《論文》

ファジィ運行時間とサービス時間を考慮した配送スケジューリング問題に関する研究

福島大学共生システム理工学類（数理・情報学系）
董　彦文　　星野　珙二

【概要】

本研究では，配送スケジューリング問題を研究対象として，まず配送スケジューリングにおける不確かな要因とこれらの要因を考慮する必要性を検討する。次に不確かな要因をもつ配送スケジューリング手法として，確率的アプローチとファジィ的アプローチを説明する。さらに，ファジィ運行時間とサービス時間を考慮した配送スケジューリング問題を取り上げ，可能性計画問題として対象問題の定式化を行う。リムーバルを用いてファジィ目的関数を評価する場合，ファジィ最小化問題である提案モデルが通常の最適化問題に帰着するため，既存の各種手法を適用し，問題の解を求めることができる。数値計算例により，提案モデルは他のモデルと異なる最適解を得られ，独自な特徴をもつことがわかった。

１．はじめに

物流システムにおけるスケジューリング問題に関しては，これまでに生産と流通などの分野で盛んに研究が行われてきて，数多くの最適化手法または近似解法が提案されている[1]。しかしながら，これまでに提案された手法は道路の通行時間，荷物の積み卸し時間および顧客対応時間などを予め正確に予測し把握することを前提とするのがほとんどであり，これらの手法を実際の配送スケジューリング問題の解決に適用する際，いろいろな不確かな要因の影響を考慮しなければならない場合がよくあるため，直接には適用不可能であろう。

そこで，本研究では，配送スケジューリング問題を研究対象として，まず配送スケジューリングにおける不確かな要因とこれらの要因を考慮する必要性を検討する。次に不確かな要因をもつ配送スケジューリング問題を取り扱うための手法として，確率的アプローチとファジィアプローチを説明する。さらに，ファジィ運行時間とサービス時間を考慮した配送スケジューリングを取り上げ，問題の可能性計画モデルを構築のうえ，問題の解法を考究し，数値計算例を通じて提案モデルの特徴を検証する。

２．配送スケジューリングと不確実性

配送スケジューリングとは，使用する輸送車両の容量や１日の配送に要する作業（輸送）時間などの制約を満たすように輸送車両の台数を決定し，さらにすべての需要地を巡回する総移動距離や総移動時間を最小にするように各車両の巡回スケジュールを作成することである[2]。

実際の配送スケジューリング問題においては，いろいろな不確実な要因が含まれている。

- 不確かな輸送需要：荷主の輸送需要には，輸送量，輸送需要の発生位置および発生時間，輸送時間要求などが含められ，これらの要因をすべて正確に把握することが難しい。
- 不確かな輸送時間：交通渋滞，信号機，横断歩道，左折りまたは右折りなどの事情により同じ道路の通過に要する時間が異なる。また，荷物の数量や積み卸し条件などにより荷物の積み卸し時間および顧客対応時間が変わる。
- 不確かな輸送資源：同じ車両でも荷物の形状や種類などにより実効積載容量が変わる。また，車両の故障や交通事故などによる道路通行止めなどは予め予測することがほとんど不可能である。

これまでにデータ収集およびデータ処理能力上の制限のため，以上の不確かな要因を直接考慮できるモデルまたは手法は少ない。その代わりに，過去の実績データ，統計データまたは人間の経験に基づき，各要因の見積値・平均値を決めてから，これを正確な値とし通常の数理的手法を適用して，配送スケジューリングを行ってきた。

しかし，ＩＴ技術の急激な進歩と市場競争の激化につれて，間接的ではなく，不確かな要因を直接に考慮するモデルと手法が求められるようになっている。

- 輸送時間や集配時間に対する要求がますます厳しくなっている中，如何に各種の不確かな要因を乗り越えて，確実に荷主または顧客の要求を満足させ，高レベルのサービス水準を維持するかは永遠の課題である。
- 各種の不確かな要因の影響を定量的に解析することは，顧客満足度の向上に役立つだけでなく，荷主・顧客ごとに最適なサービス価格とサービス水準を決定し，さらに輸送コストを削減するために必要である。
- 従来の数理的手法を適用して作成された配送スケジュールのロバスト性または有効性を評価するために，不確かな要因を直接に考慮し，実際の配送スケジューリング問題をより正確に表現するモデルと手法が必要である。
- 物流現場へのＧＰＳや情報端末など最新情報技術の導入と活用により，各種の不確かな要因の影響を即時に把握し，配送計画を素早く調整し，配送システムをリアルタイムに再構成することはすでに可能である。

3．確率的配送スケジューリング

不確かな要因を確率変数として表現し，確率計画法に基づく配送スケジューリングモデルと手法が数多く提案されていた。これらのモデルと手法は次の３つに分類することができる[3][4]。

⑴分布モデル

確率変数の各々の実現値についてそれぞれ通常のモデルを構築し，最適解を求める。それから，実現値によって最適値や最適解がどう変わるかを中心に調べる。

⑵機会制約モデル

制約条件に確率要素が含まれる場合，確率的な制約条件を満たす唯一の最適解は一般的には存在しない。このため，確率的な制約条件を満たす確率を最大にする解，または与えられた確率で制約条件を満たす最適解を求める。

⑶リコースモデル

機会制約モデルは制約条件を満たす確率に着目する。これに対して，リコースモデルでは，確率変数の実現値がわかる前に，まず１段階目の意思決定を行い，その後わかる実現値とこの意思決定との適合性の“差異”により制約条件が満たされない場合，この差異を埋める２段階目のリコース行動を行う。１段階目での意思決定をする基本費用と２段階目でリコースを行う費用の期待（平均）値との和を最小にする解を求める。

分布モデルは理論的価値がありながら直接には実用できないであろう。また，確率変数の確率分布が分かれば，機会制約モデルとリコースモデルは確定モデルに帰着するが，その等価問題が通常非線形最適化問題であり，等価確定問題への変換作業と計算効率などの面で多数の課題が残っている。

4．ファジィ配送スケジューリング

近年来，不確かな要因をファジィ数として定式化を行い，ファジィ計画法に基づく配送スケジューリングに関する研究が注目されてきた。確率変数に比べて，ファジィ数はより多くより広く各種の不確かさや曖昧さを表現し，人間の主観判断にもっと近い定式化とモデル構築が容易にできるだけでなく，ファジィ計画問題の最適解または最良解は確率計画問題より簡単に得ることができる。

これまでに提案されていたファジィ配送スケジューリングモデルと手法は次の通りに分類することができる[4][5]。

⑴ファジィ計画モデル

ファジィ計画モデルは，メンバシップ関数に基づいたモデルとも言え，人間の好み・嗜好または主観判断におけるあいまいさ・不確かさをファジィ数で表現する。ファジィ数のメンバシップ関数の値は，荷主の配達数量・配達時間要求や車両の容量など各種の制約条件または達成しようとする目標に対する意思決定者の満足度を表す。

石井ら[6]は，通常の輸送問題を拡張し，供給と需要のバランスが崩れた場合，供給量と到着量に対する供給側と需要側のそれぞれの満足度を示す帰属度関数を導入し，両側の満足度の最小値を最大にするファジィ輸送問題の定式化と関連解法を提案した。程ら[7]は，荷主の配達時間要求に対する満足度を示すメンバシップ関数を導入し，平均満足度の最大化と所要車両台数の最小化などの多目的最適化モデルを構築し，遺伝的アルゴリズムＧＡに基づいた解法を提案した。

⑵可能性計画モデル

可能性計画モデルは，可能性分布に基づいたものであり，物事の発生・出現の可能性または表現のあいまいさ・不確かさをファジィ数で表現する。ファジィ数のメンバシップ関数は可能性分布と解釈され，確率分布に類似している。

可能性計画モデルでは，目的関数または制約条件が

明示的メンバシップ関数を含まず，係数などがファジィ数となっているものが多い。問題の解を求めるには，適切なファジィ数ランキング基準を導入し，ファジィ数の比較により最大（小）のファジィ目的値をもつ最適解を決めたり，またはα-レベル集合を導入し，非劣解集合を求めたりする必要がある。

可能性計画モデルに関しては，ファジィ距離をもつ最短路問題を中心として，多数の研究論文が公表された。Furukawa[8]は弧の距離が L–R ファジィ数で示される場合，L–R ファジィ数の順序関係を独自で定義のうえDijkstra法を修正した最短路解法を与えた。劉ら[9]は，可能性分布を導入し，距離や時間を自然言語で表すときのあいまいさをファジィ数として扱い，可能性分布に基づいた最短路解法を提案した。中村ら[10]は，劉ら[9]の解法を改良し，ファジィ輸配送最短路計画問題に適用した。董ら[11]は，さらに劉ら[9]と中村ら[10]の解法を改良し，複数本の非劣路集合を求める解法を提案のうえ非劣路を評価・選択する方法についても検討し，実用的に適用できる非劣路の選択手順を与えた。

しかしながら，確率配送スケジューリングに比べて，ファジィ配送スケジューリングに関する研究報告は非常に少ない。さらに，これまでに公表されたファジィ配送スケジューリングは，ファジィ計画モデルに属するものがほとんどであり，配送スケジューリング問題の可能性計画モデルに関する研究は非常に少なく不十分である。

5．ファジィ時間を考慮した配送スケジューリング問題

本研究では，次の配送スケジューリング問題を対象とする。

(1)　1台の輸送車両がデポから出発し，n 社の顧客 i（$i=1,2,\cdots,n$；$n>1$）を巡回し，貨物を受け渡す。それから，デポに戻る。デポを $i=0$ と記する。

(2)　輸送需要量が車両の最大積載量を越えないと仮定して，車両の容量制約を考慮しない。

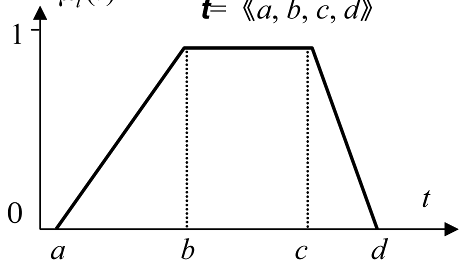

図１　台形型ファジィ数

(3)　道路の通行状況などを考慮し，各区間の道路通行に要する運行時間は普通の定数ではなく，顧客 i から顧客 j までの運行時間を台形型ファジィ数 $\boldsymbol{tt}(i,j)$ と表し，そのメンバシップ関数が $\mu_{tt(i,j)}(x)$ である。

なお，図1に示すとおり，台形型ファジィ数 $\boldsymbol{t}$ はそのメンバシップ関数が $\mu_t(t)$ の台形の4頂点の横座標 a,b,c,d を用いて，$\boldsymbol{t}=《a,b,c,d》$と表す。

(4)　駐車位置と貨物の種類・数量などを考慮し，各顧客でのサービス時間（積み降ろし時間や顧客対応時間など）も普通の定数ではなく，顧客 i でのサービス時間を台形型ファジィ数 $\boldsymbol{st}(i)$と表し，そのメンバシップ関数がが $\mu_{st(i)}(x)$ である。ただし，$\boldsymbol{st}(0)=《0,0,0,0》$。

(5)　顧客同士の距離または運行費用は既知の定数であり，顧客 i から顧客 j までの運行距離を $c(i,j)$と表す。

(6)　各顧客に到着する時刻に関しては，時間帯の指定がある。顧客 i に到着すべき指定最早時刻を $et(i)$，指定最遅時刻を $lt(i)$ と表す。つまり，顧客 i に到着すべき時間範囲は$[et(i),lt(i)]$である。

(7)　すべての顧客には必ず1回かつ1回のみ配達を行う。

(8)　計画期間の初めに，すべての貨物は配達可能である。また，計画期間にわたって，輸送車両が故障せず常に利用可能である。

(9)　配送スケジューリングの目的は，総運行距離に比例する運行費用と，車両の早着時間と遅れ時間に対するペナルティコストとの総コストを最小にする配送スケジュールを求めることである。

6．問題の定式化

(1)配送順序と到着時刻･サービス終了時刻

n 個の顧客を巡回する配送順序を，$n+2$ 次元ベクトル $x=(x_0,x_1,x_2,\cdots,x_n,x_{n+1})$で表現する。ただし，$x_k$（$k=1,2,\cdots,n$）は k 番目に巡回する顧客番号を表し，$x_0=x_{n+1}=0$，$x_k\in\{1,2,\cdots,n\}$，$\forall u\neq v$，$x_u\neq x_v$（$u,v=1,2,\cdots,n$）を満たす。

顧客 x_k に到着する時刻を $\boldsymbol{at}(x_k)$と表し,$\boldsymbol{at}(x_k)$は

$$\boldsymbol{at}(0)=《0,0,0,0》 \tag{1}$$

$$\boldsymbol{at}(x_k)=\boldsymbol{ct}(x_{k-1})+\boldsymbol{tt}(x_{k-1},x_k),\ k=1,2,\cdots,n \tag{2}$$

と計算される。$\boldsymbol{tt}(x_k)$がファジィ数であるため，$\boldsymbol{at}(x_k)$は通常の数値ではなくファジィ数である。

同様に，顧客 x_k でのサービス終了時刻を $\boldsymbol{ct}(x_k)$と表し，$\boldsymbol{ct}(x_k)$は

$$\boldsymbol{ct}(0)=《0,0,0,0》 \tag{3}$$

$\boldsymbol{ct}(x_k)=\boldsymbol{at}(x_k)+\boldsymbol{st}(x_k), k=1,2,\cdots,n$　(4)

と計算され，$\boldsymbol{ct}(x_k)$もファジィ数である。

⑵早着時間と遅れ時間

顧客x_kでの早着時間$\boldsymbol{E}(x_k)$は，輸送車両が顧客x_kの指定された到着時間帯の最早時刻$et(x_k)$よりも早く到着した時間であり，次の式で定義される。

$\boldsymbol{E}(x_k)=\max(0, et(x_k)-\boldsymbol{at}(x_k)),\ k=1,2,\cdots,n$　(5)

同様に，顧客x_kでの遅れ時間$\boldsymbol{D}(x_k)$は，輸送車両が顧客x_kの指定された到着時間帯の最遅時刻$lt(x_k)$よりも遅く到着した時間であり，次の式で定義される。

$\boldsymbol{D}(x_k)=\max(0, \boldsymbol{at}(x_k)-lt(x_k)),\ k=1,2,\cdots,n$　(6)

$\boldsymbol{at}(x_k)$がファジィ数であるため，$\boldsymbol{E}(x_k)$と$\boldsymbol{D}(x_k)$は通常の数値ではなくファジィ数である。

⑶総コスト最小化問題

運行距離に対するウエイトをw，顧客x_kでの早着時間と遅れ時間に対する単位時間あたりのペナルティをそれぞれ$p(x_k)$，$q(x_k)$とするとき，ファジィ総コストを最小にする配送スケジューリング問題の定式を次のように与える。

$$\text{Fuzzy Minimize}\ \sum_{k=0}^{n} wc(x_k, x_{k+1})+\sum_{k=1}^{n}[p(x_k)\boldsymbol{E}(x_k)+q(x_k)\boldsymbol{D}(x_k)] \tag{7}$$

Subject to :

$$\boldsymbol{E}(x_k)=\max(0, et(x_k)-\boldsymbol{at}(x_k)) \tag{8}$$

$$\boldsymbol{D}(x_k)=\max(0, \boldsymbol{at}(x_k)-lt(x_k)) \tag{9}$$

$$\boldsymbol{at}(0)=\langle\!\langle 0,0,0,0\rangle\!\rangle \tag{10}$$

$$\boldsymbol{at}(x_k)=\boldsymbol{ct}(x_{k-1})+\boldsymbol{tt}(x_{k-1}, x_k) \tag{11}$$

$$\boldsymbol{ct}(0)=\langle\!\langle 0,0,0,0\rangle\!\rangle \tag{12}$$

$$\boldsymbol{ct}(x_k)=\boldsymbol{at}(x_k)+\boldsymbol{st}(x_k) \tag{13}$$

$$x_k\in\{1,2,\cdots,n\}, x_0=x_{n+1}=0 \tag{14}$$

$$\forall u\neq v, x_u\neq x_v (u, v=1,2,\cdots,n) \tag{15}$$

$$k=1,2,\cdots,n$$

目的関数式(7)はファジィ数$\boldsymbol{E}(x_k)$と$\boldsymbol{D}(x_k)$を含めているため，通常の最小化ではなく，ファジィ最小化を意味する“FuzzyMinimize”である。“FuzzyMinimize”を如何に定義するかによって，問題の解法が変わる。

7．問題の解法

⑴ファジィ最小とリムーバル

式(8)(9)で定義された$\boldsymbol{E}(x_k)$と$\boldsymbol{D}(x_k)$がファジィ数であるため，式(7)はファジィ最小化 Fuzzy Minimize となっている。この問題の解を求めるには，最小のファジィ数またはファジィ数の順序づけ(ランキング)を決める必要がある。ファジィ数の順序づけまたは比較については，これまでにいろいろな判定基準が提案されている[12]。本研究では,計算上の簡便さから Yager[13][14]らが提案したリムーバルを用いてファジィ最小を決める。

ファジィ数$\boldsymbol{t}$のメンバシップ関数を$\mu_t(t)$，$\boldsymbol{t}$のリムーバルを$\mathrm{R}(\boldsymbol{t})$とするとき，$\mathrm{R}(\boldsymbol{t})$は次式(16)により定義される。

$$\mathrm{R}(\boldsymbol{t})=\int_0^1 \overline{X}(t_\alpha)\,d\alpha \tag{16}$$

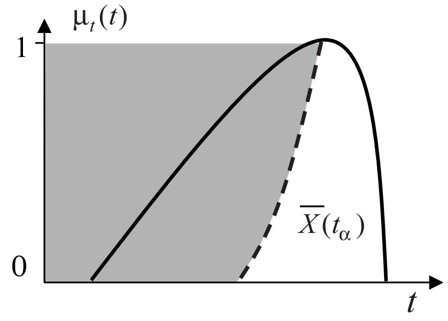

図２　ファジィ数のリムーバル

その中で，$\overline{X}(\boldsymbol{t}_\alpha)$はメンバシップ関数の値が$\alpha$であるすべての$t$の平均値を表す。図２では，$\overline{X}(\boldsymbol{t}_\alpha)$が点線で示され，$\mathrm{R}(\boldsymbol{t})$は斜線部分の面積である。

リムーバルはメンバシップ関数を考慮して計算されたファジィ数の平均値であるため，リムーバルを用いて目的関数(7)を評価することは，早着時間と遅れ時間の値および発生する可能性を同時に考慮して，平均的なペナルティを計算し，これをもって問題の解を評価することである。

$\boldsymbol{A}$と$\boldsymbol{B}$がファジィ数，uとvが通常数であるとき，

$$\mathrm{R}(u\boldsymbol{A}+v\boldsymbol{B})=u\mathrm{R}(\boldsymbol{A})+v\mathrm{R}(\boldsymbol{B})$$

が成立するため，リムーバルを用いて，Fuzzy Minimize を定義すれば，式(7)は

$$\text{Minimize}\ \sum_{k=0}^{n} wc(x_k, x_{k+1})+\sum_{k=1}^{n}[p(x_k)\mathrm{R}(\boldsymbol{E}(x_k))+q(x_k)\mathrm{R}(\boldsymbol{D}(x_k))] \tag{17}$$

となる。

つまり，リムーバルを用いてファジィ最小を決める場合，式(7)～(15)のファジィ最小化問題は次の等価問題に帰着する。

$$\text{Minimize}\ \sum_{k=0}^{n} wc(x_k, x_{k-1})+\sum_{k=1}^{n}[p(x_k)\mathrm{R}(\boldsymbol{E}(x_k))+q(x_k)\mathrm{R}(\boldsymbol{D}(x_k))] \tag{18}$$

Subject to :

$$\boldsymbol{E}(x_k)=\max(0, et(x_k)-\boldsymbol{at}(x_k)) \tag{19}$$

$$\boldsymbol{D}(x_k)=\max(0, \boldsymbol{at}(x_k)-lt(x_k)) \tag{20}$$

$$\boldsymbol{at}(0)=\langle\!\langle 0,0,0,0\rangle\!\rangle \tag{21}$$

$$\boldsymbol{at}(x_k)=\boldsymbol{ct}(x_{k-1})+\boldsymbol{tt}(x_{k-1}, x_k) \tag{22}$$

$$\boldsymbol{ct}(0)=\langle\!\langle 0,0,0,0\rangle\!\rangle \tag{23}$$

$$\boldsymbol{ct}(x_k)=\boldsymbol{at}(x_k)+\boldsymbol{st}(x_k) \tag{24}$$

$$x_k\in\{1,2,\cdots n\}, x_0=x_{n+1}=0 \tag{25}$$

$$\forall u \neq v, x_u \neq x_v (u, v = 1, 2, \cdots, n) \tag{26}$$
$$k = 1, 2, \cdots, n$$

目的関数式(18)の最小化はファジィ最小化ではなく，通常の最小化であるため，式(18)～(26)の問題は事実上通常の最小化問題となる。

⑵非正規ファジィ数のリムーバル

式(19)(20)にはmax演算が含まれているため，車両の運行時間 $\boldsymbol{tt}(x_{k-1},\ x_k)$ とサービス時間 $\boldsymbol{st}(x_k)$ が台形型ファジィ数であるにも拘らず，$\boldsymbol{E}(x_k)$ と $\boldsymbol{D}(x_k)$ が必ずしも台形型ファジィ数ではなく，非正規ファジィ数となることがある。典型的例を図3に示す。

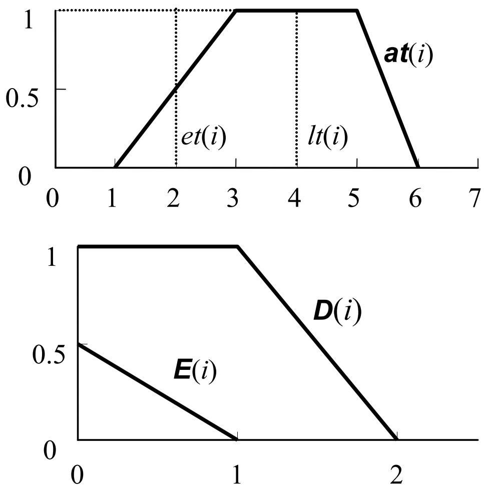

図3　非正規 $\boldsymbol{E}(i)$ と $\boldsymbol{D}(i)$ の例

正規ファジィ数 $\boldsymbol{U}$ を $\boldsymbol{U}=《a, b, c, d》$ として，式(14)のリムーバル定義に基づき，非正規ファジィ数 $\boldsymbol{V}=\max(0, \boldsymbol{U})$ のリムーバル $R(\boldsymbol{V})$ は図4に示すとおり計算される。これにより，式(18)の目的関数値を計算することができる。

⑶問題の解法

上述したとおり，式(18)～(26)の問題は通常の最小化問題となるため，分岐限界法や遺伝的アルゴリズムGA手法などこれまでに提案されたいろいろな手法を用いて，その解を求めることができる。

8．計算例と考察

⑴計算例の生成

提案モデルの特徴を調べるために，顧客数 $n=3$ の計算例を作成し，表1と表2に示す。ここで，顧客（デポ）間の距離はWebサイト[15]に掲載された配送スケジューリングのBenchmark問題を利用し作成した。また，車両運行時間，顧客サービス時間と到着時間帯の指定値は，それぞれ一様乱数を用いて生成した。

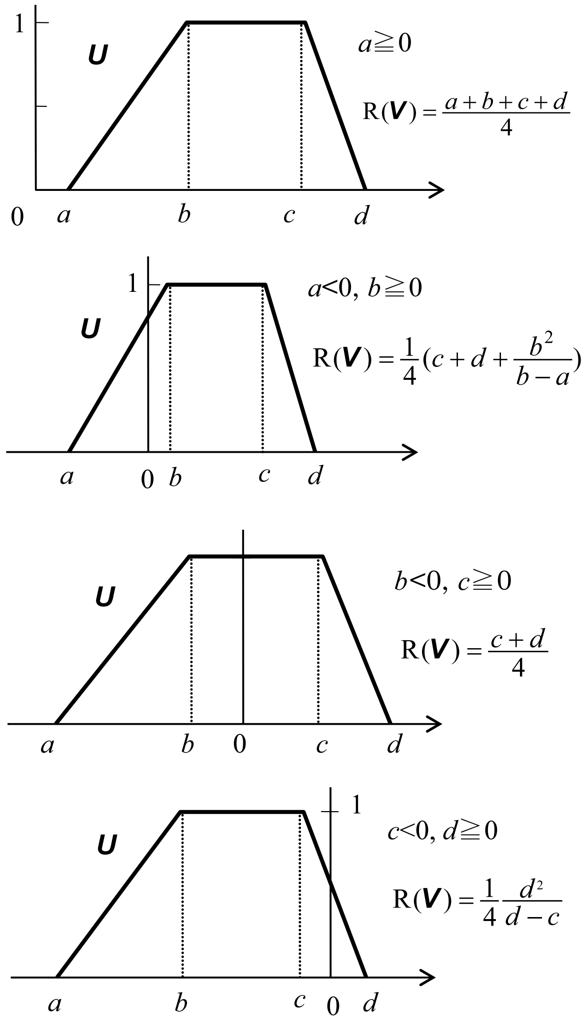

図4　非正規ファジィ数のリムーバル

⑵計算例の解と考察

列挙法を適用し，すべての実行可能な運行ルートを作成のうえ，式(18)の目的関数値を計算し，その結果を表3に示す。ここで，運行距離に対するウエイト $w=1.0$，早着時間ペナルティ $p(i)=1.0$ と遅れ時間ペナルティ $q(i)=3.0$　$(i=1, 2, 3)$ とした。

表1　顧客間の距離と運行時間

顧客 No	顧客間の距離 $c(i, j)$	顧客間の運行時間 $\boldsymbol{tt}(i, j)$
0⇔1	106	《54,64,65,77》
0⇔2	42	《22,23,27,30》
0⇔3	81	《41,48,51,56》
1⇔2	71	《40,41,46,50》
1⇔3	25	《13,14,16,18》
2⇔3	47	《24,26,29,34》

表2　サービス時間と時間帯指定

顧客 No	サービス時間 $\boldsymbol{st}(i)$	時間帯指定 $[et(i), lt(i)]$
1	《17,20,21,22》	[29,59]
2	《17,19,20,21》	[67,90]
3	《13,18,21,27》	[80,100]

表3から次のことがわかる。

- 運行距離のみを考慮する場合，最適な運行ルートがRoute 3 または Route 5 である。
- 早着時間と遅れ時間に対するペナルティを考慮した総合コスト最小化問題の最適解は Route 4 である。
- 総運行時間のリムーバルを基準とすれば，総運行時間の最短なルートは Route 2 ～ 5 である。

　これらの結果から，提案モデルは運行距離と指定到着時間帯を同時に考慮し，独自な最適な解を得られる。

　なお，顧客間の運行時間と各顧客でのサービス時間のリムーバルをまず求めて，これらのリムーバルをもって式(18)～(26)のファジィ変数を置き換えた平均値モデルを作成のうえ，その最適解を求めた。その結果，この平均値モデルの最適解は Route 2 であり，式(18)～(26)のモデルの最適解と異なることがわかった。この結果から，提案モデルはこれまでのモデルと異なるところが見られた。

表 3　運行ルートと目的関数値

運行ルート	Σwc	$\Sigma p\mathrm{R}(\boldsymbol{E})$	$\Sigma q\mathrm{R}(\boldsymbol{D})$	総コスト	総運行時間，(リムーバル)
Route 1 ： 0 → 1 → 2 → 3 → 0	305.0	0	367.9	672.9	《206,236,253,287》，(245.5)
Route 2 ： 0 → 1 → 3 → 2 → 0	220.0	0	208.9	428.9	《160,184,199,229》，(193.0)
Route 3 ： 0 → 2 → 1 → 3 → 0	219.0	41.5	162.8	423.3	《163,183,202,224》，(193.0)
Route 4 ： 0 → 2 → 3 → 1 → 0	220.0	49.2	147.0	416.2	《160,184,199,229》，(193.0)
Route 5 ： 0 → 3 → 1 → 2 → 0	219.0	31.0	249.8	499.8	《163,183,202,224》，(193.0)
Route 6 ： 0 → 3 → 2 → 1 → 0	305.0	31.0	333.2	669.2	《206,236,253,287》，(245.5)

9．終わりに

　本研究では配送スケジューリングにおける不確かな要因を検討し，不確かな要因をもつ配送スケジューリング問題を対処するための確率的アプローチとファジィアプローチを考究した。また，ファジィ運行時間とサービス時間を考慮した配送スケジューリング問題を取り上げ，可能性計画モデルに基づいた定式化を与えた。数値計算例により，提案モデルはその他のモデルと異なる最適解を得られ，独自な特徴をもつことがわかった。

　しかしながら，このモデルの意味と有効性についてはまだはっきりしていないところが多い。これからの研究テーマとしては，平均値モデルと機会制約条件モデルと比較して，提案モデルの挙動をさらに調べ，またファジィシミュレーションを通じて，モデルの有効性を検証する。

　本研究の一部は福島大学奨励的研究助成予算「プロジェクト研究推進経費」の補助によるものであり，ここに謝意を表する。

参考文献

[1] Ball,M.O.,etc : Handbooks in Operations Research and Management Science,8 : Network Routing, North-Holland(1995).

[2] Ball,M.O.,Magnanti,T.L.,Monma,C.L.and Nemhauser,G.L.(Eds.) : Network Routing(Handbooks in Operations Research and Management Science,Vol.8),North-Holland,Amsterdam(1995).

[3] Buckley,J.J. : "Stochastic versus Possibilistic Programming", Fuzzy Sets and Systems, Vol. 34, No.2,173-177(1990).

[4] 董　彦文：“ファジィ計画法と２段階可能性計画問題の定式化”，商学論集，Vol.72, No.4, pp.39-58(2004).

[5] 乾口雅弘：“多様化時代の数理計画法　第４回　可能性計画法”，オペレーションズ・リサーチ，pp.569 -574,1996年10月号.

[6] 石井博昭，多田実，西田俊夫：“ファジィ輸送問題”，日本ファジィ学会誌，Vol.2, No.1, pp. 79-84(1990).

[7] 程潤偉，玄光男，杜澤達美："Vehicle Routing Problem with Fuzzy Due-time Using Genetic Algorithms",日本ファジィ学会誌,Vol.7 No.5,pp.1050-1061(1995).

[8] Furukawa,N. : "A parametric total order on fuzzy number and a fuzzy shortest route problem",Optimization,Vol.30,pp.367-377(1994).

[9] 劉錫会著，董彦文，厳紹寅，北岡正敏　共訳：ファジィネットワーク工学，日本理工出版会，pp.141-176(1995).

[10] 中村墾，董彦文，北岡正敏，奥村博造：“ファジィ最短路を用いた輸配送計画における経路問題に関する研究”，日本経営数学会誌，Vol.18,pp.57-69(1996).

[11] 董 彦文，北岡正敏：“ファジィ最短路の探索と選択問題に関する研究”，日本ロジスティクスシステム学会誌，Vol.2,No.1,pp.37-47(2001).

[12] Chen,S.-J.and Hwang,C.-L : Fuzzy Multiple Attribute Decision Making, Springer-Verlag Berlin Heidelberg,pp.101-288(1992).

[13] Yager,R.R. : "A procedure for ordering fuzzy subsets of the unit interval",Information Science, Vol.24,No.2,pp.143-161(1981).

[14] Kaufmann, A. and Gupta, M.M.原著，田中英夫監訳・松岡浩訳：ファジィ数理と応用，オーム社，pp.40-41(1992).

[15] http : //web.cba.neu.edu/~msolomon/problems.htm

[16] Dong,Y. : "Formulation of Two-Stage Possibilistic Programming Model For Fuzzy Vehicle Routing Problem",Proceedings of The 1st International Congress on Logistics and SCM Systems,pp.218-225,Tokyo, Japan, November 22-24(2004).

[17] Dong,Y. : "A Comparative Study of Possibilistic Programming Model for Vehicle Routing Problem with Fuzzy Demands",International Conference on Logistics & Supply Chain Management 2006,CD-ROM, Hong Kong, January 5–7(2006).

[18] Dong,Y. : "Comparison of Three Possibillistic Programming Models for Vehicle Routing Problem with Fuzzy Demands",Proceedings of International Workshop on Institutional View of SCM (ISCM 2006),pp.248-256,Tokyo,Japan,November 16-18(2006).