

## 五十嵐 歩美 Igarashi Ayumi

東京大学 大学院情報理工学系研究科 数理情報学専攻 准教授  
2020年よりさきがけ研究代表者

世の中を見渡せば、「もの」「こと」に対して、公平な分配が求められる場面は多い。だが、誰もが納得感を得られるような公平な配分の実現は困難だ。この難題に対して、数学の力をもって取り組んでいるのが、東京大学大学院情報理工学系研究科の五十嵐歩美准教授である。数学的アプローチで「公平」という曖昧な概念をモデル化し、理想に近い分配方法を見つけ出すことで、全ての人たちが幸福感を得られる真に公平な社会の実現を目指す。

特集

OVERVIEW

# 全ての人々が幸福感を得られる公平な社会 理想の分配を数学的アプローチで追求

## 曖昧な概念を「分割理論」で定義 きっかけは英国留学での交流

私たちの日常において、公平な配分が求められる場面は多い。学生への講義配分、会社でのタスク配分、家庭での家事分担など、枚挙に暇はないだろう。しかし、「何をもって公平

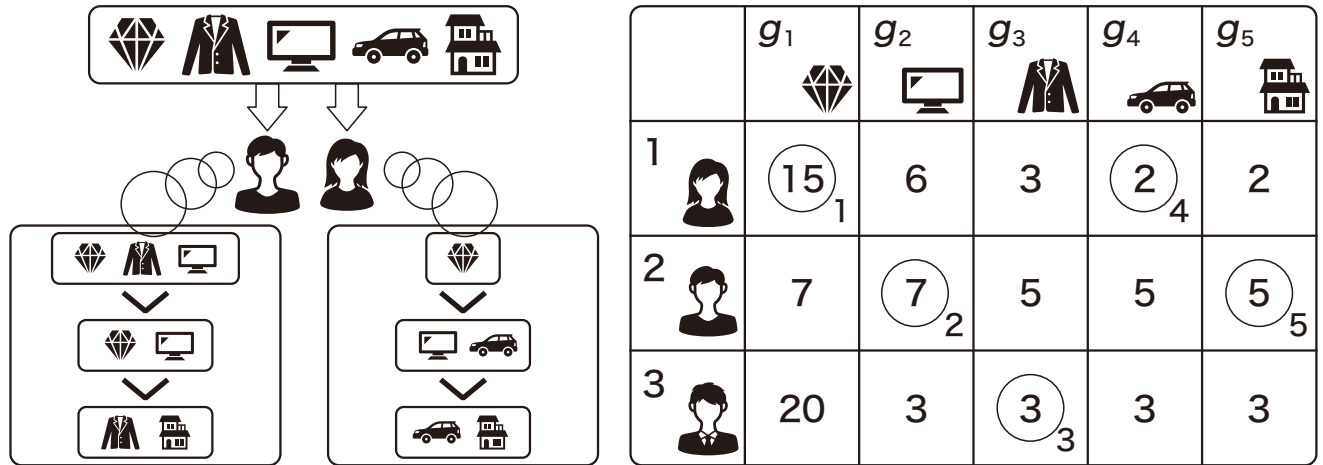
とするか」は人によって考えが異なる。妬みや不満を生じさせない、万人が満足するような配分方法を見つけ出すことは至難の業だ。

この問題を取り扱う研究が、「公平分割理論(Fair Division)」である。公平分割理論とは、さまざまな「もの」や「こと」の公平な分け方を考える理

論で、曖昧に使われがちな公平性という概念を数学的に定義し、公平性を保ちながら全ての人々を幸福にするアルゴリズムの設計を目標としている(図1)。

この研究に取り組んでいるのが、東京大学大学院情報理工学系研究科の五十嵐歩美准教授だ。「中学生の頃

図1 公平分割理論



同理論の「Round-Robinアルゴリズム」の例。個人によりアイテムの価値が異なるため、画一的な基準では不公平感(妬み)が生じる可能性がある(左)。そこで、各個人がアイテムに対し重み付けを行い、それに基づく「妬みのない配分」によって、公平性を担保する(右)。

から数学が好きでした。問題を明確に解いていくプロセスに惹かれたのです。一方で、社会や歴史にも関心があり、数学を使って何か社会に役立つことができないか、漠然と考えていました」と振り返る。

その後、五十嵐さんは筑波大学に進学。そこで出会ったゲーム理論や最適化理論に魅了されたという。ゲーム理論の研究に携わる中で、公平分割理論へと研究の軸足を置くきっかけになったのが、博士課程での英国留学だった。「留学中にチェコ、フランスの公平分割理論の研究者と共同研究をする機会がありました。同理論について基礎的な背景知識がなかったので、手探りで色々な文献を調べていたのですが、数学的に奥深くて美しく、興味深い理論が背後にあることに気づいたのです」と語る。

留学時は3人でルームシェアをしていたという五十嵐さん。借りた住宅には日当たりの良い部屋もあれば、狭い部屋もあった。各人が納得のいく部屋の割

り当てや家賃の配分にも公平分割理論が役立つなど、日常で応用できる場面が多々あり、その面白さを再認識したという。

### 各人の「うれしさ」を同等に役割を選んで妬みなく達成

「公平」という曖昧な概念を数学的に定義し、明確化する公平分割理論。五十嵐さんは「公平分割理論では、資源をどうやって配分するのか数学的にモデル化し、さらにゴールとしてどのような配分を目指していくのか

を数式化し、その過程においてさまざまなアプローチを適用していきます」と説明する。

最も単純な例として、複数人で複数のアイテムを公平に配分する場合を挙げよう。それぞれのアイテムに対して、各人がもらった時の「うれしさ」を示す数値を与える。さらに、それらのアイテムを組み合わせてもらったときのうれしさを、各アイテムに付与された数値を加算して導き出し、各人の受け取るアイテムの値の総和が近い数値となるよう妥協点を見つけ出していく。

図2 ケーキの分割問題

2人エージェントの妬みのないケーキ配分を計算

Q. 2人で公平に分けるには？

A. Cut and Choose Protocolを使う

1. Aさんがケーキを半分に分ける。

2. Bさんが好きな方を選ぶ。

3. Aさんが残りをとる。

果物やクリームなどの飾りつけが均一でない、個々の好み異なるという条件下でどのように公平に分けられるかを数学的に検証するもの。領土の分割や業務担当時間帯の割り振りなど、さまざまな場面のモデル化に用いられている。

例えばカバンと時計に対して、それぞれをもらった時のうれしさを4と10とすると、これらをもった場合のうれしさは4+10=14となる。このような計算を経てアイテムを受け取る人々のうれしさの総和の値を近いものにし、各人の満足度を可能な限り同等にしていけるのだ。

最も代表的な公平性の定義に「エ envy-freeness (妬みがない)」がある。これは、自分の持ち分をもったうれしさが他人の持ち分をもったうれしさを上回る状態を指す。

この状態を、AさんとBさんと1つのケーキを分け合う事例で説明しよう。まずAさんはケーキを切り、Bさんはケーキを選ぶ、という役割を与える。Aさんは自分が公平と判断した配分でケーキを切り、次にBさんが好きな方を、残ったもう一方をAさんが選択する。これにより、妬みのない配分というのが達成できる。Bさんは好きな方を選んでおり、Aさんは両方が同じ価値を持つようにケーキを切っているからだ(図2)。「このような事象に対して、さらに制約を加えたり、3人以上のケースに適用したりする研究を行っています」。

## 家事分担を解決するアプリ開発 「好き」「嫌い」を分析して反映

公平分割理論の研究に際して、五十嵐さんは具体的にどのようなテーマに取り組んできたのか。2019~21年度のACT-X「不可分財の公平な分け方」では、完全な公平性は保証できなくとも、可能なかぎり妬みを抑える「近似的な公平性」と、社会的な最適性がどのような状況においてバランスがとれるのか、その解明に取り組んだという。

「例えば『コーヒーと紅茶、どちらか一方が良い』といった場合、これを公平に配分するためにはどうすればいいか、という問題について、公平な配分が上手くいくことを理論的に証明しました」。このことは、現在に至る研究の土台となっているという。

もう1つが、重み付きの公平性だ。「ワクチンの配布であれば自治体の規模に応じて配布するなど、人数などの重みを考慮したうえで、どうやって資産を公平に配分するかといったテーマに取り組みました。これも、現在の私の礎となった研究の1

つです」と語る。

さらに21年夏、五十嵐さんは、JST主催の「サイエンスインパクトラボ」に参加した。これは、若手研究者と企業・NPOなどの民間で活躍している人々との交流会を通じて、研究の社会実装を産学官民で模索するというものだ。

イベントでの話し合いにヒントを得て、家事分担の問題を解決するアプリを開発した(図3)。「公平な配分に関する題材に家事を選んだのは、多くの人にとって身近な問題でわかりやすいこと、また分担に参加する人数が少ないため、比較的数学のモデル化がしやすかったからです」と、五十嵐さんは説明する。

世の中には多くの家事アプリがあるが、タスク管理が主な機能であるのがほとんど。対して、このプロジェクトで開発された家事分担アプリの特徴は、家事に対する個々人の「好き」「嫌い」を入力、その内容を分析して分担に反映させられることにある。

具体的には、カップルやルームメイトなど、2人で共有する家事のリストを定めた後、それぞれに対してど

図3 家事分担アプリ

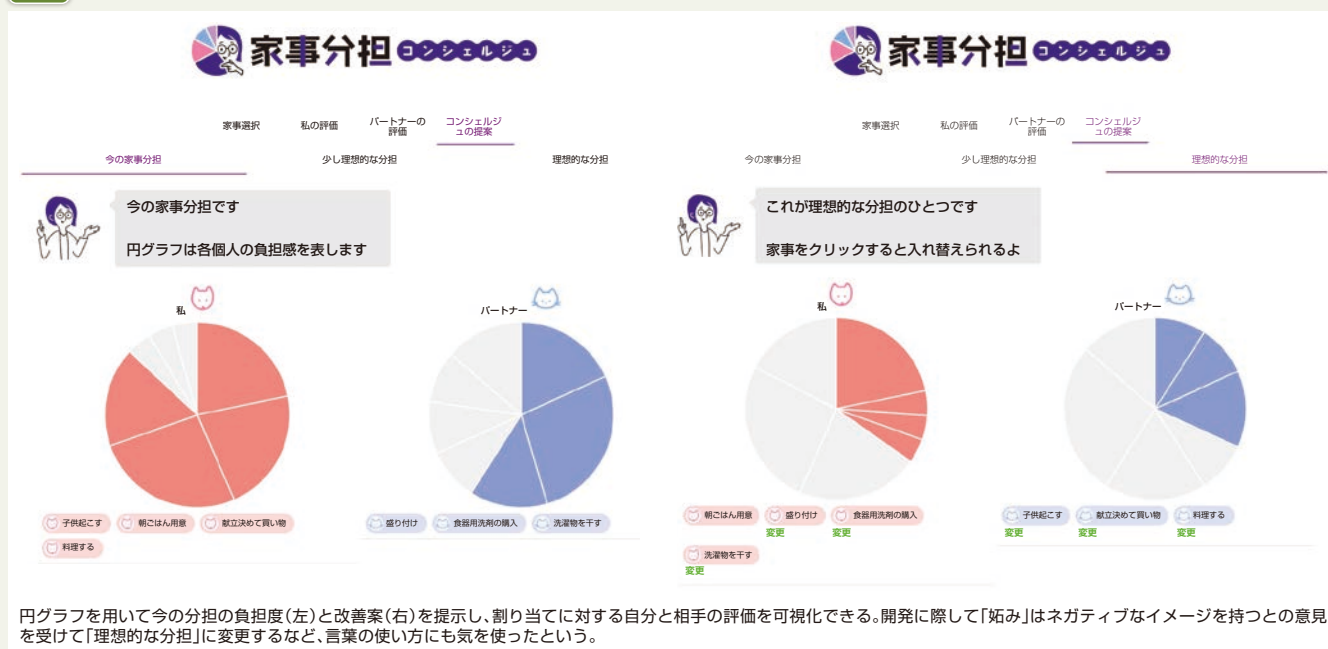




図4 複数の選択肢を選ぶ投票メカニズム



れくらい時間がかかるかといった負担度や各人の好みを選択し、個々の価値尺度を決めたうえで負担度を計算。これにより、理想的な家事配分を提案することができる。

このアプリはテレビ番組などで紹介され、分野内外から多くの反響を得られたという。五十嵐さんは「SNSなどでもさまざまな反響やご意見をいただきました。そうした声は、今後、どのような理論研究をすべきか、という道標としてとても役立っています。そして、理論だけでなく、応用も重要であることを再認識させられました」と語る。

### 信頼されるメカニズム構築へ 理論と応用のバランスに配慮

五十嵐さんの挑戦は現在も続いている。近年、AI技術の進歩によってさまざまな意思決定の自動化が可能となったが、意思決定アルゴリズムの公平性、透明性の確保は急務の課題でもある。五十嵐さんは、戦略的創造研究推進事業さきがけにおいて「信頼されるAI」という大テーマの下、「信頼される資源配分メカニズムの構築」に取り組んでいる。

題材の1つが、「複数の選択肢を選ぶ投票メカニズム」だ(図4)。投票メカニズムの代表的なものには多数決があるが、49人がAに、51人がBに投票した場合、49人の意見は無視されることになってしまう。「多数決で1つしか選べないのであれば仕方ありません。対して、ABCDの候補の中から複数のものを選ぶとした場合に、Aに投票した49人が選んだもの、

Bに投票した51人が選んだものなど、同じ意見を持つ複数の投票者の投票結果をいかに適切に反映し、公平性を実現するかといったメカニズムを考えています」と五十嵐さんは解説する。

また、「時間的な制約がある際の公平配分モデルの研究」にも取り組んでいるという。これは、セミナールームや体育館、手術室など、さまざまな施設の利用時間をいかに適切に配分するかという研究だ。

世の中に求められる「公平な配分」の実現に向け、その研究にまい進する五十嵐さんの今後の研究におけるポイントは、日常生活などの身近な視点も踏まえた理論と応用だ。「家事分担アプリの開発に取り組んだことで、より視野が広がり、理論に幅を持たせられたことは大きな一歩だと思っています。理論研究はとても楽しく、自分自身の日々の活力にもなるものですが、やはり応用は重要です。しかし、その応用にも理論的なバックボーンが不可欠です。今後は理論と応用のバランスをうまくとりながら、さらなる公平な配分の実現を追求していきたいと考えています」。

(TEXT:佐宗秀海、PHOTO:石原秀樹)



家事分担アプリの開発に携わったことで、公平配分を生かすための視野が広がりました。日常の暮らしに潜む疑問や齟齬を、数学の力で読み解いていきたいと思っています。