ジャスト・イン・タイム配送のためのビークル・ルーティング

01009840　成蹊大学　池上敦子　IKEGAMI Atsuko
01402020　成蹊大学　丹羽　明　NIWA Akira

1．背景

製品の高付加価値化と多品種化，そして在庫削減の傾向は，輸送の迅速性，確実性，安全性を要求するとともに，小口・高速の輸送手段の必要性を示すことになった．[1] 現在，多くの企業が目指す「ジャスト・イン・タイム物流」とは一般に，「必要なもの」を「必要なとき」に「必要な量」だけ届ける物流システムと定義され，トラックの機動性と迅速性の上に成り立ち，「配送の多頻度化」「配送ロットの小口化」「配送の定時化」の３つが，大きな特徴として挙げられる．また，郵政省の調査[2] では，以上の傾向とともに，輸送トラックの小型化が指摘されている．

ここでは，これらの特徴に着目し，現在のジャスト・イン・タイム物流（配送）のための，新しいビークル・ルーティングのモデルを提案する．そして，このモデルのためのアルゴリズムについて検討する．

2．モデルの説明

配送の多頻度化と輸送トラックの小型化は，1トラックが1日1トリップ（デポを出発して，またデポに戻ってくるまでの1ルート）でなく，複数トリップの計画を必要とする．そして，定時配送は，トラックの時間的スケジュールを必要とする．よって問題は，トリップのルーティングと，トラックへのトリップ割付の２つの要素を含むことになる．

目的関数は（1）使用するトラック台数最小化（2）総走行距離の最小化（3）各トラックの負荷の平準化，等が考えられるが，ここでは，コストに直接影響を受ける前者２つを取り上げ，トラック台数を最小化した下で，総走行距離の最小化を考える．

つまり『デポと各顧客間の移動時間，各顧客における配送量と配送時刻，トラックのキャパシティ，が与えられたときに，これらの要求を満たしながら，使用トラック台数を最小化し，その下で，総走行距離を最小化する』問題である．

《記号説明》

顧客数：n
顧客 j の配送時刻：t_j
顧客 j の配送量：d_j
顧客 i から j の移動時間：c_{ij}
（顧客 i，j＝0 はデポを表す）
トラック・キャパシティ：Q
顧客 j のための積荷時間：L_j
顧客 j のための積降時間：U_j
許される最大トリップ数：H
十分大きな数：B
重み付け係数：α，$0 \leqq \alpha \leqq 1$
（ここでは，α を十分1に近い数とする）

変数は，トリップのルートを決定する x_{hij} とそれらのトリップをトラックに割り当てる y_{hk}.

$$x_{hij} = \begin{cases} 1 & \text{トリップ } h \text{ で顧客 } i \text{ の直後に顧客 } j \text{ に配送する場合,} \\ 0 & \text{そうでない場合.} \end{cases}$$

$$y_{hk} = \begin{cases} 1 & \text{同じトラックでトリップ } h \text{ の直後にトリップ } k \text{ を扱う場合,} \\ 0 & \text{そうでない場合.} \end{cases}$$

《定式化》

$$\text{Minimize} \quad \alpha \sum_{k=1}^{H} y_{0k} + (1-\alpha) \sum_{k=1}^{H} \sum_{i=0}^{n} \sum_{j=0,\, i \neq j}^{n} c_{ij} x_{hij}$$

subject to

$$(1) \quad \sum_{h=1}^{H} \sum_{i=0,\, i \neq j}^{n} x_{hij} = 1 \qquad j=1,\ldots,n$$

$$(2) \quad \sum_{i=0,\, i \neq j}^{n} x_{hij} - \sum_{i=0,\, i \neq j}^{n} x_{hji} = 0 \qquad h=1,\ldots,H,\ j=1,\ldots,n$$

$$(3) \quad \sum_{j=1}^{n} x_{h0j} \leqq 1 \qquad h=1,\ldots,H$$

$$(4) \quad \sum_{i=0}^{n} \sum_{j=1,\, i \neq j}^{n} d_j \cdot x_{hij} \leqq Q \qquad h=1,\ldots,H$$

$$(5) \quad t_i + c_{ij} + U_j - t_j \leqq B\left(1 - \sum_{h=1}^{H} x_{hij}\right) \qquad i=1,\ldots,n,\ j=1,\ldots,n,\ i \neq j$$

(6) $$\sum_{h=0\,h\neq k}^{H} y_{hk} = \sum_{j=1}^{n} x_{k0j} \qquad k=1,\ldots,H$$

(7) $$\sum_{h=0\,h\neq k}^{H} y_{kh} = \sum_{j=1}^{n} x_{k0j} \qquad k=1,\ldots,H$$

(8) $$\sum_{p=1}^{n} x_{hp0}(t_p + c_{p0}) + \sum_{i=0}^{n}\sum_{j=1\,i\neq j}^{n} L_j \cdot x_{kij} + \sum_{q=1}^{n} x_{k0q}(c_{0q} + U_q - t_q) \leq B\,(1 - y_{hk})$$
$$h=1,\ldots,H,\ k=1,\ldots,H,\ h\neq k$$

(9) $$x_{hij} = 0 \text{ or } 1$$
$$h=1,\ldots,H,\ i=1,\ldots,n,\ j=1,\ldots,n,\ i\neq j$$

(10) $$y_{kh} = 0 \text{ or } 1$$
$$h=1,\ldots,H,\ k=1,\ldots,H,\ h\neq k$$

3．アルゴリズムの説明

キャパシティ拘束を緩和した問題を考える．この緩和問題は，ヒッチコック輸送問題として扱うことができ，それを解いた結果は元の問題における最適トラック台数の下限値を与える．ここで与えられるトリップは，キャパシティを大きく超過したものになるが，トリップの途中で何度もデポに戻れるだけの時間的余裕があれば，このトリップ数と実際に必要なトラック台数は，近い値になる．また，キャパシティ拘束を満たしているトリップが作成されている状態では，トラックへの割付が，同様な輸送問題として扱うことができ，最適割付けが可能である．

この緩和問題（ヒッチコック型輸送問題）を利用して元の問題を解く具体的手順を示す．

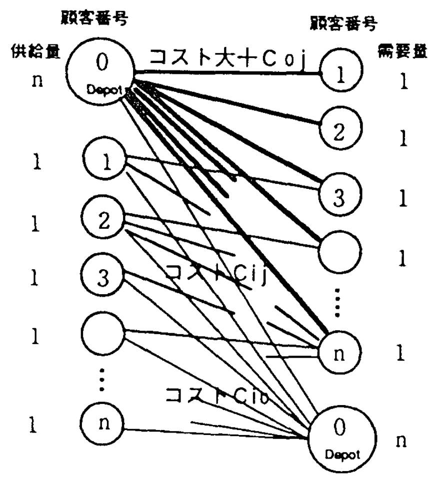

図.ヒッチコック型輸送問題

n個の顧客に対し，供給ノードと需要ノードを各々１つずつ対応させ，その供給量，需要量を１とする．新たなトラックが出庫したり配送終了後に戻っていくデポに対しても供給ノードと需要ノードを作り，供給量＝需要量を十分大きくとっておく．また，移動＋積降時間から考えて時間的に連続配送可能なノードをアークでつなぎ，そのコストを顧客間の移動距離 c_{ij} とする．また，デポの供給ノードはすべての顧客需要ノードとつなぎ，コストは十分大きな値＋ c_{0j} とする．そして，デポの需要ノードはすべての供給ノードとつなぎ，コストは c_{i0} とする．

ここで，アークのコストに距離を入れたことにより，デポと任意の２点間の距離に３角形法則が成り立つ場合は，そのトラック台数における走行距離の下限値も得られる．

アルゴリズムは，緩和問題におけるキャパシティ超過トリップの分断と，トラックへの割当をおこなう．分断方法は以下の５種類を考えた．

（１）キャパシティ超過トリップに対して超過する直前での分断を繰り返し，超過トリップがなくなったら，トラックへの割当をおこなう．

（２）時間的に後方から，分断するトリップを１つ決定しては輸送問題のアークをかきかえ，デポ経由可能アークを考慮しキャパシティ超過がなくなるまで，繰り返し緩和問題を解く．

（３）(2)において新たな緩和問題でのトラック数が前のものよりも増加してしまう場合，分断を決定されたトリップをさらに短くして解き直す手順を加えたもの．

（４）（５）それぞれ，(2)(3)において分断を決定されたトリップ以降のキャパシティ拘束を満たしたトリップは，固定してしまうもの．

4．おわりに

アルゴリズム評価のため，緩和問題で得られた下限値との比較と，一般ビークル・ルーティング問題用ヒューリスティックを利用したアルゴリズムとの比較をおこなった．有効性を示すことができたそれらの結果を発表会で紹介する．

［参考文献］[1] 中田,長峰,”物流戦略の実際” 日経文庫,1992
[2] 安住,村尾,”加工食品におけるｼﾞｬｽﾄ･ｲﾝ･ﾀｲﾑ物流の現状と課題”郵政研究所月報,1994.1
[3] 池上,丹羽,”時間拘束とキャパシティ拘束のあるﾋﾞｰｸﾙ･ﾙｰﾃｨﾝｸﾞ問題”,日本機械学会第72期全国大会講演論文集,110-111,1994