

# 予測から意思決定へ ～予測型意思決定最適化～

藤巻 遼平 村岡 優輔 伊藤 伸志 矢部 順大

## 要 旨

都市の各地域のエネルギー需要量を予測する、小売店舗の各商品の売上数を予測する、会員のサービスに対する満足度の低下を予測する。ビッグデータの蓄積とその利活用の重要性が広く認知され、NECの異種混合学習技術をはじめとする機械学習技術の進化とともに、人工知能（AI）がデータを分析することによって将来を高精度に予測すること（予測分析）が現実となりつつあります。本稿では、予測（何が起こるのか）に基づいて意思決定（何をすべきなのか）をAIが実現するための最先端技術である「予測型意思決定最適化」について、いくつかの応用事例を交えながら、予測の先、AIによる意思決定への挑戦を紹介します。



ビッグデータ／データサイエンス／高度分析／予測分析／意思決定／異種混合学習／人工知能(AI)／  
数理最適化／機械学習

## 1. はじめに

都市の各地域のエネルギー需要量を予測する、小売店舗の各商品の売上数を予測する、サービスに対する会員の満足度の低下を予測する。ビッグデータの蓄積とその利活用の重要性が広く認知され、機械学習技術の進化とともに、AIがデータを分析することによって将来を高精度に予測すること（予測分析）が現実となりつつあります。NECでは2012年に異種混合学習技術<sup>1) 2)</sup>を開発し、電力需要予測<sup>3)</sup>、水需要予測、商品需要予測<sup>4)</sup>、在庫需要予測<sup>5)</sup>など、さまざまな予測分析ソリューションを実用化しています。

予測分析によって未来の情報を機械が大量に生成するようになり、予測（何が起こるのか）だけではなく、更にその情報に基づいた意思決定や計画・判断（何をすべきなのか）を人工知能（AI）によって実現する試みが高度分析の最先端で始まっています。例えば、エネルギーの無駄を減らすにはいつどれくらいの量を生産したらよいか（生産計画）、売上を最大化するためには各商品をいくらで販売したらよいか（価格戦略）、顧客満足度を向上するために

は誰にどのキャンペーンをうつたらよいかといった意思決定を、従来は人間の専門家が経験に基づいて実施していました。近年は大量のデータに基づいた予測によって、これを支援することが可能になりましたが、予測そのものは情報であり、意思決定を直接的に支援・自動化するものではありません。

本稿では、予測に基づいた意思決定をAIによって実現するNECの「予測型意思決定最適化」について紹介します。予測型意思決定最適化は、次の3つの特長を有します。

- 1) 予測と最適化の融合
- 2) 高い安全性と効果の両立
- 3) 圧倒的な計算速度

それぞれの特長の背景とポイントを解説し、最後に小売価格最適化への適用例を紹介します。実証実験<sup>6)</sup>では、ある小売店舗の過去2年間のデータを利用し、30種類の飲料品の価格を最適化することによって、通常の最適化と比較して約16%ポイント売上の高い戦略を導出することができました。また、その計算に掛かった時間について、通常の最適化（混合整数計画法）では現実的な時間による計算が不可能でしたが、予測型意思決定最適化では1

\*1 過去データを利用したオフラインでの検証・試算。

秒未満で計算が完了し、圧倒的な高速化を実現しました。予測型意思決定最適化を用いて、予測に基づいた意思決定をAIによって最適化することで、その効果や価値を最大化することができます。

## 2. 予測型意思決定最適化

### 2.1 予測と最適化の融合

予測型意思決定最適化技術では、ビジネスにおける価値を生み出すために、異種混合学習技術による予測を活用し、データからは直接知ることのできない情報を最適化に用いることで、これまで実現できなかった高度な最適化を可能にしました(図1)。異種混合学習技術とは、膨大なデータからさまざまな要素間の関係性を解き合わせることで、高精度で説明性が高い予測を導き出す技術です。これをインプットとして最適化を行うのが「予測型意思決定最適化技術」です。では、なぜ高度な最適化を行うのに予測が必要なのでしょうか。

それは、データから直接観測されることだけに基づく従来の最適化には限界があるためです。例えば、商品の価格を決めるためには、商品Aの値段を下げる場合に、商品Aの売上の増減だけでなく、関連する商品Bの売上も考慮する必要があります。このような、複雑な関係を考慮した売上の予測は、データからは直接観測することはできません。このような予測値や、最適化に関わるさまざまな要素間の関係の推定値を明らかにするのが、異種混合学習技術です。

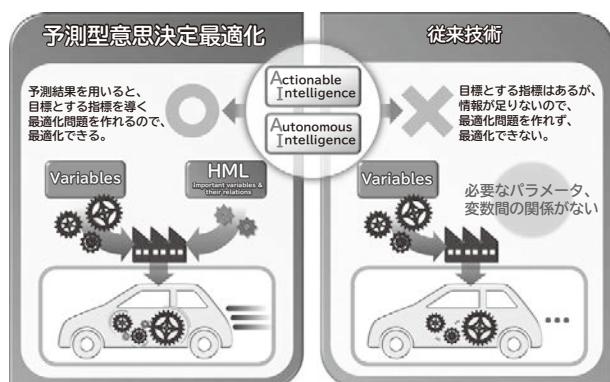


図1 予測と最適化の融合

従来は、データから明らかに分かることだけに基づいて行われてきた最適化。異種混合学習技術と組み合わせることで、精度の高い予測値や関係性の推定値を最適化のインプットに利用できるようになります。明日の需要量が予測でき、商品の需要間の関係も明らかになれば、欠品を最小にする発注を複数商品にわたって行うことも可能です。予測型意思決定最適化技術は、見えない情報までも活用し、将来にわたるより深い最適化を可能にします。

### 2.2 高い安全性と効果の両立

機械学習によって生成された予測や関係性の推定値は、予測誤差や推定誤差<sup>2</sup>が含まれる「不確かな情報」です。予測を100%当てることが不可能な限り、予測に基づいた意思決定には必ずリスクが伴います。予測に基づいた意思決定をビジネスで活用するためには、予測の不確かさ(予測誤差)のリスクと影響を正しく評価したうえで、効果が高く、かつ安全性の高い(リスクの低い)計画や判断を導出しなければなりません。

予測誤差がどのように生じるか、利得や損失が大きくなるのはどのような場合なのかを、人間が定量的に把握し判断することは困難です。予測型意思決定最適化技術では、このような予測結果に生じる誤差の傾向を自動的に学習して最適化へ反映します。この際に、誤差が正規分布に従わない、大量の予測による誤差が累積して不確実性が大きくなるといった通常の最適化では扱うことが困難な問題に対しても、独自の最適化手法によって予測のずれによる大きな損失を防止し、安全性と効果を両立した計画値

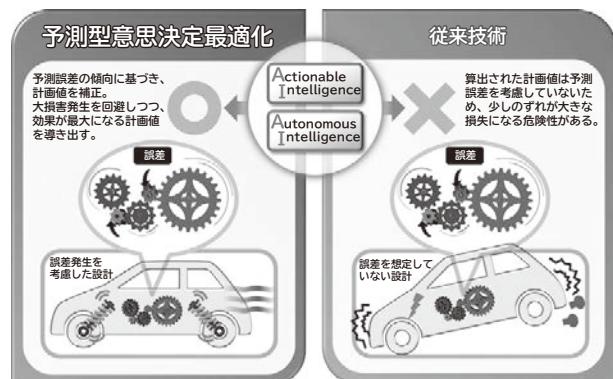


図2 予測の不確かさを考慮した最適化

<sup>2</sup> 機械学習によって推定されたパラメータが確率的に揺らいでいることによる誤差。

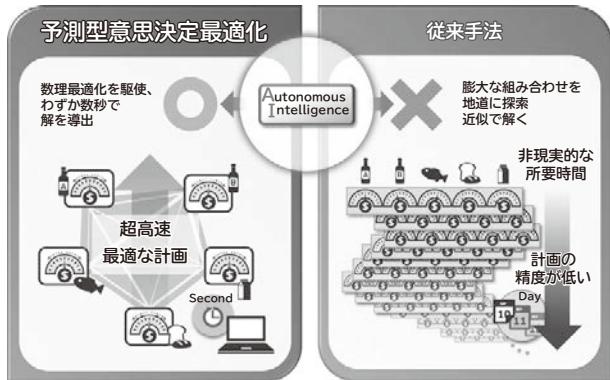


図3 グラフ理論に基づく高速アルゴリズム

を算出します(図2)。

### 2.3 圧倒的な計算速度

現実の意思決定問題の多くは「組み合わせ最適化」として定式化できますが、変数が増えれば増えるほど、探索する組み合わせが指数関数的に増加し、解の算出に膨大な時間が掛かってしまいます。予測型意思決定最適化技術では、変数間の関係(例えば商品の売上と価格との関係など)を数学的な「グラフ」としてモデル化する画期的な独自アルゴリズムによって、飛躍的な高速化を実現しました(図3)<sup>6)</sup>。一般的な混合整数計画法で探索すると非現実的な計算時間<sup>3)</sup>が掛かってしまう問題でも、予測型意思決定最適化技術なら、わずか1秒未満で最適な戦略を導出することができます。更に、本技術によって導出された戦略の効果も、混合整数計画法に比べ、大幅に向上することが確認されました。この飛躍的な高速化と、異種混合学習技術の高い解釈性を組み合わせることで、最適化におけるさまざまな外部要因・条件を試しながら戦略の最適化を行うといった運用が可能になります。

### 3. 小売価格最適化に関する実証実験

小売店舗における商品の売上を左右する最大の要因が価格です。商品価格の決定は、定価はもちろん、日々の値

引きやキャンペーンまで、店舗の競争力向上のための非常に重要な戦略的意味決定です。しかし、価格の交差弾力性(商品Aを値引きすると商品Bの売上に影響を与えること)やカニバリゼーション(商品Aと商品Bが売上を共食いしてしまうこと)など、価格と売上はN対Nの商品間で絡み合う複雑な関係にあり、人間の経験と勘に頼った価格設定には限界があります。本実証実験では、ある小売店舗における30種類の飲料品の価格を同時に最適化することで、商品全体の売上を最大化する価格戦略を導きました。

実験では、まず約2年間の30種類の商品の売上情報<sup>4)</sup>を異種混合学習によって分析し、商品の売上と値段、更に天候などの外部要因の間の関係性を学習しました。そして、学習された関係性を予測型意思決定最適化技術へ入力し、1週間の売上を最大化する価格戦略を導きました。

この問題は予測の不確かさなどを考慮しない通常の最適化としては、混合整数計画問題として定式化することができます。しかし、混合整数計画問題は一般には指数オーダーの計算時間が必要で、実験では商用の高性能ソルバー<sup>5)</sup>を利用して30商品の価格を求めるためには5時間以上掛かります。一方で、予測型意思決定最適化技術では、第2章3節で説明した独自の最適化アルゴリズムによって、わずか1秒未満で解を算出することができました。これによって、条件を変えたシミュレーションによる対話的な戦略立案などが可能になりました。

また、第2章2節で説明した予測の不確実性を考慮しない通常の最適化によって算出された戦略(1)と不確実を考慮した予測型意思決定最適化技術によって算出された戦略(2)を比較すると、90%の片側信頼区間において(2)の戦略では約16%ポイント売上が改善したのに対して、(1)の戦略では約20%ポイント売上が悪化しました<sup>6)</sup>。これは、(1)の戦略が予測誤差のある予測結果を信じて戦略を最適化した結果、逆に売上を下げてしまうリスクを高めてしまったのに対して、(2)の戦略では予測誤差の不確実性を考慮することでリスクの高い戦略を避け、高い確率で売上を改善させる戦略を導出できたということです。

<sup>3)</sup> 第3章で説明する価格最適化の例では、汎用計算機を利用した場合に、30商品の価格の最適値を算出するために5時間以上の計算を要しました。

<sup>4)</sup> 実験データは株式会社KSP-SP (<http://www.ksp-sp.com>)より提供。

<sup>5)</sup> 本実証実験では比較のためにGUROBI Optimizer 6.0.4を利用しました。

<sup>6)</sup> 統計的信頼区間の正確な説明は割愛しますが、大まかには90%信頼区間はある事象(売上の改善がX%以下)が90%の確率で棄却されることを意味します。

#### 4. 広がる適用範囲

予測型意思決定最適化技術は、予測（何が起こるのか）に基づいて意思決定や計画・判断（何をすべきなのか）をAIによって実現する、非常に汎用的な技術です。例えば、水の運用管理では、水需要の予測値に対して、運用者の経験に基づいた浄水、貯水、配水計画が行われています。しかし、過剰造水による水廃棄が多い、非効率なポンプ運転によって電力コストが高い、需要の過小評価による計画変更が頻繁に発生するといった課題がありました。本技術を適用することで、最大で電力コストを20%削減し、かつ需要の過小評価による計画変更回数を1/10に削減することが可能との試算が得られました。

更に、顧客の満足度の予測に基づいたキャンペーンによる継続的な高い顧客満足度、通勤需要の予測に基づいた交通機関の運行計画による待ちのない通勤、設備やインフラの劣化予測に基づいた保全による安全・安心な社会インフラなど、予測型意思決定最適化技術の応用範囲は領域を問わず多岐にわたります。

#### 5. おわりに

本稿では、予測に基づいて意思決定（計画・判断）をAIによって実現する予測型意思決定最適化技術について、技術的な特長や実証実験結果を紹介しました。ビッグデータ分析、そしてAI技術の重要性の高まりとともに、ビジネス上の意思決定をAIの支援を受けながら行っていく試みは、今後ますます広がっていきます。我々は、異種混合学習技術と予測型意思決定最適化技術によって、人間だけでは難しい大規模な社会システムにおける意思決定を実現し、より良い社会の実現へ貢献していきます。

#### 参考文献

- 1) 藤巻遼平, 森永聰: ビッグデータ時代の最先端データマイニング, NEC技報 Vol. 65 No. 2, pp.81-85, 2012.9
- 2) 藤巻遼平ほか: 異種混合学習技術とビッグデータ分析ソリューションの研究開発, 第29回(2015年度)独創性を拓く先端技術大賞, 2015, <http://www.fbi-award.jp/sentan/jusyou/2015/7.pdf>
- 3) 岸田洋: 電力サプライヤーソリューションの中核を担う電力需給管理システムの開発, NEC技報 Vol.68 No.2, pp.49-52, 2016.2
- 4) 落合光太郎: 異種混合学習技術を活用した日配品需要予測ソリューション, NEC技報 Vol.68 No.1, pp.83-86, 2015.9
- 5) 大塚紀明ほか: 補修用部品の在庫最適化に貢献する需要予測ソリューション, NEC技報 Vol.68 No.1, pp.79-82, 2015.9
- 6) S. Ito, R. Fujimaki: Large-scale Price Optimization via Network Flow, Thirtieth Annual Conference on Neural Information Processing Systems, 2016

#### 執筆者プロフィール

##### 藤巻 遼平

データサイエンス研究所  
主席研究員

##### 村岡 優輔

データサイエンス研究所  
主任

##### 伊藤 伸志

データサイエンス研究所

##### 矢部 顕大

データサイエンス研究所

#### 関連URL

NECのAI研究：データマイニング・テクノロジーグループ  
<http://jpn.nec.com/rd/crl/ai/groups/datamining/>

#### NECのAI研究

<http://jpn.nec.com/rd/crl/ai/index.html>

#### NECのソリューション・サービス：AI・ビッグデータ

<http://jpn.nec.com/bigdata/>

# NEC技報のご案内

NEC技報の論文をご覧いただきありがとうございます。  
ご興味がありましたら、関連する他の論文もご一読ください。

NEC技報WEBサイトはこちら

NEC技報(日本語)

NEC Technical Journal(英語)

## Vol.69 No.1 AIによる社会価値創造～NEC the WISEの世界～

AIによる社会価値創造特集によせて  
AI時代における社会ビジョン～人々の働き方、生き方、倫理のあり方～  
NECが目指すAIによる社会価値創造

### ◇特集論文

#### NECが目指す社会価値創造像

都市空間の安全・安心を支えるセーフティ・オペレーション  
新たな消費エクスペリエンスを提供するリテール産業オペレーション  
都市交通サービスにおける「NEC the WISE」  
第四次産業革命を支えるインダストリー・オペレーション

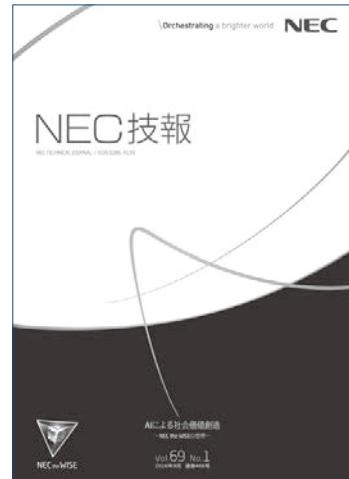
#### NECが誇る最新のAI技術

リアルタイム監視を実現する動画顔認証技術  
社会インフラの保全を効率化する光学振動解析技術  
IoTの活用を広げる物体指紋認証による個体識別  
未知のサイバー攻撃を自動検知する自己学習型システム異常検知技術(ASI)  
防犯カメラ映像から未登録の不審者を見つける時空間データ横断プロファイリング  
きめ細かなマーケティングの実現に向けた顧客プロファイル推定技術  
要因分析エンジンを用いた工場・プラントでの品質管理  
予測から意思決定へ～予測型意思決定最適化～  
REFLEXによるバス運行の動的最適化

#### 最先端のAI技術開発におけるNECのオープンイノベーション活動

脳の「ゆらぎ」を応用した超低消費電力のコンピュータで「おもろい社会」を実現  
アナログ回路の活用により本物の脳を再現する「ブレインモルフィックAI」とは  
AIとシミュレーションを組み合わせ、データに乏しい状況でも意思決定を可能に

AI技術ブランド「NEC the WISE」



Vol.69 No.1  
(2016年9月)

特集TOP