

## ロジスティクスにおける最適化ツールの開発

02003590 宇野 毅明\* 東京工業大学  
02501480 藤沢 克樹 東京工業大学  
01108010 久保 幹雄 東京商船大学

## 1 はじめに

ロジスティクスとは、原材料（または部品）調達 ⇒ 生産拠点 ⇒ 中継拠点 ⇒ 配送センター ⇒ 需要地点の物および情報の流れを計画・管理することである。非効率なロジスティクス・システムは、運搬車によって引き起こされるNO<sub>x</sub>などによる地球環境悪化、渋滞などの都市問題、物流関連費用の増大<sup>1</sup>を引き起こす。

ロジスティクスにおける複雑な諸問題を解決するためには、洗練された最適化手法が必須である。ここでは、筆者らが最近始めたロジスティクスにおける最適化ツール開発プロジェクトの概要を報告する。プロジェクトの基本方針は以下の通りである。

1. (ロジスティクス関連のソフトウェアに限らないが) 実務的な問題を処理するためのソフトウェアの多くは「動けば良い」式のデータ構造およびアルゴリズムを採用することが多い。本プロジェクトでは、大規模かつ複雑な問題を高速に求解できるように、モダンでかつ実用的なデータ構造とアルゴリズムを採用する。(たとえば、デポと顧客を合わせた「点クラス」を扱うデータ構造はk-d木<sup>2</sup>を採用する。)
2. OR的モデルでは、実務にあらわれる付加条件をモデルの簡略化のためと称して省いてしまうことが多い。本プロジェクトでは、付加条件が本質的なものか否かを吟味し、実用のために本質的であると判断されたものは全て組み込む。
3. 様々な状況に適用できるように付加条件に対して頑強なデータ構造およびアルゴリズムを設計する。
4. 付加的なデータに柔軟に対応できるようにオブジェクト指向の実装を行う。採用した言語はC++である。
5. 流行ものの（といっても数年前に流行ったもので、今では見向きもされなくなっている）アルゴリズムを使ったソフトウェアが世間にはたくさん出回っている。本プロジェクトでは、アルゴリズムは単なる流行ものでなく、対象とする問題に対して最も効率的であると考えられるものを複数用意し、適用事例ごとに選択できるようにする。
6. 設計したアルゴリズムに対して最悪値解析、確率的解析、および入念な実験的解析を行う。特

<sup>1</sup>1978年度のNational Council of Physical Distribution Studyの報告によると輸送関連費用だけでGNPの15%

<sup>2</sup>k次元d分木；Euclid空間内の点を効率的に操作できる可変バケットの概念を用いたデータ構造

に、実験的解析においては、従来のベンチマーク問題だけでなく、諸事例から抽出した実データを用いる。

対象とするモデルは、大きく分けて配送計画モデルとロジスティクス・ネットワーク設計モデルの2つであり、各々以下のコードネームを持つ。

- CORE (Comprehensive and Object oriented Routing Engine)
- COOL (Comprehensive and Object Oriented tools for Logisitcs network design)

本プロジェクトでは、アルゴリズムのコアになる部分だけを実装する。要は、CoolなCoreプログラムを作るのである!

## 2 CORE

COREプロジェクトで対象とする配送計画モデルは、以下の諸付加条件を考慮している。

1. 複数デポ
2. (ソフトな) 時間枠制約
3. 休憩時間（昼食など）の考慮
4. 異なる運搬車の種類の考慮
5. ミニ・マックス型の評価関数
6. 時間依存の移動時間
7. 多期間モデル

開発するアルゴリズムは以下の通り。

- ルート先・クラスター後法（最初に巡回セールスマン問題の解を得て、それを実行可能なルートに分割する方法。巡回セールスマン問題の解として極座標順を採用すればスイープ法になる。ちなみに巡回セールスマン問題を解く部分には(Itetated) Lin-Kernighan法を採用する。)
- GRASP (Greedy Randomized Adaptive Search Procedure; 構築法をもとにしたメタ解法。セービング法、挿入法を特殊ケースとして含む。)
- Tabu Search (改善法をもとにしたメタ解法)
- 分枝価格法 (列生成法 + 分枝限定法)
- ルート選択ヒューリスティック (一般化割当法の拡張であるlocation based ヒューリスティックのさらなる拡張。分枝価格法の拡張でもある。)

- 階層的積木法（上の諸解法を部品として設計されるメタ<sup>2</sup>解法）

幾つかの実際問題のデータの調査から、（主に欧米の）研究者たちが今までアルゴリズムの評価用に用いていたベンチマーク問題が、我が国における実際問題と大きく異なることが判明した。特に、東京都市圏の事例では、以下の3点が重要である。

1. 顧客数が多い。通常のベンチマーク問題では顧客数300程度の問題が上限であるが、東京都市圏への配送を考える場合は顧客数が600から6000件を対象にすることもある。
2. 1日の運搬車のスケジュールが複数のルート（デポを出て顧客を訪問した後に再びデポに戻る巡回路）を含むことが多い（実務家の言うところの「回転」の考慮）。
3. 時間枠が極めて狭い顧客が点在する（主に荷さばき施設のないコンビニエンス・ストアなどの店舗への配送）。

本プロジェクトで開発するアルゴリズムは、これら我が国における事例を効率的に解けるように設計されている。

### 3 COOL

COOL プロジェクトで対象にしているロジスティクス・ネットワーク（サプライ・チェーン）設計モデルとは、原料の供給点から需要点までの物（および情報）の流れを数理的に最適化を行うことを目的としており、以下のような長期的な（ストラテジックな）意思決定のための支援を行う。

1. 各製品（群）をどこで（どの工場のどの製造ラインで）どれだけ製造するか？
2. 各製品（群）をどの配送センターおよび中継拠点で保管するか？
3. 各製品（群）をどのような輸送手段（モード）で輸送するか？
4. 各顧客（ゾーン）の各製品（群）の需要をどの配送センターから運ぶか？
5. 中継拠点および配送センターをどこに新設するか？（または移転、閉鎖するか？）
6. （新製品投入や顧客の需要の変化に対応するために）どこに工場を新設するか？（または移転、閉鎖するか？）
7. どのような製造ラインをどこに工場内に新設するか？（または移転、閉鎖するか？）

代表的なロジスティクス・ネットワーク設計モデルの適用事例として、Geoffrion-Graves (1974) による

Hunt-Wesson Food, Inc. の事例[4], Brown-Graves-Honczarenko (1987) による NABISCO, Inc. の事例[2], Georgia Institute of Technology のグループによる CIMPEL (Computer Integrated Modeling and Planning Environment for Logistics) [5], Arntzen-Brown-Harrion-Trafton (1995) による DEC の事例 [1] があるが、ここでの目標は、これらの従来モデルに含まれる条件の中で必須であると思われるものを全て取り込んだ包括的モデルに、さらに環境への配慮から必須とされているリバース（グリーン）ロジスティクスを加味したものを作成することである。

モデルの求解には専用の解法の設計が必須となるが、輸送費用・在庫費用の非線形性を考慮したモデルに対しては Lagrange 緩和を利用した解法、そうでないモデルに対しては Benders の分解法を利用した解法（または Lagrange 緩和との融合による加速法である Cross 分解法）を用いる。

### 4 おわりに

本プロジェクトは、まだはじまったばかりであり、多くの協力者を必要とする。本プロジェクトに興味をもった研究者もしくは実務家の方は [kubo@ipc.tosho-u.ac.jp](mailto:kubo@ipc.tosho-u.ac.jp) まで連絡されたい。

### 参考文献

- [1] B. C. Arntzen, G. C. Brown, T. P. Harrion, and L. L. Trafton. Global supply chain management at Digital Equipment Corporation. *Interfaces*, 25(1):69-93, 1995.
- [2] G. G. Brown, G. W. Graves, and M. D. Honczarenko. Design and operation of a multi-commodity production/distribution system using primal goal decomposition. *Management Science*, 33(11):1469-1480, 1987.
- [3] A. M. Geoffrion. Better distribution planning with computer models. *Harvard Business Review*, 92-99, July-August 1976.
- [4] A. M. Geoffrion and G. Graves. Multicommodity distribution system design by Benders' decomposition. *Management Science*, 5:822-844, 1974.
- [5] M. Goeschalckx, G. Nemhauser, M. H. Cole, R. P. Wei, K. Fogan, and X. Zhang. *Computer aided design of industrial logistics systems*. Technical Report, Georgia Institute of Technology, August 1994.