳しくいうと、どの様に生成するのか？

感想・不明(分析には用いていない)

- どのようにして選別しているのか？
- 現状や問題点が分かりやすく説明されていてよかった。重力の影響を受ける物質をつくり、それで作動したロケット、発電所をつくれれば課題を解決できると思った
- 宇宙輸送のむつかしさを良く表現出来ました。
- 宇宙輸送費の 1/100 の削減には、これまでのコンセプトとは異なる新しいコンセプト、技術革新が必要であろう。R&D が必要。そのための予算が必要。しかし、目指して欲しい。
- マイクロ波ロケットの研究の現状や、今後の見込みについて、もう少し詳しく聞きたかったです。
- すごくなりそーです☆
- 宇宙太陽発電が実現するくらい輸送能力が発達すれば、宇宙開発がもっとすすんで、夢のある未来が開けると思いました。研究の進展を期待したいです。
- 確かに夢の未来生活ですが、研究者、研究機関のご努力に期待します。

専門家(学会シンポジウム)

I:実現可能性

① 時期

1. いつ頃に SSPS は実現しますか？
2. いつまでに作れますか？
3. いつ頃実現するのか
4. いつごろ実現するのでしょうか
5. いつ頃できるのですか、永久に出来ないのではないですか
6. いつごろ完成する予定ですか
7. 私が何才のころできるのですか？
8. 化石エネルギーが枯渇する前に実現できるのか
9. いつできるのですか。
10. 何で、今できていないのですか。
11. 何年ごろに実現されるのですか？
12. いつ実現するのか、実現前の実験はどういう段階でおこなうのか
13. いつごろ実現できるの？

14. いつごろまでに実現できるのか
15. 建設期間はどれくらいか？
16. 何年後に実現できる見込みがあるのですか？
17. 実現するための課題
18. マイルストーンとして計画はどうなっているか？
19. 技術的にできるのか

② コスト

1. まず第一は安全性に関してが注です。コストに対する対応に関して。f: 5.8G でよいか！
2. どれくらいお金がかかりそうですか？
3. お金が無限にあるとできるものなんですか
4. 実現にはいくらくらいかかるのか？
5. 投資コストとリターンは見合うの？
6. 経済は成り立つのか
7. 何円くらいかかるのか
8. 経済的な考えについては考えているのか？
9. 持続可能な社会の一翼をエネルギー問題で解決することがメリットでしょうか？コストと時間がデメリットになるのでしょうか？
10. 開発コストは何年で黒字になるの？
11. 建設費はどれくらいか

③ 安全対策・事故対応

1. デブリがぶつからないか
2. デブリへの対策は考えているのか？
3. 原子力の事故のように避難することはないですか？
4. 避難訓練をするのですか？
5. 装置故障は災害時のバックアップ体制の確立
6. 落ちてこないか
7. 地上の通信ができなくなってしまうことはないですか？
8. 無尽蔵なエネルギー源(太陽エネルギー)が役に立つ(半永久的に近い)その反面メンテナンスが大変そう。

④ 耐用・処分

寿命後にデブリにならないか

Ⅱ: 技術について

① 太陽光パネル

1. どうやって大きなシステムを組み立てますか？
2. 宇宙にどうやって大きな構造物を作るのか

3. 高度は？

② 輸送

1. どのように宇宙へ巨大設備を運ぶか？
2. 発電所を作るために材料をどのように運ぶか
3. 打ち上げロケットはあるのか
4. 何基ぐらいうちあげれる？

③ 送電・発電能力・効率

1. 遠い宇宙から正確に地球上の特定のポイントに送信できるのか？違う地域に間違っ送られないのか。
2. 地上に焦点を合わせて電力を送れるか？
3. 小電力実験はどのくらい進んでいるか？
4. 宇宙から送電線をどうやってひくのですか？
5. 宇宙から電力を電波で送る際、地球との角度の制御はどのレベルまで可能なのか
6. マイクロ波に太陽エネルギーをどうやって変えるのか？
7. 1基打ち上げるたびにどれほど電力が供給できる
8. 夜間に発電した電力はどうするのか
9. 発電から受電までの変換効率は？

④ その他技術

1. どんな技術が利用されていますか？
2. 地上応用の可能性は
3. 最も難しい課題は何ですか？
4. 難しい技術なの？
5. SPS 以外には何か技術を利用できないのか

⑤ その他のシステムとの関係

なし

⑥ 建設場所や規模(地上)

1. 工事期間の見通し
2. 建設にかかるエネルギーは、全発電量の何割くらいになるか？

Ⅲ: 研究者や研究内容について

① 研究者について

1. 研究者の中に「ヨソモノ」「バカモノ」「ワカモノ」のダイバーシティの____があるのでしょうか？
2. いろいろな国の人と一緒に研究しているのですか？
3. 本当に信頼できる研究者が研究してますか？STAP のようにならないですか？

4. 何人くらいの研究者がこの研究をしていますか
5. 会えますか
6. 女性はいますか
7. 何人くらいの方が研究しているのか

② 研究機関・グループについて

1. 大学関係のグループ間について
2. 大学関係と民間会社との合同研究の件
3. 国内ではどういう大学、研究所、会社が研究しているか？
4. 海外ではどこで研究しているか？
5. どこで研究されているのか
6. 関係者は全体で何人くらいいるのか？
7. どんな大学の人・専門の人が参加していますか？
8. なぜあなたはこのテーマの研究してるの？
9. どんな学会（専門分野）が関係しているのか
10. 若手会は作らないのか
11. どういった学校や企業で研究されているのか？
12. 科学者の内訳を知りたい。社会科学、宇宙科学…etc. どこまでの方がかかわるのか
13. もっと研究者は必要？
14. どんな研究があるのですか？

③ 他分野・他業種との関係

1. どのような専門分野の人でも関われますか？
2. 航空宇宙や電気の専攻をしている人以外では、どのような人が関わっているのか
3. 宇宙で作るなら宇宙飛行士さんが関わっているのですか？
4. 企業がどのくらい本気で関わっているのか
5. NASA でもやっているのか？
6. 大学、JAXA、重工系企業
7. JAXA、大学の研究者

④ 広報

1. 実現のビジョンにはかなり大きな時間がかかるため、次世代にどう伝えていくかが課題ではないでしょうか？

⑤ 一般との対話の場

1. 自分が参加するにはどうしたらいいですか？
2. SPS の研究者になるには何を勉強したらいいのか
3. 私も研究したのですがどうすればいいですか？
4. SPS 学会ってだれでも参加できるの？

IV: 社会とのかかわり

① 権利・管理・国際関係・配分

1. 諸外国との摩擦は、経済格差は
2. 誰の利益になるのか
3. 得た電力は何用に使われるのか→お金を払って使わせてもらえるのか
4. 出てきた電気は誰でも使えるのですか？
5. 誰でも宇宙太陽発電を作れるのですか？

② 他の発電システムとの関係

1. 宇宙太陽光を実現するコスト、時間で、地上の太陽光発電を充実したほうがよいのではない
か？
2. SPS だけで電力は十分？
3. 原子力発電の代替エネルギーになるの？

③ 一般的な問題やリスクへの質問

1. なぜ必要か
2. リスクは何があるのか
3. SSPS ができたらどんな良いことがあるのか
4. SPS が実現したらどんなことができるようになるの？

④ 悪用・兵器

1. ハッカーなどによるのっりの危険
2. 軍事転用できるのか
3. テロの問題は大丈夫なのか？
4. テロリストとかに SSPS はのっつられたりしないんですか？
5. 兵器にも使われてしまうのですか？

⑤ 人体・自然への影響・安全性

1. 人への影響は？
2. 影響がありそうな分野は？
3. 機械への影響？
4. マイクロ波は生物に影響はありませんか？
5. 地球のエネルギー容量の範囲を越えるのでは(過及量)容量過多の危険はないか
6. 空中の飛遊物に害が起きないか
7. マイクロ波って危なくないの？
8. マイクロ波の影響は？
9. 電磁波の人体への影響
10. 人体に影響は？

11. とんでいる鳥がやきとりにならないのか？
12. 宇宙環境に影響はないか？

⑥ 食糧問題

食糧問題は解決するか？

⑦ エネルギー問題

1. 打ち上げや資材建設のときに CO₂ が出ると思うのですが、大丈夫ですか？
2. 地球の温暖化の若干の軽減に役に立つのではと思う。宇宙に早く出ることによる新しい世界を生み出せる。
3. クリーンエネルギーの普及になるのか？
4. エネルギーとどちらがクリティカルか？
5. どこにいてもエネルギー補給できるような社会になる？
6. 長期的に見て地球温暖化をすすめてしまうことになりませんか？
7. 地球温暖化防止
8. 温暖化の問題クリア？
9. 本当に CO₂ が減るのですか
10. 地球温暖化が加速することはない？

⑧ 生活への影響・電気代

1. 電気代はただになるのか
2. どれくらいの電力がまかなえますか？
3. 充電しないでケイタイを使えるようになるんですか？
4. 山の上や海の上で電気を使えるようになるんですか？
5. 電気代は安くなるの？

⑨ 未来社会と人類

1. 常電力を利用した社会(労働時間が少ない社会、衣食住に余裕のある社会)
2. 貧困の解決に寄与する？
3. 日本は豊かになりますか
4. 未来は明るいですか？デメリットはないのですか？
5. 実現したら、今の発電所はどうなりますか？
6. 人は幸せになるか
7. 宇宙太陽発電が実現しなかった場合には、将来の社会はそうになってしまうのですか？

感想・不明(分析には用いていない)

- 個々の技術が実現できる部分から実用化されてほしい。
- 実際の研究設備が見学できないか？

4) 金曜講座会場での質疑応答

質問、回答ともに筆者による記述であり、実際の発話とは異なる。また、技術・研究者・社会の分類は筆者によっておこなわれており、発言者の意図にしたがったものではない。順不同。

技術についての質問

1. Q. 宇宙パネルに「三浦折り」は利用しているのか？
A. 三浦折りはもともと薄いものに用いるもので、紙のような cm のオーダーでしか使えない。宇宙太陽光発電では利用できない。
2. Q. 大型構造物について、小さくすればよいのでは？
A. 大きくするといっても、実際にはそれぞれのユニットは 50cm×50cm と小さい。集光ミラーのように 2km×2km を小さくするアイデアもある。
3. Q. 温度によるパネルを開く仕組みは宇宙でも大丈夫なのか？
A. 今の技術は 80℃くらいでダメになるので、そのままは使えない。工夫が必要。
4. Q. 再利用型よいも使い捨て型を改良していった方がよいのでは？
A. 45t ぐらいの今の使い捨て型の改良では難しい。
5. Q. 他の恒星(のエネルギー)でも使うことが出来るか？
A. 難しい。他の恒星のエネルギーは小さいので、宇宙船などの航行手段の利用も難しい。
6. Q. 宇宙太陽発電で得たエネルギーの何割が地上で使える？
A. 40%~50%なので、太陽エネルギーの 20%になる。

研究者についての質問

- 1) Q. 学会としてはお金を得る以外に何をしてほしい？
A. 特に学生には意見を言ってほしい。

社会についての質問

- 1) Q. マイクロ波による悪影響について。なぜ安全なのか？
A. 焼き鳥問題などは WHO の安全基準よりも(マイクロ波による影響値が)低い。ビームは装置を作ってから安全かどうか示したい。
- 2) Q. 民間の参入は？
A. 民間ではなかなか(コスト的に)賄えない。ある程度のところまでは国が行わなければならない。民間が利益のために投資するというのは難しい。
- 3) Q. 電子レンジのようにマイクロ波は周辺の人々に影響してしまうのでは？福島原発事故のように「想定外」が起きるのでは？
A. 「想定外」というのは幅があるので答えるのが難しいが、小さいモデルを使えば、非常にクリアに(影響を)計算することが出来る。宇宙太陽発電の原理は非常にシンプルなので、原発のように複雑すぎて予測が出来ないということはない。
- 4) Q. (マイクロ波による放熱が)地球温暖化に影響するのでは？
A. 太陽からの入射エネルギーと比べるとほんの僅かである。

- 5) Q. 隕石はぶつからないの？
A. 当たることは防げない。ただ、宇宙太陽発電は多くの小さいパネルの集まりなので、壊れたパネルだけ交換すれば問題ない。
- 6) Q. どの国がどの様にエネルギーを分配するの？
A. 宇宙のリソースには使い方に国際条約で決めた制限がある。一国が独占することは出来ない。人類共通のもの。
- 7) Q. 実現した時、電力会社との合意は？
A. 将来は送電側と受信配電側が分離していることを想定している(電力自由化が普及している)。また学会の活動は、東電などから興味を示されている。
- 8) Q. (宇宙太陽発電が実現したとして)衰退していくエネルギーや共に使われるエネルギーは？
A. ベストミックスが必要。他のエネルギーと共に利用しなければならない。
- 9) Q. ブラックホールに吸い込まれることはあるのか？
A. 地球の地殻にはブラックホールはありません。

インタープリター養成プログラムを受講して

「サイエンスライティングとかコミュニケーションとかが合ってるんじゃないかな？」私が東京大学の科学技術インタープリター養成プログラムを知り、受講するキッカケとなったのは、学部時代の研究室の先生のちょっとした一言でした。私は2ヶ月のオーストラリアでの環境ボランティアをしながらのバックパッカー旅行から帰ってきたばかりであり、その体験を熱心に先生に語りながら、将来研究者としてやっていけるのかどうかよく分からなくなってきたと相談していたときのことです。環境ボランティアの活動は幅広く、しかも一日続くので大変でしたが、代わりに格安で滞在先が得られるのと、現地・海外旅行者を織り交ぜた様々な人と共に寝起きして活動できたことは貴重な経験になりました。そのとき、自然保護だけでなく人々と自然の交流の枠組みとして、ボランティア活動とそれを管理、実行する組織が非常に整えられ、活発に行われていることに驚いたものです。また、各国の人々とアカデミックな組織ではない環境保全、科学技術リテラシー向上の様々な試みについて議論をしました。オーストラリアの太陽に焦がされたアタマは、帰国後の先生との相談でも煙を出し続けており、せっかくの先生の一言も、このときはそのまま煙と共に消えてしまいました。

翌年大学院受験を考えだしたとき、ふとその言葉を思い出し相談してみると、待っていたかのように総合文化研究科広域科学専攻に所属していた先生を紹介して下さいました。この先生の教え子の方が東大のインタープリター養成プログラムの修了生で、インタープリターで楽しい時間を過ごしたらしいというお話。紹介していただきお話をうかがったときに、二人でこっそりと事務室を見学に行ったのが、インタープリター養成プログラムの部屋に入った初めての経験になりました。じゃあ実際にそこにいる人にお話を聞いてみるかと相談させて頂いたのが、特任講師の定松先生との出会いでした。定松先生とのお話から、これは面白そうだと思い東京大学大学院に行こうと考えましたので、インタープリター養成プログラムが私を東京大学に呼んでくれたといえます。もちろんプログラム内で様々なことを学ばせていただいたことで、現在の私に大きな影響を与えてくれましたが、インタープリター養成プログラムから得た最大のもの、実はインタープリター養成プログラムを受講する前にいただいていたと言えるかもしれません。

「給料というのは会社が与えてくれるものだ。それ以上のものは自分で勝手に持っていくしかないし、そういう人間になってほしい」、こう教えてくれたのは昔アルバイトをしていたカフェの店長でした。今でも心がけている大事な言葉です。インタープリター養成プログラムも、自分で手を伸ばしたことで多くのことを学ぶ機会を与えてくれました。インタープリターのキャリアロールモデルが定まっていないことで、そのあり方を含めた議論を提供してくれました。先生方もサイエンスコミュニケーションについては、教えるではなく共に考えていくという態度を取ってくれたおかげで、本プログラムに関わるイベントの一回一回がとても楽しいものになりました。理科の時間に質問をし過ぎて先生に怒られ、理科の授業に出なくなるという理科離れを実践してきた私でも、科学について話し、考えることを心から楽しむことができました。本プログラムに参加できて本当によかったと思います。

最後になりましたが、サイエンスカフェ実施という当初の研究テーマからの大転換をしながらも親身になって指導をして下さいました岡本先生には大変感謝しております。また、直接の担当ではないにも関わらず、調査から論文執筆、大学院生活まで相談に乗って下さいました特任講師の定松先生と江間先生にも厚くお礼申し上げます。本当にありがとうございました。