

拡がる数学

兵庫/神戸サイエンスカフェでの幾つかの数学の話題提供について

神戸大学大学院システム情報学研究科, 名誉教授
 渕野 昌

実は、迂闊にも、アウトリーチという日本語の単語があることは、この記事の依頼を受けるまで、あまり意識していませんでした。これは英語の outreach から来ているのだと思いますが、日本語カタカナ単語は、元の単語と同じ意味だと思っていると、痛い目に遭うことが多いので、注意が必要です。

以下では、この「アウトリーチ」は、「啓蒙」という単語の、上から目線的なニュアンスを避けるための、カタカナ表現による euphemism のようなものと理解して使っています。でも、「啓蒙」が、個の到達した悟りを他の人々と分かち合う、というイメージなのに対して、outreach のもとの意味は、institutional な benefit を周辺の人々にももたらす、というようなものだと思うので、上から目線の度合いは余計に高いようにも感じます。また、そのような、この単語の所以のせいか、アウトリーチのレポートと称する文章には、会計報告を読まされているような印象を受けるものが少なくないように思えます。そのような文章には、これは日本語表現文化への冒瀆なのではないのか、という強い怒りを覚えます。

しかし、この“アウトリーチ活動”のレポートを、それをサポートしている組織を代表して作文しなくてはいけなくなると、日本での感覚では、責任上、“個人的な意見”は書けなくなってしまう、無難な作文に終始してしまわざるを得なくなってしまうところもあるのかもしれませんが。幸にも、以下で報告することになる、筆者の神戸でのサイエンスカフェでの活動は、基本的には、筆者個人のイニシャティヴによるものなので、以下の作文では、そのような気兼ねなしに、自由に書かせていただいています¹。そのことで気分を害される方もいらっしゃるかもしれませんが、数学的な directness は、停滞を打破するきっかけになる可能性もあると思うので、そのようなものとして大目に見ていただければ幸いです。

¹この「自由」も、カタカナ日本語ではないものの、日本での解釈はもとの言語でとは異なるものになりうることに、後になって気付きました: そこで誤解をさけるために付け加えておくと、ここで言及している「自由」は、仏教用語としての「自由」ではなく、むしろ、キリスト教の用語の日本語訳としてのそれです。

また、後述のいくつかの講演の記録は、一講演者（話題提供者）の立場から書かせて頂いているので、筆者自身の講演体験記に近いものになってしまっているところもあるかもしれません。その点もご了承ください。

神戸で開催されているサイエンスカフェのいくつかのシリーズ（これらの開催記録については [9], [10], [11] を参照してください）では、筆者の関わった講演以外でも、数学に関連する話題と思われるタイトルの講演が幾つかあります。しかし、手元に資料がなかったため、以下では、これらの講演には全く触れることができませんでした。

数学のアウトリーチということでは、サイエンスカフェでのような一般の聴衆への講演は、数学の popularization ということに関して、色々なレベルでアプローチする試み、とでも総括できると思うのですが、以下で報告することになる、筆者自身の関わったサイエンスカフェの幾つつかの企画は、それらのテーマや、想定した聴衆の設定／実際に参加していただいた聴衆の方たち、などの多様性から、この「色々なレベルで」という点に関しては、理想に近い多様性が得られているのではないかと思っています。

私が最初に講演者（話題提供者）を務めた、神戸でのサイエンスカフェは、2010年5月に「ゲーデルの不完全性定理と無限の研究としての集合論」という題で開催された、第68回サイエンスカフェ神戸で、このときは、神戸に移籍して間もなくの頃でもあったので、私の研究の意義について、神戸やその近傍の広い聴衆に話してみたい、という欲求があり、少し欲張ったものに、つまり一般向けの講演としては、レベルが若干高すぎるものになってしまっていたかもしれません。このときの講演の slides [1] のうちの幾つかのページは、数年前行なった、私の神戸大学での最終講義 [8] での slides でも流用しています（実際、講演のビデオでは、よく見ると、一箇所、[1] の講演のときの書き間違いをそのまま再利用してしまっているところがあるのが分ります。これは後にネット上で指摘してくれた人がいたので、私の webpage に upload した slides の方では、訂正したもので差し替えているのですが ...）。この二つの講演の slides を比べると、私の神戸大学在職中の一般講演のスキルの上達（のなさ？）の評価ができてしまうかもしれません。

上で触れた「話題提供」という用語にも現れているように、サイエンスカフェのアイデアは、講演会というより、聴衆参加で「こういう話題について皆で考えてみましょう」というようなスタンスのものなのではないかと思うのですが、これを、時間の設定された講演会のような枠組でやるのは、なかなか難しいのではないかと、とも思われます。少なくとも皆で考えてみる、というのを理想とするなら、会場での時間設定も open-end とまではいかないにしても、前後の時間に十分に余裕のある会合にする必要があるのではないかと、という気がします。日本人の時間感覚はかなり rigid なので、余計そういう印

象を持ってしまうのかもしれませんが、rigid な時間管理というのはいずれにしても数学的な創造性とは相容れないもののように思えるので ...

あるいは、二次会の時間設定が open-end になっている、というのが日本の文化なのかもしれませんが、これをそのまま継承すると、二次会にならないと話ができない、という負の文化から抜け出ることができないのではないか、という危惧も感じます。

この 2010 年のサイエンスカフェでの講演とはかなり趣旨の異なる、“音楽と数学”という題材で、「難しい音楽と分らない数学」という題の下にサイエンスカフェの催しの企画をさせてもらったのは、2011 年 7 月 10 日のことで、この回は、「サイエンス・カフェ ひょうご」の枠で、作曲家の小櫻秀樹さんと共同で (主に彼の作品の録音の再生を交えた) ジャズ喫茶「Café 萬屋宗兵衛」でのレクチャーコンサートでした ([2])。小櫻さんとは、筆者が中部大学に在籍していた頃に、中部大学の「総合科目」という全学教育の時間枠で、レクチャーコンサートを何度も行なっており ([12], [13], [14], [15]), この神戸でのレクチャーコンサートは、私たちにとっては、その続きのようなものでもありました。

数学の裾野はコンピュータサイエンスにつながっていたり、物理学につながっていたり、統計学につながっていたり、哲学につながっていたり、するわけですが、美学としての裾野は、芸術の様々なジャンルとつながっていると考えていいでしょう。特に、西洋 (由来) のいわゆるクラシック音楽と、数学の間には、それが理解できるためには、基礎的な訓練が (ある程度) 必要になるため、享受できる人がごく限られたものになってしまう、という共通点があります。クラシック音楽の場合、serious な音楽作品をある程度以上理解できるためには、少なくともスコアから音が聞こえてくる程度に楽譜が読めなくてははいけないし、ちょうど、字の読める人が文盲の人の置かれた状況を想像しにくいと同じように、この種類の音楽をプロフェッショナルにやっている人たちには、スコアから音が聞こえてこない、ということがどういうことなのか分りにくい、というような、数学者たちとそうでない人たちの間の断絶と類似とも言えるような、断絶が起ってしまっていると思います。そのような類似性にもかかわらず、音楽の場合、内容に分け入った深い理解がなくても、(数学よりは容易に) 観賞することができる、という違いから、愛好家の層の厚さの点で、数学とは若干違いが出ている、とも言えそうですし、まさにこのことが、数学が non-profit な学術研究なのに対し、クラシック音楽はビジネスとして成立している、という違いが出てきていることの背景なのでしょう。ただし、この点に関しては、この回と一緒に講師 (話題提供者) をしていただいた小櫻秀樹さんのように、現代の音楽の前衛の語彙で作曲をしている場合には、数学の状況とそれほど違わない、とも言えるかもしれません。

一方、社会や人類の文化に対する影響という観点からは、そういうように広く認識されているかどうかは別として、数学の人類の文化への貢献は、ここで問題にしている種類の音楽のそれとは比較できないくらい大きなものである、ということもできるかもしれません。少なくとも歴史の長さの違いはあります：西洋音楽では、西洋の記譜法の歴史は多く見つもっても高々700年くらいでしょうが、書かれた数学の歴史は4000年近く遡れます（例えば、有名な Plimpton 332 は、1800BC 頃に書かれたとも言われています）。音楽家が時代を遡って会話をするのは、古楽の専門家でなければ、バッハか、せいぜいウィリアム・バードあたり止まりでしょうが、数学者が時代を遡って会話をする相手は（紀元前の）ユークリッドやピタゴラスでありえます。このような様々な観点から、「芸術」としての数学と音楽の類似性や違いの比較、社会での数学や音楽の受容／非受容の状況の比較は、色々面白い議論の可能性を含んでいるように思えます。その意味で、似たような講演、レクチャーコンサートは、機会があれば、また挑戦してみたいものだと思います。

この種類のクロスオーバーでは、参加してくる人たちもある程度気軽に発言しやすくなると思うのですが、このときも、コメントや質問は沢山出たと思います。ただ、記憶では、こちらが話題提供したチャレンジングな文化としての数学と音楽の類似性や違いということに関して、うまく噛み合うコメントや質問があまり出てこなかったのは、ちょっと残念でした。参加者された方たちが、大学の教養で習うものよりさらに高度な数学も、「新しい」種類の「難しい」音楽にも、ほとんど接したことのない人ばかりだったのかもしれないと、そうだとすると、これは初めから無理な要望だったのかもしれませんが。しかし、逆に、「こちらの期待する議論がされることになる」ような操作（たとえばサクラの質問者／発言者を沢山招待しておくなど）をすることは、むしろあまり良いことではないような気もするので、出たところ勝負にかけるしかなくて、思った方向に議論が進まなくとも、それはそれでよしとしなければいけないのではないかと、とも思います。

この後、筆者が何回か話題提供者となったのは、いずれも、Hyogo Science E-cafe という英語で開催されるサイエンスカフェのシリーズで、私自身は、2016年、2017年、2018年にこれに出演しており、そのうちの、2017年と2018年の回で、神戸大学数学科の Wayne Rossman 先生と共同で話題提供者になっています。また、講演の当時京都大学に客員教授として滞在されていた、現 Konstanz 大学哲学科教授の Leon Horsten 先生による、2018年6月の数学の哲学に関連した講演会では、この講演のアレンジメントのお手伝いをしました。これらの催しの記録は、[11]で見ることができます。

Hyogo Science E-cafe も、他の系列のサイエンスカフェも、今度のパンデミックの始

まる少し前、E-cafe については、2019 年 12 月の回を最後に、休止しているようですが、この Hyogo Science E-cafe は、当時は、現神戸大学人間発達環境学研究科名誉教授の蛸名邦禎先生が中心となって、兵庫県の高校で ALT（外国語指導助手）をしている、英語の native speakers の人たちの協力を得てアレンジしていたもので、私にとっては、この催しがきっかけで、この ALT をしている若い人たちとの交流が持てたのは楽しい思い出です。

私自身、若いときに、まだ今のように国際でなかった西ドイツ／ドイツで、まわりに他の外国人が一人もいない環境で、大学の助手や私講師を務めた経験があるので、同じように周りに他の外国人が一人もいない日本の高校の環境で、英語の補助教員をしている彼等には、昔の自分を見ているような気もして、ひどく親近感を覚えました。

最後に、これらの話題提供のうち、比較的最近で、記憶に残っている、Wayne Rossman 教授と開催した 2018 年 4 月の回についてのことを少し書いてみたいと思います。

2018 年 4 月 27 日の Hyogo Science E-cafe [5] は、ひとふで書き、unit distance graph の chromatic number, 四色問題といった、グラフ理論でよく知られた問題を切り口にして、数学とその応用について考えてみよう、という趣旨のものでした。Rossman 先生が、講演全体に、“a sojourn into graph theory” という粋なタイトルを考えたので、それに対抗して、私も、自分の講演のサブタイトルをちょっと気取って、“Crossing bridges” としてみました。Rossman 先生の講演には、“History of coloring maps with four colors” というサブタイトルがついていて、後に、この講演を聞きにきていただいていた、『数学セミナー』の編集者の飯野玲さんのアレンジで、講演の内容を整理したものが、『数学セミナー』に解説記事 [7] として発表されています。

このとき私が担当したのは、ひとふで書きと unit distance graph (Hadwiger–Nelson Problem) の話で、この講演の slides は、[6] にあります。持ち時間を考えると、ひとふで書きの話題だけに集中した方がよかったのかとも思うのですが、ちょうどこの講演の直前に、Aubrey Grey による Hadwiger–Nelson Problem の部分解の改良が話題になっていて、この結果がコンピュータを使った反例の作成だったということでは、Rossman 先生による、後半の四色問題に関する話にもつながるものがあったことに加えて、数学の問題が今でも解決されていて、時にはアマチュア数学者が解決に貢献することもある、というアクチュアルな例を示せる絶好のチャンスでもあったので、つい欲張ってしまっていたところがありました。ちなみに、Grey がコンピュータを用いて見つけた (有限グラフの) 例により、unit distance graph $U(\mathbb{R}^2)$ の各要素をグラフの点として、 $d(x, y) = 1$ と

なる2点 x, y が adjacent である, として得られる濃度 2^{N_0} の無限グラフ) の chromatic number $\chi(\mathcal{U})$ の評価が $4 \leq \chi(\mathcal{U}) \leq 7$ から, $5 \leq \chi(\mathcal{U}) \leq 7$ に改良された, というのが, このときの結果でした. 幸い, 2011年7月に大阪府立大学情報数理談話会で, 同じテーマで (もちろん Aubery Grey の改良の前の結果についての) 講演をしていたので ([3]), そのときのスライドの一部をここで再利用しています.

数学は過去で終わってしまったものではなく, 現在も研究されていて, 沢山ある重要な未解決の問題がドラマティックに解決されたりもしている, ということを一一般の聴衆に伝えるのはなかなか難しいことのように思えます. Hadwiger–Nelson Problem の場合, これは, 筆者の興味からもそれほど外れていない話題で (実際, 筆者は, この問題と関連を持つ論文 [4] を書いてもいます), しかも, この部分解についての一般の聴衆への説明が可能である, という稀有の例になっているとも言えるわけなのですが, しかし, この「一般の聴衆への説明が可能である」という選択条件で選ばれた例ばかりを説明をしてしまうのは, 逆に一般の聴衆に, 数学の未解決問題についての間違っただけの印象を植えつけてしまう, という弊害をもたらしてしまう可能性もあるような気がします. 一方, 簡単には説明できないような本格的な問題の解決について, サイエンスカフェのような枠で, 一生懸命話したときに, それを聞いた方が, 「なんだか分からないえらく難しい問題を解いたらしい」というような理解しかなかったとしたら, それはそれで別の問題かもしれない, 説明の労力の無駄にすぎないものになってしまうかもしれないので, どう対処すべきなのか悩むところだと思います.

このときの science café には, 数学科や私の研究グループの博士過程の学生さんの何人かも聞きにきてくれていたので, その人たちが, 少し高度な質問やコメントをしてくれました. 彼等は「サクラ」ではなかったのですが, これはこれでよかったのですが, 少し高度な質問をすると見せかけて, 一般の参加者のことも考慮した, それに答えると一般の参加者の人たちへの説明の補足ができることにもなるような質問をする, という風な高度な「サクラ」のテクニックを発揮してくれてもよかったのに, とちょっと思ったりもしました. 私自身は, 一般講演にあたって, その種類の質問をしてくれる方がいれば, うまくそういう質問を利用して, 補足説明につなげられるだけの心の準備をしているつもりなのですが ...

ALT の人たちが協力してくれていたのも, 彼等/彼女等の指導している兵庫県の高校の高校生の人たちも多数参加してくれていて, 質問もたくさんしてくれたのですが, この回もそうだし, 過去の science café や, 他の学生向けのイベントなどでも, 若い人の質問の多くは「よい子の質問のパタン」(つまり, こういう種類の質問が日本では優等生

的なさしさわりのない質問ということになっている、(と思われていると理解されている) というような付度満載の質問のパタン) を頑なに守っているように思えることが、ちょっと気になりました。まあ、英語の science café の場合には、英語と数学という二重のハンディーキャップがあるので、むしろそのせいなのかもしれませんが。

若い人たちの紋切型の質問もそうですが、年配の男性の参加者で、質問やコメントというより mansplaining をしようとする方など、どうも全体的に「想定された立場から、してよいと思われている (思っている) 質問やコメントをする」ことから抜け出せていない、と思える節もあり、聴衆のこういった質問やコメントの定型パタンを崩すには、何か特別なテクニックが必要なのもかもしれない、という気がします。英語は (使い慣れていない人にはむしろコミュニケーションの障害になるかもしれない、としても) このような、パタン化された反応を崩す仕掛の一つにはなりそうな気がします。また、私が話題提供者を務めたこれらの英語のサイエンスカフェでもそうだったのですが、英語で開催することで、英語の native speakers の方たちや、その他の日本語の non-native speakers の方たちが参加してくれる可能性があり (少なくとも、神戸は国際的な街なので、その可能性はゼロではありません)、そういう人たちが、日本人の参加者の質問とは違うパタンの質問をしてくれることが、日本語の話者の聴衆に良い刺激を与える、という効果も考えられるのではないかと思います (実際、神戸の英語の science café では、私の回に限らず、開催協力のボランティアで参加していた ALT の人達がとてもいい質問をすることが多かったのが、印象に残っています)。

2019年の暮以来のパンデミックの期間、セミナーや講演会などが、インターネット上で、またはハイブリッドの形式で展開されることを余儀なくされましたが、その結果、そのような催しの参加者たちのトポロジーも、全く一変してしまいました、と言えると思います。筆者自身、この期間、日本やヨーロッパやアメリカ大陸でのセミナーや学会などの多くに、居間から参加しましたし、その際の使用言語はほとんど英語で、たまに日本語だったりドイツ語だったりしましたが (と言ってもドイツ語を使ったのは、数学ではなく文学のセミナーだったのですが)、数学のアウトリーチ活動も、地理や国境や交通行政区分上での近傍系に必ずしも制限されないものになってきているのかもしれませんが。

今、パンデミックの終焉が見えてきたこともあり、近いうちに、できればまた Wayne さんとも一緒に、似たような催しに挑戦できれば、と思っています。このパンデミックの間に培った、video conference の技術も交えた、ハイブリッドな、science café など数学の広い意味での啓蒙の、新しい形態を模索できれば、と思っています。

参考文献

- [1] サイエンスカフェ神戸 第 68 回 (2010/05/15): “ゲーデルの不完全性定理と無限の研究としての集合論”, 話題提供者: 渕野 昌.
講演の slides: <https://fuchino.ddo.jp/misc/kobe10-05-15-pf.pdf>
講演のポスター: <https://fuchino.ddo.jp/misc/100515posterV3.pdf>
- [2] サイエンス・カフェひょうご, (2011/07/09): “難しい音楽と分らない数学”, 於 Café 萬屋宗兵衛 (元町), 話題提供者: 渕野 昌, 小櫻 秀樹. 講演の slides: <https://fuchino.ddo.jp/misc/mathematique-et-musique2011pf.pdf>
講演のポスター: <https://fuchino.ddo.jp/misc/poster-11-06-07.pdf>
- [3] 渕野昌: 平面単位距離グラフの彩色について, 大阪府立大学情報数理談話会での講演 (2011/07/20), <https://fuchino.ddo.jp/misc/hanfudai2011-07-20pf.pdf>
- [4] Sakaé Fuchino: Remarks on the coloring number of graphs, 京都大学数理解析研究所講究録 (RIMS Kôkyûroku), No.1754, (August, 2011), 6–16.
<https://fuchino.ddo.jp/papers/RIMS10-graph-square-x.pdf>
- [5] 23th Hyogo Science E-café with Sakaé Fuchino and Wayne Russman, “Universality and Applications of Mathematics: a sojourn into graph theory”, (2018/04/27), 於 兵庫国際交流会館. <http://www-2022.h.kobe-u.ac.jp/ja/node/5171>
- [6] 渕野昌: “Corossing bridges”, [5] での筆者の講演の slides:
<https://fuchino.ddo.jp/slides/science-e-cafe-2018-04-slides-pf.pdf>
- [7] ラスマン・ウェイン, 安本真人: 4 色定理の証明, 小さな誤りから大きな問題への道, 数学セミナー 57 (9), (2018) 43–47.
- [8] 渕野昌: 最終講義 (2020/10/29),
<https://www.youtube.com/watch?v=itBTKEK1t5Y>
講義の slides: <https://fuchino.ddo.jp/slides/kobe2020-10-29-pf.pdf>
- [9] サイエンスカフェ神戸の開催記録,
<http://www-2022.h.kobe-u.ac.jp/ja/scicafe>
- [10] サイエンスカフェひょうごの開催記録,
http://scicafe-2011.h.kobe-u.ac.jp/record/record_hyogo.html

- [11] Hyogo Science E-café の開催記録,
<http://www-2022.h.kobe-u.ac.jp/ja/node/3834>
- [12] Trio Fibonacci, 小櫻秀樹, 司会 瀧野昌: Trio Fibonacci 演奏会, 中部大学 総合科目の一コマとして開催されたレクチャーコンサート (2003年6月25日).
- [13] 小櫻秀樹, 平田文 (vn.), 司会 瀧野昌: 現代音楽の魅力, 中部大学 総合科目の一コマとして開催されたレクチャーコンサート (2004年6月23日)
総合科目のパンフレットでのコンサートの resumé:
<https://fuchino.ddo.jp/chubu/kozakura.pdf>
- [14] 小櫻秀樹, 丹下さと子 (fl.), 司会 瀧野昌: 現代音楽に聴く, 中部大学 総合科目の一コマとして開催されたレクチャーコンサート (2005年6月22日)
総合科目のパンフレットでのコンサートの resumé:
<https://fuchino.ddo.jp/chubu/kozakura05-handout.pdf>
- [15] 小櫻秀樹, Jérôme Laran (sax.), 司会 瀧野昌: 歓迎されない音楽? — 音楽の主張, 中部大学 総合科目の一コマとして開催されたレクチャーコンサート (2005年6月22日)
総合科目のパンフレットでのコンサートの resumé:
<https://fuchino.ddo.jp/chubu/ChubuXUni.pdf>