

離散最適化の手法で 社会における複雑な意思決定に挑む

九州大学 マス・フォア・インダストリ研究所 教授

神山 直之

研究課題

「都市・社会システム最適化のための離散的数学理論の深化」



少子化は日本が抱える重大な課題のひとつで、対策として保育施設の充実が叫ばれて久しい。そんな現状において数学の応用で保育行政の課題に挑み、大きな成果を残したのが、九州大学マス・フォア・インダストリ研究所で教授を務める神山直之だ。

頼もしいパートナーとともに 社会課題の解決を目指す

京都大学工学部建築学科出身の神山直之は、なぜ数学の世界に足を踏み入れたのか。彼はこう語る。

「人の流れや施設の配置といった都市計画に関することを、数学を用いて解決したいと思ったのです。それで、学部の卒業研究から離散最適化をテーマにしてみました」

離散最適化問題とは最適化問題の一種で、解が組合せ的な構造（例えば順列や割当）を持つ最適化問題である。物流や機械の運用など幅広い応用先があり、人の動きをコントロールする都市計画との関わりも強い。

博士課程修了後の神山は、中央大学理工学部情報工学科の助教を経て、2011年10月に現在の職場である九州大学のマス・フォア・インダストリ研究所 (IMI) に移った。その名が示すように数学を産業に生かすための場であり、数学科出身でない自分が入るべきかという迷いはあったというが、ここで離散最適化をはじめとする理論の研究に取り組み、神山は力を蓄えていく。

「さきがけ」の数学協働領域に応募したのは、それから2年あまり後のことだ。神山はこう振り返る。

「もともと『さきがけ』に興味があり、チャンスがあればやりたいという気持ちは持っていました。そして、ちょうど自分がやりたいと思っていたテーマの募集があったので、応募することにしました」

また、応募を後押ししたのは頼れる研究パートナーの登場だった。

「実は『さきがけ』に応募するのはほぼ同時期に富士通、富士通研究所、そしてIMIで共同研究部門を作るという話が進んでいました」

「さきがけ」は個人研究だが、その成果を社会で生か

していくとなると、企業の協力は不可欠だ。例えば社会課題が起きている現場の話の聞いたり、訪問するための調整をしたりといった研究者単独では難しいことでも、富士通に依頼することでスムーズに進行できる。富士通の側も社会課題の対策に活用できる数学や情報学のスキルを有する研究者を求めてIMIに声をかけたわけだから、初めからWIN-WINの関係が成立していたことになる。

新聞記事から知った 保育所の入所選考の問題

今回の「さきがけ」での最大の成果である保育所への入所に関する問題への応用においても、富士通研究所は重要な役割を果たした。きっかけは神山が見た新聞記事だった。

「福岡市の保育所の入所選考を行った結果、およそ250の家庭で兄弟姉妹が別々の保育所に通うことになってしまったという記事でした。数学的に見て一筋縄ではいかない問題だというのはすぐにわかったので、富士通の営業の方に聞いてみたんです」

富士通の関係者から紹介を受けて神山はさいたま市役所を訪れ、同市が保育所の選考を行う際の考え方や作業内容について話を聞いた。大規模かつルールが非常に複雑で、しかもそれを頻繁に行う必要があるので、自動化できると嬉しいとのことだった。そこで神山はこの問題に取り組むことにした。

この問題を難しくしているのは、兄弟姉妹の状況によって家庭サイドの希望順位が変わるということだ。例えば3人の子供がいて、X、Yという定員2名の2つの保育所に割り振るとする（図1）。3人ともXが第1希望、Yが第2希望で、入所の優先順位はA→B→Cという順だったと

割り当て	保育所 X	保育所 Y	判定
1	A・B	C	×
2	A・C	B	○
3	B・C	A	×
4	A	B・C	×
5	B	A・C	◎
6	C	A・B	×

図1 ルールを用いた入所判定（AとCが兄弟姉妹だった場合。割り当て5が均衡解）

すると、AとBがX、CがYに通うことになる。ところが、仮にAとCが兄弟姉妹だったら、別々の保育所に通わなければならないことになる。このように、定められた優先順位にただ従うだけでは各人が満足する割り振りにたどり着けないことも考えられるのだ。保育所や入所希望者の数が増えるとさらに問題が複雑になるのは言うまでもない。

神山が長く取り組んできた離散最適化問題の多くは、全体にとって最適な解を求めることだった。しかし、この場合は全ての入所希望者が満足できる1つの解を出さなければならない。こうした問題は安定マッチング問題と呼ばれ、簡潔に言うと2つの集団があって双方の構成員全員が相手の集合に対して希望順位を持っている場合に、安定な割り当てを求めるという問題である（図2）。例えば研修医を病院に配属する場合などが該当し、数学だけでなく経済学などの分野で研究が進められてきた。

神山とその共同研究グループはこうした複雑な制約がある状況での安定マッチング問題について研究し、ひとつの方向性を見いだした。ポイントは展開型ゲームとしてモデル化することだ。先の例で言うと、Aは第2希望になってもCと一緒にYへ通う方がベターだが、実は囲碁や将棋のように展開を読めばこの結果に到達できる。すなわち、Xには2人しか入れず、優先順位の高いBは必ずそのうちの1人になるから、AはCと一緒に通うためにはYを選択するしかないのだ。

もちろん現実はこのように単純なものではない。しかし、神山には心強いパートナーがいた。共同研究で得られた方法論を実践するべく、富士通および富士通研究所が実応用におけるシステムを構築する。こうした計算は人間だと途方もない時間がかかるが、アルゴリズムにとってはお手の物だ。

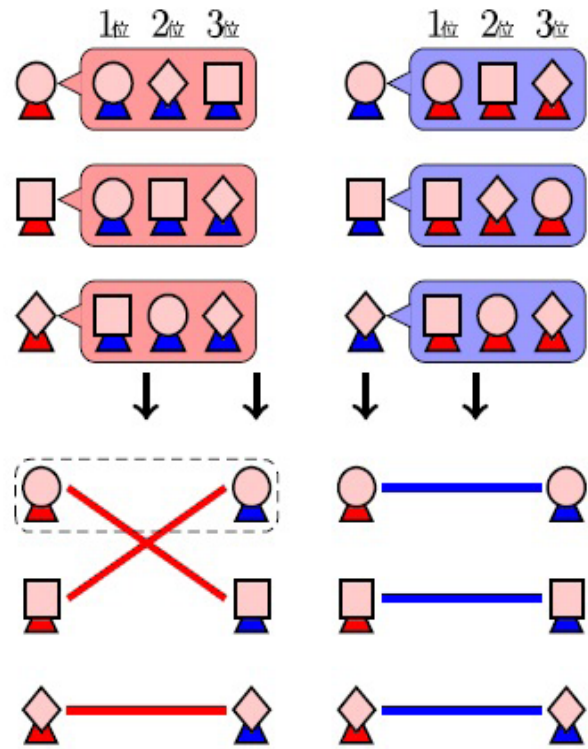


図2 安定マッチング問題の例。右側は安定だが、左側は双方にとってより良い組み合わせがあるため安定ではない。

少子化改善に向けて 実装が進む新技術

やがて、神山は富士通及び富士通研究所とともにマッチング技術を開発した。そして、さいたま市の311施設、入所申請者7,959人の匿名化データを用いて実証実験を行ったところ、20～30人の職員が何日もかけて出した選考結果と変わらぬ精度だった。解を出すまでの所要時間はわずか数秒である。

実証結果についてさいたま市は「完璧に近く、信用できる結果」と評し、「本格的な導入を心待ちにしている」という旨のコメントを出している。このマッチング技術が実用化されれば選考にかかる時間は大幅に短縮され、職員の労力も削減される。さらに、選考結果を早期に通知することができるようになり、保護者の職場復帰がスムーズになるだろう。少子化という重大な課題の改善につながる、極めて大きな成果と言って差し支えないだろう。

成功のポイントについて、神山は富士通と富士通研究所のおかげだと語る。さいたま市を訪れて実際に現場の話を聞いたのは、富士通の紹介があったからだ。また、共同研究で得られた手法は、富士通および富士通研究所が実用性のあるシステムを構築することにより、現実社会で活用できるものとなったといえる。

そして、その背景には「さきがけ」のネームバリューがあったと神山は考えている。

「研究者の登竜門として『さきがけ』は定着していて、キャリア形成においても必ず役立ちます。『さきがけ』

でなければ、富士通の方々と研究を進めることもできなかったでしょう」

この技術は既に神山の手を離れ、富士通が開発した保育業務支援ソフトとして普及が進みつつある。各地で実証実験が行われ、本格導入に踏み切った自治体もある。

「数学だけで最善の解を出せるとは思っていません。私がいいところまで作って、これを叩き台にして意思決定者が議論するという形もあると思います。でも、それで皆さんにとって悪くない解ができるのなら、数学は大いに役立ったといえるでしょう」

こう語る神山だが、この問題をさらに解決へと近づけるためには、違ったアプローチで問題に挑む研究者が現れるべきだと考えている。神山は離散最適化を専門とする人間だから、その方向からのアプローチしかできない。数学の別の分野、あるいは経済学などに立脚して取り組む研究者がいれば、全く別のブレイクスルーがあるかもしれないのだ。応用というのは社会課題の解決が目的であり、自らの手法でなければならぬということはない。これが今の神山の考えだ。

より出口に近いところで 研究を続ける

平成29年度から、神山は同じ「さきがけ」の「新しい社会システムデザインに向けた情報基盤技術の創出」という領域で「数理的システムデザインに潜む離散構造の研究とその応用」という課題を立てて研究を続けている。こちらも富士通研究所との共同研究で、例えば混雑した状況においてどのように人を誘導するのが良いのかといった、実社会で起こり得る問題に取り組んでいる。

「こうした問題に対して、一つの研究の方向として、できるだけ現実の状況を再現することを目指すシミュレーションの研究があります。一方、離散最適化など数学を用いたアプローチもあります。両者がバラバラで動いているのが現状ですが、融合すればより良いものを作れるでしょう」

このような取り組みによって、数学はより社会課題の出口に近いところで活用され、解決に向けた基盤技術の構築に貢献することになるだろう。その礎に3年半にわたる数学協働領域での経験と成果があるのは言うまでもない。

「現実的に考えて、数学だけで社会課題を解決することはできません。しかし、保育所の問題のように、概念を提示してたたき台を出すのは得意とするところです。それが数学の正しい活用法だと考えています」

神山の取り組みのさらなる成果が待たれる。