

## 配送経路計画における動的エリア指向最適化

01704720 日本アイ・ビー・エム(株) ソフトウェア開発研究所 米沢 隆 YONEZAWA Takashi

### 1. はじめに

筆者らが開発を行っているIBM Vehicle Routing Planner for Windows (以下VRP)は複数の車両が多数の顧客を訪問し荷物配送する場合の顧客の各車両の割り当ておよびその訪問順番を最適化し、より少ない車両、時間で配送するように計画を立案する最適化プログラムである。VRPはエリア配送といった地理的条件にしばられない非常に効率のよい計画を立案し、出発拠点から円を描くように出発から到着までまんべんなく顧客を訪問する経路を作成する。

その一方で現場の配送計画担当者においてはエリア配送の考え方に根強いものがあり、VRPの配送計画を納得されない場合もある。これは配送計画担当者が必ずしも旧来の方法に縛られている訳ではなく、配送先が地理的にまとまっていたほうが顧客の不在や道路状況などの不確定要因に対して対応しやすいといった理由やドライバーの地の利も考慮してのことである。

しかし現場の担当者もエリアを分割した配送計画ではさまざまな問題点があることも認識されている。まず、日々の荷量が決まらない状況でエリアを分割するため日によってはエリア内の配送量に偏りがでてしまう。また、エリアをまたがって配送を行う車両があれば1台で済むところをエリアを分けるために2台で配送している場合もありえる。

このように静的なエリア分割に基づいた配送計画ではなく日々の荷量や訪問順経路まで考慮した最適化プログラムが求められていた。本論文では現状のVRPに非常にシンプルなアイデアを導入することにより、VRPの最適化の枠組みや能力を損ねることなく上記の機能を実現した。

### 2. 背景

まず、従来行われている配送計画[1]について述べる。

#### 2.1. エリアに基づかない配送

現状のVRPは全ての顧客を地理的エリア等にクラスタリングすることなく荷量や訪問時間枠制約を満たして、かつ最も車両数が少なく、総稼働時間が短くなるように最適化を行う。この方法では、車両数、時間的にも最も効率のよい計画が作成されるが、経路は拠点出発から到着までの間に一様に顧客に訪問する経路が作成される傾向にある。

#### 2.2. エリアに基づいた配送

次に従来のエリアに基づいた配送計画について述べる。

##### 2.2.1. ルート先・クラスタ後法

これは、まず全ての顧客で1つのルートを作成しその後それらをいくつかのクラスタに分割する方法である。

通常は全ての顧客を地理的条件にのみ基づき巡回セールスマン・モデルで一つの経路を作成し、その一つの経路を先頭から荷物が満載になるか稼働時間の制約になるまで分割し車両に割り当てる。

この方法では車両は地理的に隣接されたものを訪問することになるが、時間制約を考慮できない点と、最適化の度合いが低く、車両数が多くなる点が問題となる。

この方法は「ULTRAFIX」[2]に採用されている。

##### 2.2.2. クラスタ先・ルート後法

これは、まず全ての顧客を地理的条件や荷量に応じて顧客をクラスタに分類し、その後クラスタ内の顧客の訪問順を最適化する方法である。

この方法は人間が配車計画を作成する場合に通常とられる方法で、行政区画や緯度・経度等で分割する領域分割法や、荷量と地理的条件より数理計画的に分割する一般化割当法等がある。

この方法の問題点は前段階のクラスタリングで配送順という配送計画の本質である組合せ問題を一切考慮していない点である。次の段階で配送順を決定する場合に載るはずの荷物が載らなくなったり、時間指定枠の組合せで余分な車両が必要となる場合がある。

現実にはこの問題に対応するために作成されたエリアに車両を割り当て配送順を決定する際に隣接するエリア間で一部の顧客を交換するなどの修正を行う場合も多いが、元のエリアに依存しなくなることはない。

この方法は「EGプランナー」[3]等に採用されている。

以上のように、クラスタリングとルートの決定を分けるのでは根本的な問題の解決にならず、車両と顧客の対応とその訪問順を組合せ問題として最適化を行う中でいかにエリア分けも考慮するかが課題となる。

### 3. VRPの最適化

次に、現状のVRPの最適化について述べる。

#### 3.1. 目的関数

VRPでは制約に対する違反状況を表す $P$ 、使用車両数を表す $N$ 、車両の総稼働時間を表す $T$ の3個の目的関数を持ち、辞書式順序で配送計画の評価を行う。すなわち、 $P$ が小さい方が良い解で、 $P$ が同じ場合には $N$ が小さい方、 $P$ 、 $N$ が同じ場合には $T$ が小さい方を良い解と判断する。

$$P = \sum P_i \quad (P_i \text{は各車両の違反状況を表す実数})$$

$$N = (\text{使用された車両の数})$$

$$T = \sum T_i \quad (T_i \text{は車両} i \text{の稼働時間})$$

ここで、 $T_i$ は顧客の件数を $n$ とし、顧客 $i$ と $j$ との移動時間を $d_{ij}$ 、顧客 $i$ での停車時間を $S_i$ として以下のように表される。ここでは便宜上0と $n+1$ を出発・到着拠点とする。

$$T_i = \sum_{i=0}^n d_{i+1} + \sum_{i=1}^n S_i$$

#### 3.2. アルゴリズム

VRPでは最適化に経路交換法[4][5]による近傍探索法を採用し、さらにIBM東京基礎研究所の開発した目的修正法[6][7]という車両数を効率良く減らすメタヒューリスティクスが実装されている。

## 4. 問題の解決方法

### 4.1. 目的関数の修正

各車両の目的関数である $T_i$ を以下のように変更する。ここで $k$  ( $0 < k \leq 1$ )はパラメータで配送経路のエリア指向の度合いを指定するものである。

$$T_i = kd_{01} + \sum_{i=1}^{n-1} d_{ii+1} + kd_{nn+1} + \sum_{i=1}^n S_i$$

すなわち、拠点から次の顧客までの移動時間と最後の顧客から拠点までの移動時間にパラメータ $k$ を乗じ、その移動時間を最適化の評価の中で軽くするものである。

これにより顧客群と拠点との間の移動時間を縮める力が弱まり、結果として顧客群が拠点から切り離されまとまる傾向が出てくる。

## 5. 実験結果

以下に、本手法を適用した実験結果を示す。これは首都圏の200件の顧客に20数台の車両で配送を行う例で、先のパラメータ $k$ を変更しながら最適化を実行した。

まず、図1は通常最適化結果で、すなわちパラメータ $k$ が1の場合を示す。図中の記号は顧客で、同一の記号は1つの車両が訪問する顧客を表し、楕円により大まかなエリアを表している。拠点は中央やや左よりにある。複数の車両の担当する顧客が入り組み、拠点から遠ざかる途中や、拠点に戻る途中にも訪問していることが見て取れる。

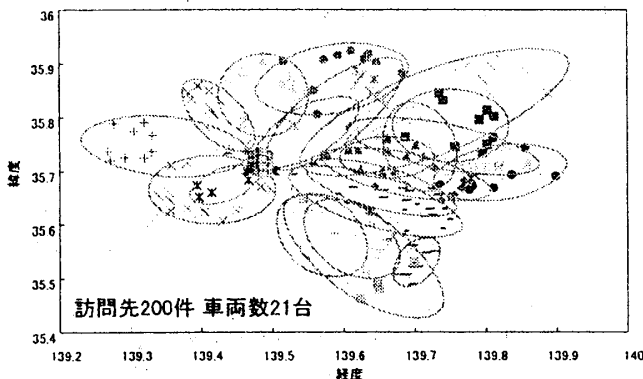


図1: 通常最適化結果

一方図2はパラメータ $k$ が0.13の場合で顧客が入り組むことなくまとまった形で1つの車両が担当していることが見て取れる。

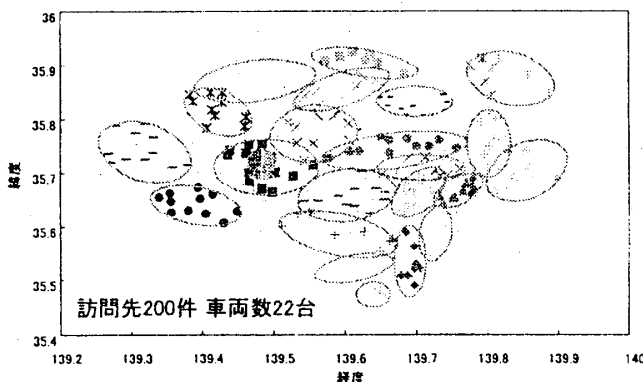


図2: 目的関数修正後の最適化結果 ( $k = 0.13$ )

次にこのパラメータ $k$ を変更した場合の顧客の集約度合いを数値で検証する。図3は $k$ を0.01から1まで0.01刻みに各14回の最適化を行い平均を取った結果である。

□は1つの車両が訪問する顧客群の重心を中心としてそこから顧客群の広がり具合を標準偏差を用いて表したものである。△は平均車両数を表す。

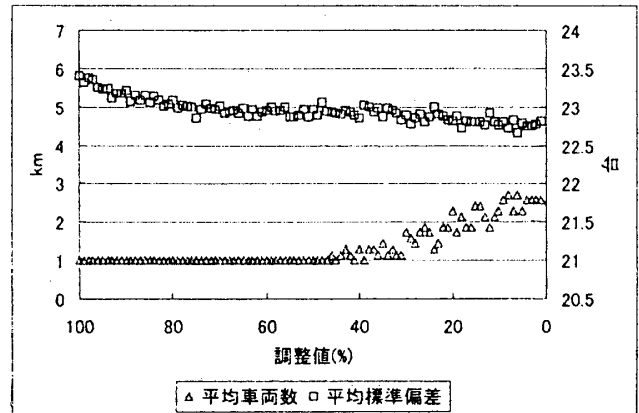


図3: 車両数と顧客群の分布の標準偏差

## 6. 考察

図1、2で分かるように導入したパラメータにより車両の担当する顧客が集約されていることが分かり、顧客の不在や不測の事態が起こった場合にも対応しやすい経路となっている。このことは図3の標準偏差の値からも分かる。

また解そのものの評価に関して図3の車両数を見ると目的関数を修正して最適化の目的をゆがめているにもかかわらず車両数が1台程度しか増加していないことが分かる。これはVRPで採用している車両数削減に効果的な目的修正法が非常に有効に働いているためと考えられる。

現実の問題に関する有効性に関しては、複数のお客様に現実のデータをもとに最適化結果をご評価いただき、良い評価を頂いており、高い効果があると考えられる。

## 7. 結論

以上見てきたように現状のVRPの目的関数に簡単な修正を加えるだけで、今まで問題となっていた静的な地理的条件等によるエリア分割やクラスタリングの問題点を原理的に持たない最適化を実現することができた。なお、この手法は特許として現在出願中である。

### 参考文献

- [1] 久保幹雄, "ロジスティックス工学", 朝倉書店 (2001)
- [2] NECシステムテクノロジー株式会社, "ULTRAFIX フレキシブル配送計画支援システム", [http://www.necst.co.jp/product/det\\_file.htm](http://www.necst.co.jp/product/det_file.htm)
- [3] 浅見道之, "最適化技法による配車計画 配車計画支援パッケージ"EGプランナー"の導入事例紹介", 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2001年秋季研究発表会, 2001.
- [4] H.Okano, S.Misono, and K.Iwano, "New TSP Construction Heuristics and Their Relationships to the 2-Opt", Journal of Heuristics, 1999.
- [5] N.Park, H.Okano, H.Imai, "A path-exchange-type local search algorithm for vehicle routing and its efficient search strategy", Journal of ORSJ Vol43, No.1, Mar 2000.
- [6] 岡野裕之, "反復局所探索による車両経路問題解法における脱出法の新方式", 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会, 1998.
- [7] 岡野裕之, "時間枠付き配送経路問題における局所探索の誘導方式", 日本オペレーションズ・リサーチ学会秋季研究発表会, 1999.