



**Profile**

生産システム分野  
教授 **荒川 雅生**  
博士(工学) (早稲田大学)

研究分野  
・多目的最適化  
・設計工学  
・デザイン思考  
・故障診断

Web) <https://www.waseda.jp/fsci/gips/other/2023/04/02/24205/>

IPS 教員インタビュー

## “どこでもドア”になれる「多目的最適化」の手法

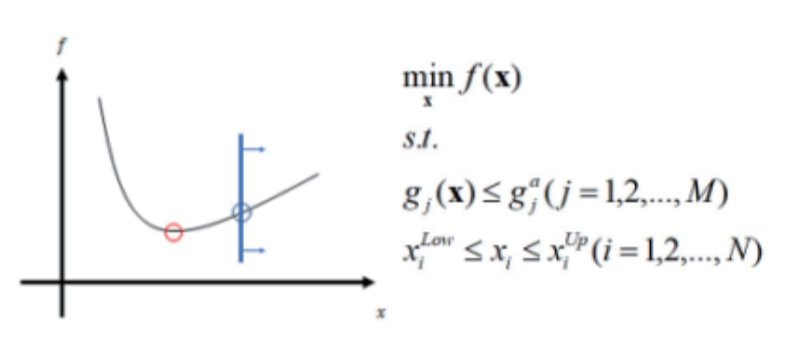
コストと品質、重量と強度、デザイン性と使い勝手など、製品設計の分野では、「あちらを立てればこちらが立たず」のトレードオフ問題が発生しがちだ。これを解決する手法として、様々な製品の設計で「多目的最適化」の手法が用いられているが、大学院情報生産システム研究科の荒川雅生教授は、多目的最適化に「トレードオフ分析」「満足化トレードオフ法」をプラスした手法で、工業製品の設計ばかりではなく、防災・減災、販売戦略作成、デザイン思考の育成など、極めて多彩な分野への応用に取り組み中だ。

### ベテランの勘とノウハウを、数学的に定式化する

例えば自動車を設計する際、燃費性能の向上が最重要テーマであれば、多くの人が車体の軽量化を思いつくだろう。ただ、軽量化のためにフレームや外板パネルを細く(薄く)すると、ボディ剛性が低下して衝突時の安全性が損なわれる。安全性をスポイルする燃費性能向上が「最適解」ではないことは、誰の目にも明らかだ。

多目的最適化は、そうしたトレードオフ関係の中で「最適解」を求めるために活用されている手法だが、「一般的に使われている多目的最適化の多くは、各目的関数に重み付けをして1つの評価指標を作り、単目的にする『加重和法』と言われるものです。出来上がった結果だけを見ると、問題がきちんと解決できているように見えますが、実は、“白鳥の水かき”のようなものなのです」と指摘する荒川教授。湖面をエレガントに泳いでいるように見える白鳥だが、実は水面下では、水かきの付いた足をパタパタと絶え間なく動かしている。加重和法による最適化も、数え切れないほどのトライ＆エラーを繰り返した結果、たまたま成功したものだけが世の中に出ているのだという。

「最適化のモデリングを図にすると、右記のような簡単な表で表現できます。何らかの『目的関数』を、とにかく最大化あるいは最小化しましょう、ただし『制約条件』の許容値内でなければダメですよ...ということ。目的関数が「問題の本質」と捉えられがちだが、「目的関数は、実は大した問題ではなく、むしろ制約条件の許容値をどう設定するかということの方が、トレードオフ関係を解決する上で重要なのです」。



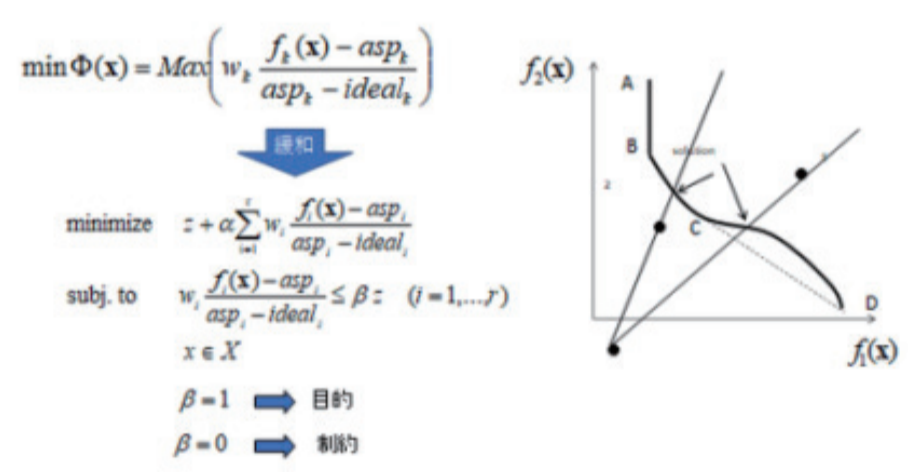
多くの工業製品やシステムの場合、設計時には「安全率」の観点から厳し過ぎる許容値を設定するため、結局は「現状維持がベスト」という結果になりがちだ。ただ、厳し過ぎにならないよう緩すぎる許容値を設定すると、今度は現実離れた結果となる。「ベテランの設計技士は、豊富な経験に基づくノウハウにより一発で最適値を出すことができていました。しかし今、団塊世代の方々のリタイアが進み、そのノウハウが失われつつある。だからこそ、今のうちに最適化を行って、設定に関する知識やノウハウを継承せねばならないのです」。

### 思考の柔軟性が“ちょっと良い”結果を導き出す

「多目的最適化のシミュレーションでは、たくさんの目的関数が出てきます。どの程度の値が最適なのか判断しにくい場合、全部を目的関数にすれば良いからです」、「そうすることで、設計空間を非常に広く取れ、良いものを見つけ出せる可能性が高まります。同時に、設計空間は目的関数が決めるので、絶対的に必要な値しか残りません」。

例えばダイニングチェアを設計する場合、絶対的に守らなければならない制約条件は、「人が座っても脚が折れたり座面が壊れたりしないこと」と、意外にシンプルだ。そこに座るのは、小柄で体重の軽い人から大柄で筋肉質な人まで様々だが、大相撲の現役力士でも体重は160~190kg程度なので、それを大幅に超えるような重量を支えることを、「目的」として検討する必要は無い。その条件(設計空間)の中で、販売計画に沿った価格で製造できる材質や構造(デザイン上の制限)、製造コストなどを目的関数にしていくわけだ。

「多目的最適化は、全ての目的関数を最適化したいというのが前提条件ですが、“あちらを立てればこちらが立たず”の問題が、必ずどこかで出てきます。そこで、妥協するポイントをどこにするのかを見つけるのが、『満足化トレードオフ法』です。この手法は、荒川教授と共同で、長年にわたり多目的最適化の研究活動を行っている中山弘隆氏(甲南大学名誉教授)が考案したもの。「目標を決めるのではなく、あり得ないような理想点と、“このあたりの結果が欲しい”という現実的な点の2点を決めます。そうすると、下記図のように交点が出てくるので、“想定していたよりちょっと良い、ちょうど良い”値をみちびきだせるわけです」。



工業製品を設計する際、製造物責任の観点などから、安全率を10に設定するケースが多いのだという。しかしそれは、前述のダイニングチェアの設計で、体重300kg以上の人を座ることを懸念するようなもので、あまり意味は無い。「10を9.9にするだけで、もっと良いものができるかもしれない。そういう時に、満足化トレードオフ法を使えば、融通を利かせて色々な可能性が発見できるようになるわけです」。

現在、製品設計などの分野ではCAE(Computer Aided Engineering)を用いたシミュレーションを行うのが一般的だが、コンピュータが出した数値を、人間の思考の柔軟性によって“ちょっと良い・ちょうど良い”結果になるまで誘導する手法が、満足化トレードオフ法による多目的最適化ということだ。

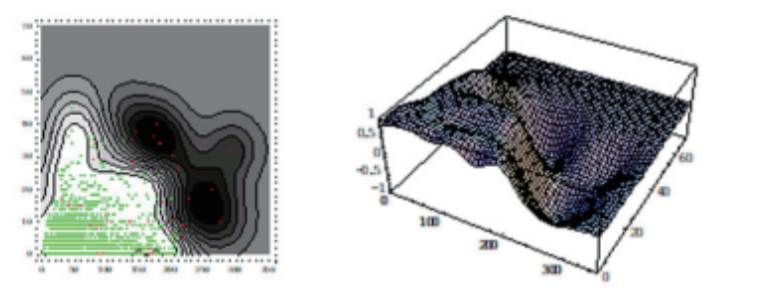
### 好奇心が活きる“どこでもドア”の研究

多目的最適化を通じて、実践的な問題の解決を図ることを研究テーマに掲げている荒川教授。目的関数や制約条件、設計変数に様々な値を取り込めるだけに、最適化の対象も工業製品ばかりではない。

例えば、自然災害の多発化・激甚化に対応するため、より迅速・確実に警戒レベル4の避難指示を発報する「がけ崩れ発生限界雨量線の設定」。従来のがけ崩れCL(クリティカルライン)は、数少ない発生降雨から危険領域を特定し、複雑な自然現象を線形で表現するため、客観性に欠ける予測可能・不可能の分類が必要だった。この弱点を解消するため、予測可能・不可能の分類を行わず、大量にある非発生降雨から安全領域を特定し、CLを下記図のように非線形で表現するため、最小二乗法によって関数の最良近似法を導くことができる「RBF(Radial Basis Function)ネットワーク」を応用。斜面特性等も考慮しながらグループごとに機械学習を行い、“重み”を修正することで、従来の線形CLと比較して正判別率を8%近く向上させた。

大手飲料メーカーから、自動販売機への商品充填効率化を相談された際は、サービスマンの移動経路と飲料自販機の設置場所、商品別の充填順などの値を取り込んで最適化を実施。年間で約4,000万円相当の業務効率化を実現したという。また、マンション販売の利益率を最大化するためには、1棟あたり何戸の物件を何棟新築するのが良いか...といった研究依頼を受けたこともあったそう。もちろん工業分野でも、H2ロケットのエンジン改良や発電プラントの運転最適化といった大規模問題から、外反母趾や扁平足を補正する足裏アーチサポートなど医療機器関連まで、様々な製品の最適化を手がけてきた。某ゴルフ用品メーカーの依頼によるゴルフクラブの重量バランス最適化では、同メーカーの契約プロが、荒川教授との共同研究を受けて設計したゴルフクラブを使用して大会優勝した実績もあるという。

#### 非線形CLの設定



Parameter	Value	雨量				
		0	0.2	0.4	0.6	0.8
発生(1) (%)	a (=R <sub>msl</sub> ΔR)	42.81	44.81	47.81	48.81	56.81
	b (=σ <sub>r</sub> ΔR)	51.9	54.3	58.0	59.3	69.1
発生(2) (%)	λ <sub>msl</sub>	51.81	51.81	60.81	61.81	65.81
	λ <sub>msl</sub>	63.0	63.0	74.1	75.3	80.2
非発生 (%)	110/111	108/111	107/111	105/111	95/111	
	99.1	97.3	96.4	94.6	85.6	

「あらゆる分野に応用できる多目的最適化は、まるで『どこでもドア』です。“これ、何とかならないのかな?”といった、ちょっとした疑問や関心が研究に直結する領域ですから、好奇心旺盛なタイプの学生はピッタリですよ」。