

需要予測における OR の役割 —適用事例をもとに—

塩野 直志

企業において、OR 実務家は需要予測の精度向上を行うためのモデル構築に必要とされているのではなく、需要予測に関連した様々な業務に必要とされることが多い。本稿では適用事例をもとに需要予測に関する OR 実務家のかかわりに関して紹介する。

キーワード：需要予測，天候デリバティブ

1. はじめに

ある企業が社内で将来需要を予測するとき、現在は市販の予測ソフトが存在するうえに、簡単な予測は身近なスプレッドシートでできる時代になり、理工学や経済学を修めている担当者が自ら分析し、予測モデルを開発することが増えてきている。と聞くと、OR 実務家はもう要らないのか、と思ってしまうかもしれないが、OR 実務家は需要予測業務ではいまだ外すことができない、むしろ予測業務が増えるにつれ、かえって必要性が高まっている状況である。

そこで、本稿では需要予測とその関連する業務に関し、OR 実務家がどのようにかかわっているかを、事例を通じて紹介することとする。

2. 予測と目的

まず、以下の問題を考えることとしよう。

【問題】

いま、ガス製造所から住居 1,000 戸、業務用ビル 1 棟、工場 1 件にガスを供給しており、使用量比は住居 1,000 戸の合計値 1 に対してビル 10、工場は 10,000 である。ガスの供給にあたっては、翌日の 24 時間の時刻別の供給量が必要である。そのとき、あなたならどのように予測するだろうか？

【答え(例)】

まず、工場からあらかじめ過去の時刻別実績使用量

と翌日 24 時間の計画量をもらう。

次に、(製造所の時刻別供給量－工場の時刻別使用)の実績を求め、求めた値を住居ビルと業務ビルの時刻別使用量とみなす。

住居と業務ビルは前日か先週同日の時刻別使用量をそのまま使用し、工場の翌日 24 時間計画量と足すことで、合計を翌日の時刻別供給量と設定する。

答えを聞くと、当たり前答えではないかと思ってしまうかもしれないが、回帰分析や時系列分析を使って…、などと考えた読者が少なからずいるのではないだろうか。実は筆者も予測業務を行っていた当初は専ら分析に頼りがちだった一人であり、統計学の素養を有する者が陥りやすい罠の一つである。

需要予測はあくまで手段であり、予測を行うための目的が必ず存在する。本問題では「お客さまに滞りのないようにガスの供給オペレーションを行う」のが目的である。本問題において、過去の情報のみで翌日の工場の使用量は予測できるだろうか。答えは残念ながら否であり、景気の先行きが不透明である現状において、ある日突然工場の稼働を停止することもあれば、逆に休日に突然ガスの使用を再開することもあるだろ

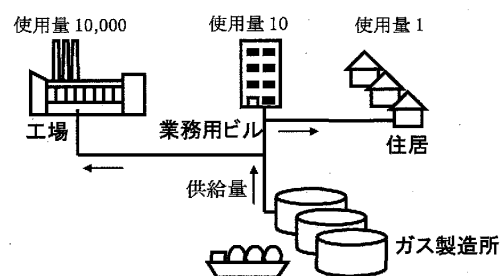


図1 ガス供給例

しおの なおし
東京ガス(株) 導管企画部
〒105-8527 港区海岸 1-5-20

う。もし、工場が次の日曜に稼働することに決定しているにもかかわらず、過去の傾向から日曜は稼働しないとガスの供給量を予測していた場合、確実に供給上の支障が発生してしまう。では、供給支障が発生しないためには…、と考えていくと上記の答えが導かれる。

ただ、当初は予測を行う明確な目的があったにもかかわらず、担当者の交代を繰り返すたびに予測が手段から目的にすり替わってしまうことが往々にしてある。また、本来は業務プロセス自体に問題があるにもかかわらず、業務がうまく進まない原因を予測の精度にすり替えられてしまうこともある。そのような状況になったときに目的を再定義していくのがOR実務家の重要な役目である。

3. 予測の基準

文献[1]によると、予測モデルの良否の判定は、つぎの五つの点(ABCDE)を考えて行うとしている。

(A) 正確性 (Accuracy)

その方法が、費用とのかねあいで、より正確な予測値を与えること。

(B) 柔軟性 (Bending)

その方法が、経済界の変化などの外的変化や、生産方式変更などの内的変化にも、すみやかに反応して、対処できること。

(C) 納得性 (Convincing)

その方法がだれにでも納得される、すなわち他人に対して説得力があること。

(D) 持続性 (Durability)

その方法がなるべく長期にわたって使用できること。

(E) 簡便性 (Easiness)

その方法の計算が楽で、だれにでも簡単に予測値が求められること。

例えば、最初の問題において、予測と実績が±20%以内であれば供給上支障が発生しないとする。このとき、もし答えのモデルが常に±10%以内に収まるのであれば、(D)持続性と(E)簡便性で優位なうえに、費用との兼ね合いで(A)正確性を満たし、かつ(C)納得性に関して誰からも納得されるであろう。

ただ、実際には(A)~(E)すべてを満たすモデルを作れるケースは非常に少なく、

(1) 目的：なぜ需要予測をするのか

(2) 精度：どの程度の正確性が必要か

また、どの程度まで正確性が担保でき

るか

(3) 対処：精度に応じて対処すべきことは何か

また、その費用は

(4) 運用：予測を行うための運用体制はなどをもとに(A)~(E)の中から優先すべき事項を決めていく。

なお、(4)運用は見落としがちだが重要な要素である。いったん、予測モデルを含めたシステムを開発すれば、予測値が毎日自動的に得られることから、システム利用者がシステム開発者との契約を完了してしまうことがある。しかし、例えば回帰分析を予測モデルに使用し、前日の実績データが入るたびに係数を再計算するモデルを構築していた場合、手を加えないと正確性が徐々に落ちてきてしまうことがある。このときに再構築を依頼しようにも、過去の開発者がすでに存在せず、引継ぎも満足に行われていなかった場合にはシステム自体作り直しという悲惨な事態が待っている。

よって、予測モデルは開発後の運用体制まで考慮に入れた構築を行う必要があり、もし、OR実務者がシステム利用者とシステム開発者の仲介役となっており、運用体制が脆弱な場合には(D)持続性を優先させた予測モデルの開発が必須となる。

本稿では、以降(A)、(C)、(D)に関して具体例を取り上げていくこととする。

4. 予測の正確性

4.1 正確性の定義

ところで、正確性とはどのように定義されるものであろうか。いま、 n 期間予測を行い、予測値 F_i と実績値 D_i の差異を e_i とすると

$$(a) \sqrt{\sum_{i=1}^n e_i^2}, (b) \sum_{i=1}^n |e_i|, (c) \sum_{i=1}^n |e_i/D_i|,$$

などが、モデルを評価するうえで、一般的に使われる指標である。

(a)-(c)の指標を踏まえ、以下の問題を考えよう。いま、ある実在するデータをもとに構築した予測モデルA~Dに関して、予測値と実績値が1-10期間で、表1の通りであった。このとき、どのモデルが優れているといえるだろうか。

先ほどの指標(a)-(c)で比較を行うとモデルA~Cのいずれかがよい結果となる。ただ、そもそもその指標のみでモデルを評価して良いのであろうか？

最初の問題を思い起こすと、供給量の予測がずれた場合には供給上支障が発生する。よって、もし実績と予測の差で供給上支障が出る数値以上があるのならば、

表1 予測モデルの比較

期間	実績値	予測値			
		A	B	C	D
1	133	134	132	154	122
2	156	153	158	151	145
3	153	161	153	156	143
4	158	154	155	154	145
5	160	153	156	162	149
6	161	156	153	160	149
7	150	158	154	150	136
8	151	134	161	145	141
9	155	151	134	149	141
10	154	155	151	154	142
a)		22	26	24	38
b)		58	56	48	118
c)		61%	60%	58%	88%

表2 d)による予測モデルの比較

指標	A	B	C	D
d)	17	21	21	14

そのモデルは使えないことを意味する。よって、この場合はまず

$$(d) \text{Max}(|e_i|, i=1, \dots, n)$$

が最優先の指標となり、例えば20以上の場合には支障が出るとすると、モデルB・Cは使えない。

このように、指標を定めるときには、予測が外れたときに誰に何が起こるかを定量的に算定することが多い。例えば、最初の問題において、工場は翌日の計画量と実使用量が±10%以上乖離した場合には、ガス製造者にペナルティを支払わないといけない契約であったとしよう。

このとき、工場にとっての予測モデルの評価は、ペナルティ単価を α とおき、

$$(e) \sum_{i=1}^n \alpha e_i$$

$$e_i = \begin{cases} D_i - 1.1F_i & D_i > 1.1F_i \\ 0 & 0.9F_i \leq D_i \leq 1.1F_i \\ 0.9F_i - D_i & D_i < 0.9F_i \end{cases}$$

となる。また、定量的に出せない場合には評価項目を一覧に示すなりして判断する。

このように、予測モデルを構築する際には、正確性を議論するための定量的な指標の作成というのが重要な要素である。

4.2 予測と意思決定

続いて表1のモデルDについて言及しよう。モデルDは、常に実績値 > 予測値であり、適当な補正項を与えるとさらに良い結果となるものである。これは

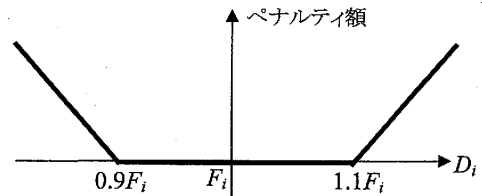


図2 (e)におけるペナルティ額

前年の結果をもとに当年の予測を実施するモデルなどで、モデル構築当時は景気減退傾向だったが、運用局面で景気上昇局面に入った場合などで発生することがある。

では、モデルDは使えないのだろうか。もし、予測値をそのまま運用に使用する場合ならば即時にモデルを作り直すべきであろう。ただ、もし意思決定に際して予測値を必ずしもそのまま使用しない場合、例えば意思決定者が存在し最終的な値を決定する場合は、意思決定者に判断を委ねる手段もある。

意思決定者は、予測値に対して責任を持ち、強いては自らの評価につながることを意味する。もし、感覚的に補正を行い、それで合うという結果が出ているのであったら、即時にモデルを再構築するのではなく、ある程度の期間までは、モデルDを使用し続けることを選択するであろう。現に、表2で(d)を基準とした場合にはモデルDが最善の結果と出ており、この状況では使用し続けるであろう。

それならば、モデルDの中に補正項を加えればよいのでは、と考える読者がいることだろうが、補正項の数値が曜日や月で波打つことがあることから、意外と難しい。

以上より、正確性の評価に際しては、予測値が業務上どのように使われ、かつ意思決定にどのように反映されていくのかという点を意識して検討する必要があることが分かる。

4.3 予測の限界と対処

予測モデルを構築し、正確性の指標を作成し評価を行ったとき、自らコントロールできない要因により予測モデルの正確性が著しく低下していることに気付くことがある。

いま、当年4月から毎月のガス販売量¹を1年分予測する場合を考えよう。

図3に東京ガスの2008年度における月間平均気温と家庭用月別販売量の関係を示すが、ガスの販売量は

¹ 使用量とはほぼ同義である

販売量(億 m³)

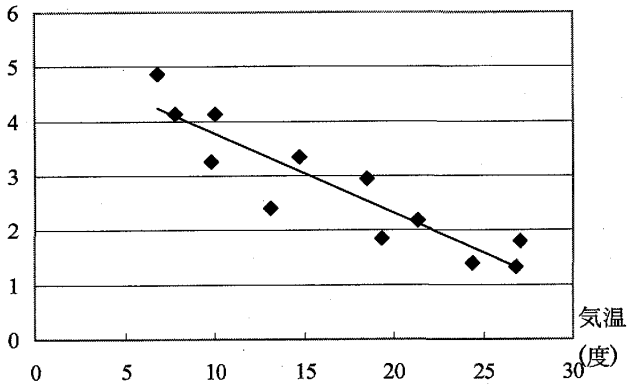


図3 気温-家庭用月別販売量の関係

気温に依存することが分かる。これは、冬になると暖房を使用するうえに、お風呂に入るために低水温である水を温めること、また、夏になると水温が冬よりも高いので、水を温める際に使用するガスが少なくて済むことによる。

よって、ガス販売量を予測する場合には気温や水温を変数として取り入れることになるが、そもそも気温自体が正確に予測できるものではないため、設定した気温と実績気温のずれが、そのまま使用量の誤差につながる。図3を見ると、ガス販売量は1度あたり約1,500万 m³/年変動することから影響は大きい。

ただ、気温はコントロールできなくても、収益はコントロールできる。図3よりガス会社は気温が高くなるほど収益が減ることがわかるが、一方で気温が高くなるほど収益が増える業種が存在する。ということは、気温に応じて収益分を授受すれば安定化ができるということになる。

そこで生み出されたのが、天候デリバティブである。本稿では、表3に東京ガスと東京電力の契約に関して記載するが、例えば、ある日の気温が25度の場合、指標と基準気温の差が1度であり、400万円を東京ガスから東京電力へ支払うことを意味する。この結果、図4に示すとおり、契約により24度から28度までの収益が安定することができる。

このとき、表3の契約内容では

- 1) 基準気温をどこにおくのか
- 2) 傾きをどこにおくのか (0.1度超えるごとに発生する金銭授受額は幾らか)
- 3) 上下限を設けるか、設ける場合の気温は

を決定する必要があるが、OR実務家による分析が必要不可欠となる。

また、収益は必ずしも気温のみに依存するわけでは

表3 東京電力と東京ガスの天候デリバティブ契約[2]

対象期間	平成13年8月1日～9月30日(61日)
指標	気象庁大手町地点の日平均気温
基準気温	26度
金銭授受内容	<ul style="list-style-type: none"> ・指標と基準気温の差が0.5度以下の場合授受は発生しない ・指標と基準気温の差が0.5度以上2度以下の場合、0.1度を超えるごとに80万円授受が発生する ・指標と基準気温の差は2度を上限とする

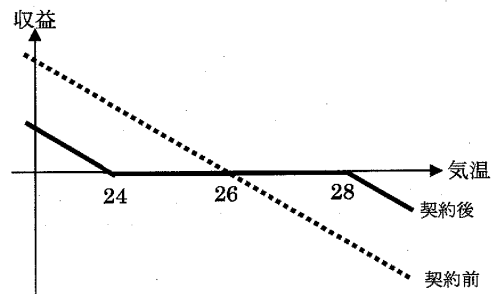


図4 東京ガス収益(イメージ図)

なく、諸外国より輸入する原料価格の変動、大規模プロジェクト建設による投資増など様々な要因がある。このような複雑な要因が密接に関連する中で、天候デリバティブを使用することにより、どこまで収益が安定するかを適切に定量評価する必要がある。

5. 予測の納得性・持続性

4.3節で販売量の予測を行うときに、別のモデルで予測した気温を説明変数として使用するモデルを提示したが、需要予測を行ううえで、予測モデルを組み合わせ、ある説明変数が別の予測モデルにより作られた値ということがある。

いま、ガス会社が所有すべき最適設備構成(製造所数、およびタンク能力)に関して考えよう。そのときに、事故発生時の対処などをはじめとしたリスクをすべて含めていくと際限がなくなることから、「何年かに一日発生する」需要に耐えられるよう設備を構築しようという考えがある。ガス会社により所有する設備も異なれば、供給オペレーション手法も異なるため5年、10年、20年など企業によって最適な数値が選定されるが、本稿では5年と定める。ちなみに、「5年に一日」を超過した需要が発生した場合には供給支障がおこるのでは? という不安に思う読者がいるかもしれないが、お客さまに使用抑制を呼びかけるなり、高コストなオペレーションを行うことで対処できるとご理解いただきたい。

では、「5年に一日発生する」需要とはどのように作ればよいのだろうか。例えば過去の実績気温と需要を使用しシミュレーションを行うことで算定する方法がある。しかし、欧米諸国のガス会社が公表している情報を見ると、シミュレーションを使わず、5年に一回発生する最低日平均気温²を定め、その気温に見合う需要を作成ことが多いようである。これは公表するという点から、第三者が分かりやすくかつ納得性のある方法を取っているといえる。

では次に、「5年に一回発生する日平均気温」とはどのように予測すべきだろうか。ここで担当者が経験する一つの例を挙げることにしよう。

まず、「過去5年で最低だった気温」とする方法がある。このとき、2008年の設定値は図5により2003~2007年の最低気温である0.5度(A)となるが、2009年の設定値は1.3度(B)となり、「持続性がないね」といわれる。

次に、年ごとの最低日平均気温を過去40年分使用し、正規分布を当てはめ下位20%点である0.8度を設定する。しかし、このときは得てして「温暖化・ヒートアイランドの考慮は」といわれる。

そこで、図5のとおり回帰分析を行い、1年で0.029度上昇するという温暖化傾向を入れた形で気温を補正し、得られた1.4度を新たな数値と設定する。そうすると今度は「2003年は0.5度が最低だったよね」といわれる。そうやって、堂々巡りに入っていく…³。

過去の気温をもとに「5年に一回の気温」を予測するモデルは、

- ・ 使用する年数 (10年か、20年か、40年か)
- ・ 使用する月 (12~3月か、1~2月か)
- ・ 各年で抽出するデータ数 (月別か、日別か)
- ・ 分布の当てはめ：気温に対して当てはめる分布 (正規分布か極値分布かなど)
- ・ 最大需要が発生しない休日の除去有無
- ・ 異常気象の定義および外れ値としての除去有無
- ・ 温暖化傾向を考慮した気温補正有無

などをどのように考慮するかであり、組合せは多岐にわたる。ただ、ここで重要なのは、モデルの妥当性を統計学的見地から議論することではなく、誰もが了承する納得性のあるモデル、かつ長期的に使用可能な持

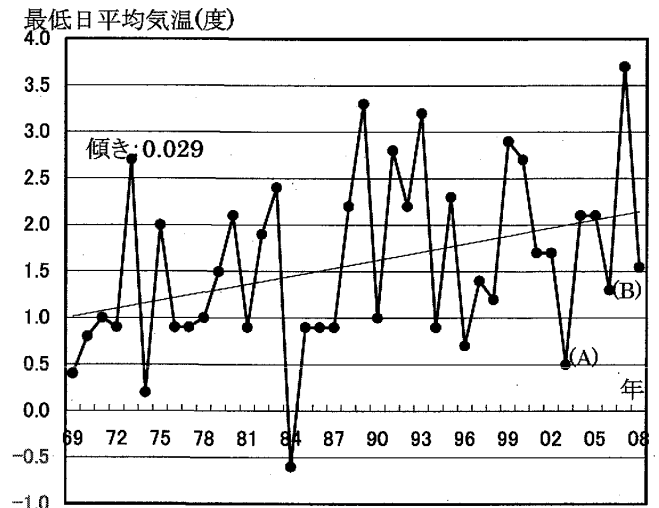


図5 年-最低日平均気温の関係

続性のあるモデルを構築することである。

まず、企業の中に、需要に影響を与える要因に関して、一言もの言える人は、理論的ないしは経験的に相当数存在するという点を前提に、背景が異なる人すべてが納得するようなモデル構築を考える必要がある。必要とされる正確性を担保するのはもちろんだが、ある程度の質問に答えられるようでないと、そのモデルは使えない。

また、毎年モデルを変更していると、恣意的にモデルを作っているのではないかと疑われ、強いてはモデル構築者自身の信用を失うことがある。その点から、少なくとも数年は使用可能な持続性のあるモデル構築は必須といえる。

なお、エネルギー業界のみならず「何年に一回発生する(夏期・冬期)日平均気温」を作る企業は多いのではないと思われる。ぜひ、どなたか持続性・納得性のあるモデル構築をしていただければ幸甚である。

6. おわりに

以上、事例をもとにOR実務家が関与する業務について述べてきた。需要予測業務とは単なる当てはまりの良いモデルを構築する業務ではなく、(1)目的を明確化した後に、(2)予測に与える要因に関し、自社で対処可能/不能に分解したうえでモデルを構築し、(3)可能な限り不確実性を除去し、(4)長期にわたり活用される状況を構築していく業務かということがお分かりいただけたら、筆者として嬉しい限りである。

なお、(B)柔軟性に関して具体的に上げなかったが、筆者の経験則では、発生都度モデル自体を作り直すのが現状ではなかろうか。ただ、そのためには過去

² 正確には温暖度日

³ 年こそ異なるがすべて実話である

のデータが必要であり、たとえ当初構築したモデルで使用しなかったデータであっても保存する仕組みは構築しておく必要はある。

最後に、筆者は本稿で述べた予測のほかに製品の出荷予測なども実施したことがあるが、需要予測業務は本当に奥が深い。業種が違えば、予測手法のみならず予測自体の考え方が全く違うかと思われるので、ぜひ

機会があれば研究発表会などで意見交換をさせていただければ幸いである。

参考文献

- [1] 春日井博：『需要予測入門』，日刊工業新聞社，1967.
- [2] 樫尾博，前田史朗：「天候デリバティブ市場日本でも年々活発化」，『エネルギーレビュー』，46-49，2002-10.