災害対策におけるオペレーションズ・リサーチの役割

その他のタイトル	Operations Research to Improve Disaster Management
著者	山川 栄樹
雑誌名	社会安全学研究 = Safety science review
巻	2
ページ	20-21
発行年	2012-03-31
URL	http://hdl.handle.net/10112/00018541

災害対策におけるオペレーションズ・リサーチの役割

Operations Research to Improve Disaster Management

関西大学 社会安全学部
山　川　栄　樹
Faculty of Safety Science, Kansai University
Eiki YAMAKAWA

オペレーションズ・リサーチ（OR：operations research）は，意思決定問題を数学モデルで記述し，科学的に厳密な計算手法（アルゴリズム）を用いて合理的に解決することを目的とする学問分野である．歴史的には，潜水艦の探索など軍事作戦の研究を起源としているが，第二次世界大戦後は生産，物流の効率化と品質管理に広く適用され，最近では金融商品の開発にも応用されるなど，経済の発展に大きく寄与している．オペレーションズ・リサーチの適用分野は，経済・経営の問題をはじめとする社会科学のほか，人文科学，自然科学，工学，医学など多岐にわたっており，都市計画や防災・減災，事故防止などにも適用する試みが従来から行われている[1]．また，東日本大震災の発生を契機として，災害復興にオペレーションズ・リサーチの手法を適用しようとする動きも広がっている[2]．

生産の現場において，労力，原材料，資金などの限りある資源を，どのような活動にどのように配分してできるだけ多くの収益をあげるかを決定する意思決定問題は，一般に資源配分問題と呼ばれている．大規模災害の発災時においても，救援や復興にあたる人的資源，物資をどのような作業，被災者に配分するか，どの仮設住宅にどの住民を収容するかなど，資源配分問題とみなすことができるさまざまな意思決定問題の解決が迫られる．

資源配分問題は，たとえば

$$
\begin{aligned}
&\text{目的関数：} f(x_1, \cdots, x_n) \rightarrow \text{最大}\\
&\text{制約条件：} a_{11}x_1 + \cdots + a_{1n}x_n \leqq b_1\\
&\qquad\qquad \vdots \qquad\qquad \vdots \qquad\quad \vdots\\
&\qquad\qquad a_{m1}x_1 + \cdots + a_{mn}x_n \leqq b_m\\
&\qquad\qquad x_1 \geqq 0, \cdots, x_n \geqq 0
\end{aligned}
$$

のような数学モデルに定式化される．ここで，b_i は資源 i の使用可能量，a_{ij} は作業 j を１単位実行するために必要となる資源 i の量，f は作業１を x_1 単位，…，作業 n を x_n 単位実行したときのメリットの大きさを評価する関数である．関数 f が１次関数

$$f(x_1, \cdots, x_n) = c_1x_1 + \cdots + c_nx_n$$

であるとき，資源配分問題は線形計画問題となるため，変数や制約条件の数が数万程度になっても，コンピュータを使えば実用的な時間で解くことができる．

現実の問題においては，被災者の人数や緊急車両の台数など，変数 x_1，…，x_n の値が整数に制限される場合も少なくない．変数（の一部）が整数値しか取れない線形計画問題は（混合）整数線形計画問題と呼ばれ，厳密な解を求めるためには分枝限定法と呼ばれるアルゴリズムを

用いる必要がある．商用のソフトウェアの中には整数計画問題を解くことができるものも存在するが，整数変数が数百を越えると実用的な時間内で解けなくなることも少なくない．

一方，目的関数 f や制約条件のなかに変数 x_1, …，x_n の非線形関数が含まれる場合には，資源配分問題は非線形計画問題となる．非線形計画問題には，真の解である大域的最適解のほかに，目的関数の値がまわりと比べると大きい局所的最適解という概念が存在する．真の最適解をエベレストの山頂とすれば，富士山の山頂は局所的最適解に相当する．一般の非線形計画問題の大域的最適解を求めるには分枝限定法を用いる必要があるが，ソフトウェアのなかには局所的最適解しか求められないものも珍しく無いので，注意が必要である．

ところで，現実の資源配分問題をソフトウェアに解かせてみると，「解なし」という結果になる場合がある．その原因の多くは，制約条件の相互矛盾であるが，矛盾している制約条件を見つけ出してモデルを修正することは意外に困難であることが少なくない．数式モデルを作成する際に，各変数および各関数が取る値の大きさをそろえるスケーリングとよばれる手続きを行っておけば，各制約条件に対応する双対変数（ラグランジュ乗数）の大きさを調べることにより，相互矛盾の原因となっている制約条件を見つけ出せる場合がある．また，十分大きな正のパラメータ M に対して，ペナルティ関数の考え方を組み込んだ問題

$$
\begin{aligned}
\text{目的関数：} & f(x_1, \cdots, x_n) - M(s_1 + \cdots + s_n) \rightarrow \text{最大} \\
\text{制約条件：} & a_{11}x_1 + \cdots + a_{1n}x_n - s_1 \leqq b_1 \\
& \vdots \\
& a_{m1}x_1 + \cdots + a_{mn}x_n - s_n \leqq b_m \\
& x_1 \geqq 0, \cdots, x_n \geqq 0 \\
& s_1 \geqq 0, \cdots, s_n \geqq 0
\end{aligned}
$$

を解き，s_1, …，s_n のなかで値が正となるものに対応する制約条件を緩和するなどの方法も考えられる．しかし，これらの作業には非線形計画問題に関するある程度の専門知識が必要であり，災害対策など緊急を要する状況のなかで，現場の担当者だけでその作業を行うことは非常に難しい．したがって，平常時からシミュレーションを繰り返しておくことが必要不可欠である．

数学モデルに定式化した問題の最適解は，ソフトウェアを利用して求めることができるが，現実の意思決定問題を数学モデルとして定式化する作業そのものは，人間が行わなければならない．量的データの値を決定する問題は比較的定式化しやすいが，作業の優先順位などを決定する問題では，変数の選びかたに工夫が必要となる場合も少なくない．適用する分野ごとに，よく現れる問題のパターンを整理し，定式化のノウハウを蓄積していくことも重要である．

資源配分問題の係数 a_{ij}, b_i, c_j のなかには，統計的にその値を決めざるを得ないためにデータが欠損しているものや誤差が含まれる可能性があるもの，満足度のように人間の主観に基づいてその値を決定することが望ましいものも少なくない．最近のオペレーションズ・リサーチの発展とともに，このようなあいまいな情報を含む意思決定問題も解くことができるようになってきている．自治体の危機管理部門にオペレーションズ・リサーチの知識をもった人材が増え，さまざまな場面でこれらの手法の適用が進むことを期待したい．

参考文献

[1] OR 事典 事例編：防災，
http://www.orsj.or.jp/~wiki/wiki

[2] 特集：東日本大震災：OR 手法活用への期待，オペレーションズ・リサーチ，Vol 56, No. 12, 2011.