

OR 技術を活用したコンサルティング事例—企業統合に伴うロジスティクス・ネットワーク最適化—

大西 真人

本稿では、OR 技術を活用したコンサルティングを、事例を通してご紹介する。取り上げる事例は、3社の企業統合に伴いロジスティクス・ネットワークの最適化を試みたものである。3社の統合を機に、工場と顧客の割当を再構築（最適化）しようという取り組みからスタートし、生産工程まで考慮したロジスティクス・ネットワーク最適化に至るまでの過程を記す。最後に、OR 技術を活用したコンサルティングを実践するにあたっての筆者の所感を記す。

キーワード：コンサルティング、ロジスティクス・ネットワーク、線形計画法

1. はじめに

弊社ではOR技術の研究開発を行うとともにそれらを活用したコンサルティング業務を行っている。本稿では、ある顧客に対して行ったコンサルティング事例を通して、OR技術を活用したコンサルティングの実際をご紹介したい。

顧客に対してOR技術を活用したコンサルティングを行う際の現場の雰囲気は少しでもお伝えできれば幸いである。

2. 背景

同種の商品を製造・販売している3社が経営統合し、一つのグループとなることとなった。そのメリットを活かすため、工場や生産ラインの統廃合を含めた合理化を定量的に検討することとなった。そこでは、日々のオペレーショナル・レベルの意思決定ではなく、ストラテジック・レベルの意思決定が必要となる。

以降、3社をA社、B社、C社と呼ぶこととする。また、3社をジュースを生産・販売している会社とする。我々にコンサルティングを依頼していただいたのは、3社の中心となるA社である。

3. 初期段階：拠点割当最適化

3.1 初期要件

A社内で経営統合後の統廃合を検討したところ、「どうも線形計画法なるものが役に立つらしい」とい

う見解に辿り着いた。しかし、本当に線形計画法でできるのかどうか、できるとしたらどのようにしたらよいかまではわからず、我々にご相談をいただいた。

図1は、ご相談いただいた当初にA社から提示された図に筆者が少々手を加えたものである。

「今までは3社が別々の会社であったから、中国地方の1工場のみを持つB社の需要家が北海道にいたら、その工場から北海道まで輸送するしかなかった。しかし、今後はA社の持つ関東地方の工場から輸送

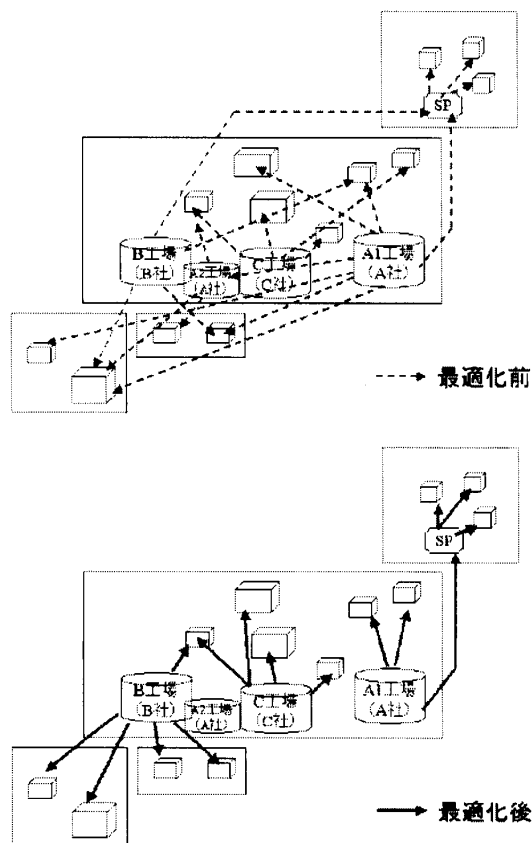


図1 拠点割当最適化イメージ

おにし まこと
株式会社富士通総研
〒105-0022 港区海岸 1-16-1

表1 使用する記号

記号	意味
O	工場の集合
S	ストックポイントの集合
D	需要家の集合
s_i	工場 i の供給可能量上限
s_k	ストックポイント k の供給可能量上限
d_j	需要家 j の需要量
c_{ik}	工場 i からストックポイント k への輸送単価
c_{kj}	ストックポイント k から需要家 j への輸送単価
c_{ij}	工場 i から需要家 j への輸送単価
x_{ik}	工場 i からストックポイント k への輸送量 (変数)
x_{kj}	ストックポイント k から需要家 j への輸送量 (変数)
x_{ij}	工場 i から需要家 j への輸送量 (変数)

した方が効率的であろう。このようにして工場と需要家の割当を最適化したいのだが、工場の生産能力には上限があり、それ以上の供給はできないため、すべての需要家を最寄の工場に割り当てればよいというものではない。輸送費が最も安くなる割当はどうなるだろうか。」

これが、いただいたご要望であった。本誌の読者であればおわかりであろうが、これは「古典的輸送問題」と呼ばれる、線形計画法（以降、LPと記す）の典型的な応用例である。例えば、ORの入門書である文献[4]でもLPの応用例として紹介されている。A社が「線形計画法」というキーワードに辿り着いたのも納得できる。

こちらからは次のような質問をした。

「商品の種類は何種類あるのですか？」

「商品の種類は区別する必要はない。輸送の総量で考えて最適化してほしい」

「それでは、リンゴジュースを欲しいと言っている需要家にメロンジュースを届けてもよいということになってしまいますよ」

「…」

その他にも、数理モデルを作る際に考慮した方がよいと思われる点をいくつか指摘したのだが、一度にたくさんを指摘しすぎてしまったせいも、A社の方は混乱してしまったようで、「いいから最初に行ったとおりのことをやってください」ということになってしまった。

そのため、まずは「拠点割当最適化¹」として、上記古典的輸送問題²に取り組んだ。

3.2 数理モデルの構築

構築した数理モデルは次のとおりである。使用する記号については表1を参照せよ。

目的関数

$$\sum_{i \in O, k \in S} c_{ik} x_{ik} + \sum_{k \in S, j \in D} c_{kj} x_{kj} + \sum_{i \in O, j \in D} c_{ij} x_{ij}$$

→最小化

制約条件

$$\sum_{i \in O} x_{ij} + \sum_{k \in S} x_{kj} \geq d_j \quad \forall j \in D$$

¹ 定式化を見れば分かるように、一つの需要家へ複数の拠点から輸送される可能性もあり、厳密に言えば「割当」ではない。

² 一部、「ストックポイント」という概念があるため、こちらも厳密に言えば古典的輸送問題ではなくネットワーク型ということになるが、「古典的輸送問題に毛のはえた程度の問題」といえるだろう。

$$\sum_{j \in D} x_{ij} + \sum_{k \in S} x_{ik} \leq s_i \quad \forall i \in O$$

$$\sum_{i \in O} x_{ik} = \sum_{j \in D} x_{kj} \leq s_k \quad \forall k \in S$$

$$x_{ik}, x_{ij}, x_{kj} \geq 0 \quad \forall i \in O, j \in D, k \in S$$

目的関数は総輸送コストの最小化、制約条件は上から需要満足、工場の供給可能量上限、ストックポイントの供給可能量上限、輸送量の非負制約である。

モデリングおよび最適化ツールとしてILOG OPL Studio³[1]を使用し、最適解算出ツールを構築した。使用したデータは、各需要家の年間需要量、各工場の年間生産量上限である。ここでは、ストラテジック・レベルの意思決定が求められているので、日々のデータは使用していない。

構築したツールをA社に提供し、LPの基本的な教育およびツールの使用法の説明を行い、コンサルティングは無事終了、となったはずであった。

4. 第2次段階：ロジスティクス・ネットワーク最適化

4.1 追加要件

提供したツールをA社の方自身の手で動かし、その解を検討したところ、「やはり、実際に意思決定しようと思うとこれでは…」ということで、次のように多くの追加要件が示された。

- 複数製品の区別を考慮したい

³ ILOG OPL Studioはアイログ社の商標である。

- 原料（果物）からジュースを絞った時に絞り粕が生じるが、絞り粕には絞り粕の需要家が存在する
- 輸送方法が数種類あり、需要家によっては輸送方法を指定することがある
- 輸送方法によって輸送単価が異なる
- 生産には複数の工程がある
- 工場の中には一部の工程しか行えないものがある
- ストックポイントで最後の工程を行っていることがある
- 製品によって通る工程は異なる
- ラインには特定種の製品専用のものと複数種の製品で兼用できるものがある（単価は異なる）
- ある工場では初期工程を行い、中間製品を別の工場に輸送し、残りの工程を行うという選択肢も考慮したい
- 一部の工程を海外の工場で行うことも考慮したい

etc.

ポイントをまとめると、

1. やはり製品の区別は必要
2. 輸送方法という次元が必要
3. 輸送だけでなく生産工程も考慮した最適化が必要

といったところである。

4.2 実施プロセス

これらを考慮するには、拠点割当最適化という捉え方ではなく、生産と物流を統合したロジスティクス・ネットワークの最適化（文献[5, 6]等を参照のこと）という観点で捉え直す必要があった。A社にこれを説明し、ロジスティクス・ネットワークの最適化を目指す第2次プロジェクトを起こすことを提案し、受け入れていただいた。

まず、これまで考慮されていなかった生産プロセスを明らかにした（図2を参照のこと）。これにより、原料から製品になるまでの道筋が明確になった。

さらに、各工場の生産ラインをモデルに組み込み、各工場で行える工程、行えない工程を明確にした。ここで、最終工程を行っているストックポイントは工場として扱うこととした。

これらを元に、図3のようなロジスティクス・ネットワーク（の候補）を図示し、ネットワーク・フローの最適化問題であることを理解していただいた。

工場やラインの固定費に関しては、what-if分析を採用することとし、最適化モデルでは年間の変動費の最小化を対象とすることとした。そのため、最適化モ

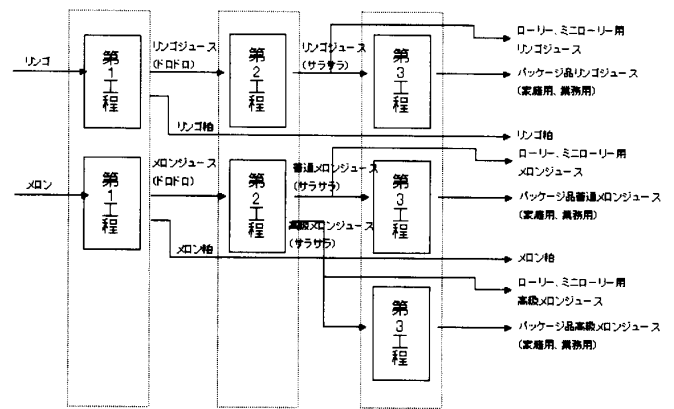


図2 生産プロセス

デルでは整数変数を用いることはなく、LPによる定式化を行った。我々としては固定費も考慮した混合整数計画問題といった定式化も試みてみたかったが、A社にとっては「ある工場を存続するか廃止するか」という重要な意思決定であり、

- 様々なところに影響を及ぼす決定であるため0-1変数としてモデルに組み込むことは難しい
 - 最適解において値が0だったからといって「では廃止しましょう」と決定するわけにはいかない
- といった理由で断念した。

「もし、あの工場を廃止したら」を、工場の生産量上限を0にすることでシミュレーションしていただき、様々な影響とのトレードオフを検討していただく形となった。

4.3 数理モデルの構築

最適化モデルで考慮する要件は次のようになった。

- コストの要素→この総合計を最小化
 - 生産コスト
 - * 各工場の第1工程
 - * 各工場の第2工程
 - * 各工場の第3工程
 - 在庫コスト
 - * ジュース用ストックポイント
 - * 粕用ストックポイント
 - 輸送コスト
 - * 第1工程から第2工程へ
 - * 第2工程から第3工程へ
 - * 第2工程からジュース用ストックポイントへ
 - * 第3工程からジュース用ストックポイントへ
 - * 第2工程からジュース需要家へ
 - * 第3工程からジュース需要家へ
 - * ジュース用ストックポイントからジュース需要家へ

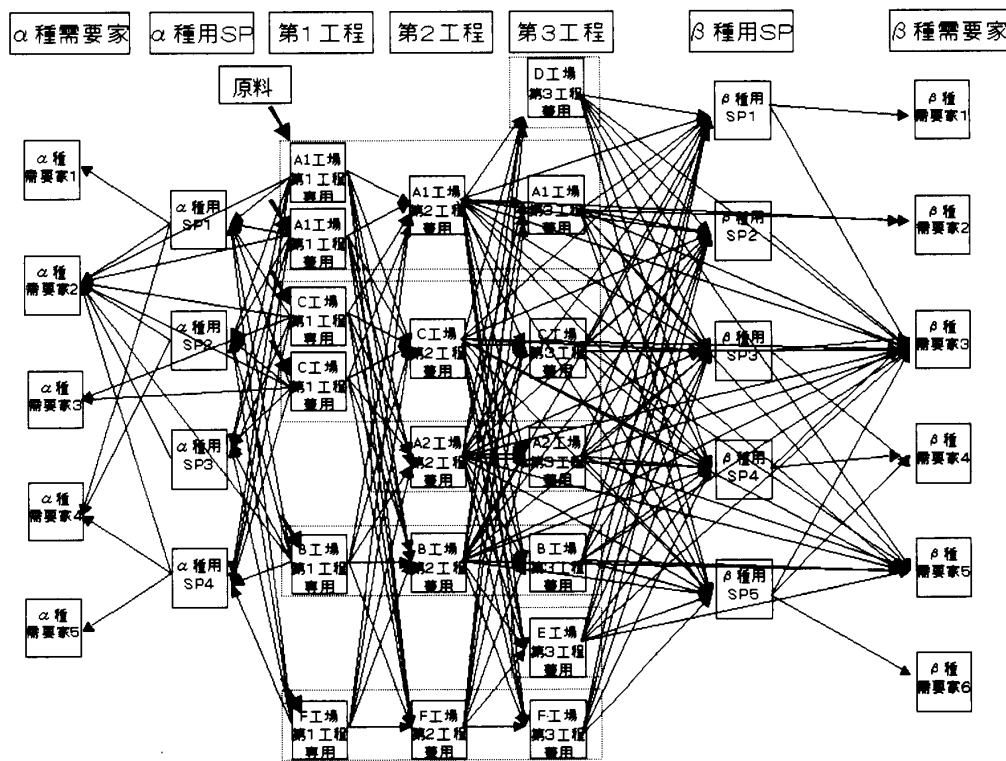


図3 ロジスティクス・ネットワークのイメージ

- * 第1工程から粕需要家へ
- * 粕用ストックポイントから粕需要家へ

● 制約条件

- 各工場の各工程での生産量上下限
 - * ジュース種専用ライン
 - * 兼用ライン
- 各ストックポイントの上下限
 - * ジュース用ストックポイント
 - * 粕用ストックポイント
- 需要家における需要満足
 - * パッケージ品ジュース
 - * バルクジュース (輸送方法別)
 - * 粕
- フロー整合条件
 - * 各工場の各工程への輸送量とその工程での生産量
 - * 各工場の各工程での生産量とその工程からの輸送量
 - * 各ストックポイントへの輸送量とそのストックポイントからの輸送量
- 各変数の非負制約

節3で4本の制約条件式で表現した数理モデルを示したが、上記要件を記述するためには、最終的に25本の制約条件式が必要であった。守秘義務の関係上、これを本稿に載せることはできないが、初期要件から

比べるといかに大きなモデルとなったかご想像いただければ。

このモデルも節3のモデル同様に ILOG OPL Studio で実装し、最適解算出ツールを構築した。これをA社に提供することにより、A社において自由にシミュレーションを行い、拠点の統廃合の意思決定に役立てる環境が整った。

検討の結果、A社はいくつかの工場およびラインの廃止を決定した。

5. プロジェクト体制

A社において、このプロジェクトが最後まで遂行された要因として、プロジェクト体制を挙げたいと思う。

本プロジェクトは大きな意思決定であったため、役員の方がリーダーとなってくださった。さらに、原料、製造、営業、物流、情報システムの各部署からメンバーを選抜してプロジェクト体制を作ってくださいました。

これは、数理モデルを構築する立場である我々にとって非常に有り難いことであった。我々が知りたい事情・要件・データについて要望を出したら、担当部門から参加したメンバーが責任をもって答えてくださった。中には、担当者でも困ることもあった。例えば、B工場 (B社) から需要家Zまでの輸送単価が必要であるが、現在は需要家ZはC社の顧客であるため、そ

んな輸送はしておらず、現在データがない、等である。

そんなときに、リーダーが強力なリーダーシップを発揮してくださり、解決策を提案してくれた。担当者にとっては骨の折れる解決策であったため、苦い顔をしていたが、翌週にはきちんとデータが揃っていた。強力なリーダーシップおよび担当者の努力に深く感謝する次第である。

6. OR 技術を活用したコンサルティング

本誌の過去の「企業事例」特集記事および企業事例交流会の内容を見ると、自社における経営・業務の改善の事例が比較的多いように感じる。我々が行っているコンサルティングという業務は他社の経営・業務改善の支援をするというのが大きな特徴といえよう。これについて感じることを記したい。

6.1 顧客はORの専門家？

コンサルティングの依頼をくださる顧客がOR・数理・最適化といった分野の専門家であることはほとんどないといってよいただろう。すなわち、顧客はこの分野の素人といえるわけだが、顧客がこの分野を理解しよう・勉強しようと考えているかは千差万別である。ぜひこのノウハウを社内に蓄積したいという顧客もいれば、そんなことは我が社でやりたくないからあなたに頼むんですという顧客もいる。

プロジェクトは顧客とともに行うものであるため、できたら勉強していただいて、ともにモデル（可能なアルゴリズムも）を構築していきたいものである。本稿で紹介したA社のメンバはLPを理解しようという意欲がある方々であったので非常に助かった。

一方で、ORの部分は一切関知しないといったタイプの顧客の場合は、作業分担と責任範囲を明確にしてから作業を開始せざるを得ない。しかし、本事例の初期要件でもあったように、顧客の要望どおりのモデルを作成したところ、顧客の本当の目標に到達しないこともありうる。この場合、顧客の部分と我々の部分を明確に分けてしまうと「仕様が悪いから結果が悪いのです。数理モデル・アルゴリズムの責任ではありません」という冷たい見解を出さざるを得ない。

このような対立関係は双方にとって望ましくないため、顧客とともにプロジェクトを進めていく方向を常に目指している。さらに、顧客にこの分野に興味を持っていただくことは、裾野を広げるという意味で、OR学会にとっても有用なことであると考えている。

6.2 顧客に理解されない時

本事例でもあったように、顧客の要望どおりのモデルでは、本来の目標に到達しないことに気づく場合がある。当然、顧客にこれを説明し、最善と思われるモデルを提案するのだが、複雑すぎて受け入れられないことがある。

こういうときに、モデル上で議論するより、出した解で議論することが解決の糸口になると考える。「ああいうことも、こういうことも考慮したモデルでないと」ということで理解を得られない場合でも、「お客様の想定したモデルでは、出てくる解はこうなりますよ。これで実用になりますか？」という問いかけにすると、顧客は不十分さを認識してくださる（こともある）。

6.3 スパイラルにモデルを精緻に

上記のように問いかけを繰り返すという方法は、粗いモデルで解を出し、スパイラルにモデルを精緻にしていく方法と言い換えられる。

この場合、各段階のモデルで精密な解法を構築していると期間がいくらあっても足りないため、これを実践するためには、モデルから解を短期間で算出するための技術が必要となる。そのためにはモデリングツール・最適化ツールの活用が有効となる。

また、この方法は、早い段階から効果が定量的に見えるという強みも持っている。最初から複雑なモデルに取り組み、どの程度の答えが出るのかやってみなければ検討もつかないということであれば、顧客はどの程度の投資をする価値があるのか判断できない。これに対し、最初は粗いモデルではあるが定量的に効果を見せることができ、効果の精度がだんだん上がっていくという方が顧客の意思決定を促しやすいと考える。

7. おわりに

「現場の雰囲気は少しでもお伝えできれば」という思いで事例をご紹介します。この事例をはじめとするいくつかの事例での経験を元に、OR技術を活用したコンサルティングにおいて感じることを記した。学問の世界と違い、「正解」が存在するわけでもなく、本稿で記した内容も、多分に改善の余地があると考えている。違った視点からのご意見・ご指導をいただければ幸いです。

なお、守秘義務の関係で、顧客名および顧客の扱っている具体的な商品を記すことができないため、一部架空の設定とした。ご容赦いただきたい。

参考文献

- [1] P. V. Hentenryck: *The OPL Optimization Programming Language*. The MIT Press, 1999.
- [2] 大西真人, 宮崎知明: 企業統合に伴うロジスティクス・ネットワーク最適化事例. 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2003 年春季研究発表会アブストラクト集, pp. 186-187, 2003.
- [3] 大西真人: OR 技術を活用したコンサルティング事例
～ロジスティクスネットワーク最適化とバッチプロセス
スケジューリング～. 日本オペレーションズ・リサーチ
学会 2004 年秋季研究発表会アブストラクト集, pp. 18-
19, 2004.
- [4] 加藤豊, 小沢正典: OR の基礎. 実教出版, 1998.
- [5] 久保幹雄: ロジスティクス工学. 朝倉書店, 2001.
- [6] 久保幹雄, 大西真人, 土村展之, 朴成浩: サプライ・チ
ェイン最適化システム. オペレーションズ・リサーチ,
Vol. 47, No. 1, pp. 5-10, 2002.