

ORのロジスティクスへの適用

黛 登志雄

1. 取り組みの概要

当社では、90年頃から統計分析やORの手法のロジスティクス領域への適用を模索し始めた。

ロジスティクスの分野は製造分野などと異なり、その活動を定量化したり定式化することが困難な場合が多い。その理由のひとつは、ロジスティクスではその時々で処理（輸送、入出荷、流通加工等）する製品の品種や物量が大幅に変化するのが通常であり、分析にあたってはこうした波動や分布を十分に反映しなければならない点である。ふたつめの理由は、ロジスティクス活動は全般的に人にたよる部分が多く、日々のオペレーションは各人のノウハウや状況判断によりコントロールされていて、単純なルールやロジックで表現することが難しい点である。このためロジスティクス活動の評価や分析を、単に机上や理論の世界だけではなく、真に実践的なレベルで行うためには、個々の問題の特質をよく見極め、キーとなるパラメーターやルール・ロジックをよく吟味して分析モデルに組み込むことが大事であると感じている。

当社はこれまで主として以下のような取り組みをしてきている。

これまでの取り組み

- 1) 多変量解析を活用した物流原価の活動（アクティビティー）別の切り分けと活動単位（コストドライバー）の特定
- 2) 混合整数計画法による日本の消費者向け配送センター立地の検討

まゆすみ としお

ソニー株式会社 ロジスティクスセンター

〒141 品川区北品川6-7-35

(連絡先 E-mail : mayu@ilg.sony.co.jp)

- 3) 離散系シミュレーションを活用した配送センターオペレーションの設計・評価
- 4) 部品調達～生産～販売までのサプライチェーンにおける、販売～ライフエンドまでの在庫量・オーダー充足率と利益率の評価

2. 混合整数計画法による日本の消費者向け配送センター立地の検討

このような当社の取り組みの中で、今回は混合整数計画法を用いた国内配送センター立地の最適化について若干ご紹介したいと思う。これは、当社の日本国内の配送センター立地を再検討するために行われたものである。技法的には非常にベーシックな物流経路の最適化問題（輸送コスト最少化）であり、混合整数計画法を用いて解を模索した。計算量が膨大となり最適解は求められなかったが、モデルをいくつかに分割し最適近似解を得ており、またこの種の検討においては近似解でも有効であると考えている。

(1) 物流ネットワーク最適化について

物流ネットワーク中で発地（Source）から着地（Sink）まで貨物を送るに当たり、どのようなルートを通過させればコストやサービスを最適化できるかを問題とする。（図1参照）

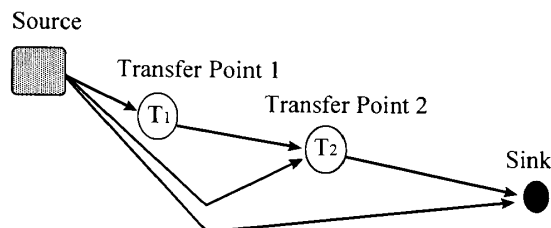


図1 Logistics Network

例えば Source A から Sink B へダイレクトに貨物を送ることも考えられるし、途上に2つの中継ポイント T 1, T 2 を開設し複数の Source から Sink への貨物を集約し中継ポイント間での高効率の幹線輸送を行

うことも考えられる。

当社の日本のコンシューマー向けの商品配送を考える場合、各 Source は国内外の工場であり、各 Sink は国内各地のお客様と考えることができる。Transfer Point 1 は、複数の工場で生産された商品の貨物集約センターであり、Transfer Point 2 はお客様から注文された全ての商品を指定された日時にお届けするための配送センターである。

各工場から各地のお客様に各工場の生産品をそれぞれ必要なだけ最も効率的にお届けするには、一体日本のどこに配送センターを置き、またそれぞれの配送センターはどの地域に対して配送すべきか。また、同時に貨物集約センターはどのような場合に有効なのか、立地はどこが良いのか。こうした疑問に対し定量的な回答を得ようと試みた。

ここでは効率性を評価するパラメータは輸送コストとし、これを最小化するケースを見出すことを目的とする。

(2) コスト関数の線形関数化

混合整数計画法を用いてコスト最小化を行うにあたってコスト関数の定義を行う。通常ロジスティクス領域でのコスト関数は決定要素の量（扱い物量）が増加するに従い単位当たりのコストが逓減するカーブを描く。また決定要素の量がさらに増加するとある時点から単位コストは一定となるか増加を始める場合が多い。このため、単純な1次式でコストを扱くと現実との乖離が大きくなる。この点を考慮し、決定要素の量をいくつかの区間に分けて各区間ごとに別々の1次式で近似し、コスト関数を1次式の組合せで表現している。

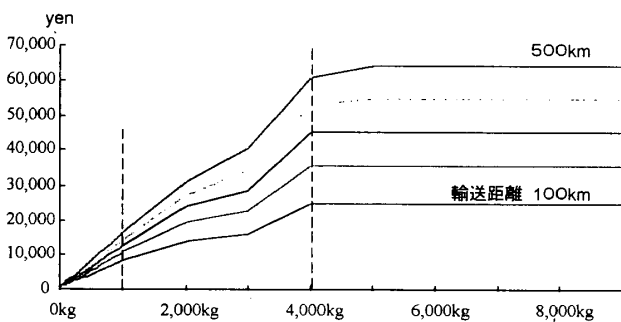
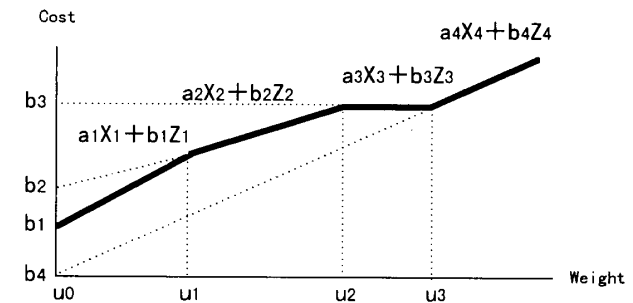


図2 輸送コストの実勢（輸送距離別）

ここでは、貸し切りトラックの運賃料金表（トラックの大きさや走行距離による料金、例：10トン車1台で100km運ぶと4万円）と特別積み合わせ運送の運賃料金表（荷物の重さと運送距離による料金、例：50kgの荷物1個を100km運ぶと1000円）を組み合わせたものが平均的な日本での輸送原価構造を表わしていると考え、

適用することにする。これを距離別にグラフ化すると、グラフを3つ程度に区分することで線形近似できることがわかる。（図2参照）

輸送物量9トン以上については9トンでの単位当たりコストが一定して続くと考え、このように合計4つの区間に分割することで、これら4つの線形関数から得られるコストと本来の（線形化前の）コストで（一部特別な距離・物量を除き）大きな差異は発生しなくなる。（図3参照）



各輸送ルートごとに流す物量により該当のレンジの関数が適用されるよう定式化
 $Cost = a_i X_i + b_i Z_i \quad (i=1, 2, 3, 4)$ 制約式:
 $X_i = \text{輸送物量}$ $u_i Z_i \geq X_i \quad (i=1, 2, 3)$
 $Z_i = \begin{cases} 1 & X_i > 0 \\ 0 & X_i = 0 \end{cases}$ $u_{i-1} Z_i \leq X_i \quad (i=4)$
 $\sum Z_i \leq 1$

図3 コストの関数化（輸送費は輸送距離別に関数化）

より多くのレンジに区分することでより正確に本来のコストを反映する線形関数をつくることができるが、これによる区分の増加が変数・制約式を増加させ、解を得るために膨大な時間をかけることになりかねない。このため許される精度内でできる限り区分を少なくしておく。

(3) 目的関数と制約式

目的関数や制約式の定式化はオーソドックスに行っているが、計算量を減らすために特に整数変数を最小限に押さえるよう留意している。本問題での整数変数は、上記のコスト関数を目的関数として表現する際に、 $Y = aX + bZ$ ($X > 0$ ならば $Z = 1$, $X = 0$ ならば $Z = 0$) と記述している点がある。（図3参照）また、各 Sink（お客様）に対して唯一つの Transfer Point 2（配送センター）または Source（工場）が対応するとの制約を置くケースが多く、この定式化にも整数変数を用いている。これは複数の商品をお客様に届ける場合、ある1つのセンターで注文されたすべての商品を荷揃えして同時に届ける必要があることを意味する。（図4参照）

(4) 部分モデルによる解法

混合整数計画法では整数変数の数が増えると計算

量が非常に多くなる。このために現実的な時間の範囲内で最適解を得るのは難しい。本問題では Source と Sink は固定しており経由地やルート最適化を求めていることもあり、制約式を満たす満足解が最適解の周辺に密集してしまうようである。この場合逆に言えば、特にモデル化の精度を考慮すると、ある程度最適解に接近していれば満足解でも十分と考えられる。

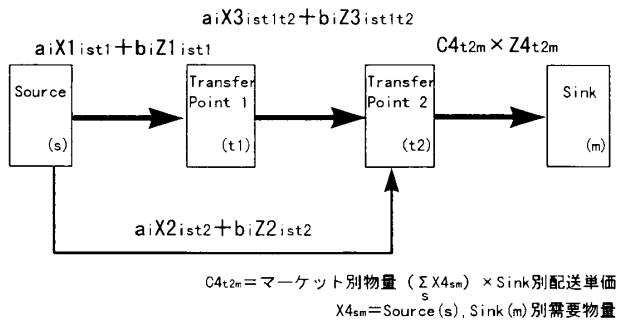


図4 目的関数

目的関数や制約式は、条件やコスト関数を与えると自動的に生成するようなプログラムを作っているため、生成にはそれほど時間を要しない。このために、まずは比較的理想的に近いモデルにもとづく定式化をしておき、目的関数の変数のうちいくつかを固定して実質的な変数の削減を行いながら、計算結果の分析を行った。どの変数を固定するかにより、さまざまな部分モデルが作成できる。比較的短時間で計算できる量の部分モデルの解を求めながら、よりよい部分モデルを模索して行く取り組みを遺伝的アルゴリズムなどにより実現することも考えられるが、この問題については前述のように現実的には満足解でも最適解と大きくかわらないために、これ以上の最適解追求の必要はないと考えている。

(5) 結果

当社の製造工場でシミュレーション用データの入手が可能な20工場を Source に設定し、Sink を日本の47都道府県の県庁所在地としモデルを作成した。貨物集約センター (Transfer Point 1) 候補を宮城県、群馬県、神奈川県、愛知県の4ヵ所とし、配送センター (Transfer Point 2) 候補を北海道、宮城県、群馬県、東京都、神奈川県、愛知県、大阪府、広島県、香川県、福岡県の10ヵ所とする。この場合、5000ほどの変数のモデルとなる。このモデルをそのまま混合整数計画法で解こうとしても最初の満足解を見出すのでさえもかなりの時間を要する。このため先に述べたように部分モデルに分割して計算を行う。

例えば、各 Source ごとに Transfer Point 1 をどれ

か1つに固定する。この場合実質的な変数は2000ほどまで減少する。また、ある一部の Sink に対する Transfer Point 2 をそれぞれどこかに固定する。こうした試行を繰り返すことでより最適解に近い満足解を模索した。

この結果、10ヵ所の配送センター (Transfer Point 2) 候補のうち3ヵ所は使用されず、残りの7ヵ所から各 Sink へ配送する場合に最も輸送コストが低いとの結果を得た。また、各 Source から Sink へのルートについて貨物集約センター (Transfer Point 1) を経由すべきか、ダイレクトに配送センターへ送るべきかについても同時に解を得た。

この結果から得られた解とこのモデルから整数の制約を外して得られる線形計画法による最適解との差異は約5%であった。つまり、今回の満足解と真の最適解の差は最大でも5%以下であり、前提としたコスト関数や扱ひ量等の精度を考えると十分なものと言える。

結果的には満足解での輸送コストは、現状の私どものロジスティクスネットワークに比べて約5%低かった。今回の評価では、扱ひ物量の変動要素が加味されおらず、平均的な値を使用している。また、現実の輸送コストではそれぞれの固有のコスト要因も多い (輸送コストの地域格差、輸送ルート固有の状況一往復貨物の有無、輸送業者との契約形態、自家トラックの有無、等)。こうした点を考えると5%程度のコスト差を実質的な差異としてとらえることはできない。今回のように日本の標準的なトラック輸送のコスト関数の下で、当社の製品のお客様への供給を行う際には、配送センター立地を変化させてもあまり大きな輸送コスト変化はないようである。

今後も私どもをとりまく環境変化に合わせてこうした評価を定期的に行い、より効果的な手法を開発しながら、模索を行って行きたいと考えている。

3. 今後の取り組み

今回ご紹介したような基本的な物流経路の最適化問題でさえ、ベーシックな手法では完全に解くことができない。このため、ヒューリスティックな手法を併用せざるを得ないが、どんな手法をどのように適用すべきかは評価したい問題の個々の性格に大きく依存してしまう。しかし、個々の問題に対する効果的な手法をそのつど模索しているのでは、あまりに多くの時間が必要となってしまふ。

近年のロジスティクス活動においては、企業体や組

Computer Today

偶数月 18日発売 / 本体 905円

5月号・特集

データベース研究最前線

— 高度データベースプロジェクト —

「高度データベース」プロジェクトの概要 / 高度ネットワーク環境とデータベースシステム / 協調処理のためのデータベース / モバイルオブジェクト・コンピューティングとデータベース / 4次元時空間データベースのためのブロックデータモデルの提案 / 動画データベース : 内容記述とコンテンツによる構造化 / データベースのための知識発見 / マルチメディアデータベース最前線 / 次世代ディスクアレイアーキテクチャ

月刊誌

数理学

毎月 20日発売 / 本体 952円

6月号特集

結合振動子系のダイナミクス

緒言 同期と非同期

台所で遊ぶ結合振動子の実験

結合振動子による真性粘菌の情報処理

結合振動子と脳の情報処理

ダイナミックリンクの位相同調理論による理解

蔵本 由紀

青西 亨・倉田 耕治

非局所結合と時空カオス

振動子集団における引き込み相転移

結合振動子系の新しい運動状態

オンオフ間欠性とダイナミカルガラス

多重アトラクター系の解剖に向けて

岡村 実奈・吉川 研一

矢野 雅文・三浦 治己

山口 陽子

蔵本 由紀

岡村 実奈・吉川 研一

矢野 雅文・三浦 治己

山口 陽子

蔵本 由紀

青西 亨・倉田 耕治

蔵本 由紀

大同 寛明

藤坂 博一・山田 知司

山田 知司

金子 邦彦

別冊・数理学

B5・本体 1857円

現代物理の展開 — 発見と創造のドラマ

Ⅰ. 序の章 [現代物理の風景]

Ⅱ. 前期量子論 [原子核の発見 : ラザフォード / 黒体放射をめぐる : プランク / 排他律とパウリ 他]

Ⅲ. 量子力学 [量子力学の創造 : ハイゼンベルク / 波動力学の創造 : シュレディンガー 他]

Ⅳ. 場の理論 [核力の場の量子論 : 湯川秀樹 / 無限大を風呂敷に包む : 朝永振一郎 / 物理学と色のイメージ 他]

Ⅴ. 物性論 [物性論の進展 / 超流動 : ランダウ / 超伝導のBCS理論 : バーディーンほか / 量子ホール効果 他]

Ⅵ. 力の統一理論 [パリティ非保存の発見 : リーとヤン / 素粒子のクォーク模型 : ゲルマン 他]

Ⅶ. 相対論と宇宙論 [相対性理論 : アインシュタイン / ビッグバン宇宙論とジョージ・ガモフ 他]

サイエンス社

〒151 東京都渋谷区千駄ヶ谷1-3-25 ☎(03) 5474-8500

インターネットホームページ

<http://www.bekkoame.or.jp/saiensu>

*表示価格は全て税抜きです。

織を超えて素材や資材・部品から最終製品が消費されるまでのトータルサプライチェーンの中で活動をマネージし、最適化を図ってゆくことが重要となっている。これにともない、我々が評価すべき問題はさらに複雑化する傾向にあり、こうした問題を合理的に扱える手法が体系的に確立されることが求められている。併せて企業や組織を超えた分析や評価を行える場も必要であろう。例えば、配送センター立地問題においても、従来のように一企業や組織内で個々に捉えるのではなく、トータルサプライチェーン全体を対象として評価し、最適値を模索すべきである。目的関数もコストだけではなく、在庫量、納品リードタイム、オーダー充足率などが重要となるであろう。また、トータルとしての最適値は往々にして個々の企業や組織にとっては逆にマイナスとなる場合があるために、トータルの最適化により得られたメリットを個々の企業や組織に効果的に配分する手法も考慮すべきである。

当社も現在このような観点での研究を開始している。まだまだ模索しはじめた段階であり試行錯誤を続けているが、同様の課題をお持ちの方がおられるならぜひとも意見交換をさせていただければと願っている。