

## 配達経路最適化問題について

流通経済大学 流通情報学部

倉田 是

最近、生鮮や冷凍の食料品などを定期的に配達する企業が増加している。多くの配達箇所は住宅街にあり、そのアクセス道路の道幅は狭い場合が多く、配達車両Uターンができるほどの空き地がない。本報告では、地図データを使った最短距離で配達する経路探索のアルゴリズムの説明とそれを実現するプログラミング開発を行った結果を述べる。実際に配達している状況に合わせて、複数の配達担当者が手分けしてある地域を配達する場合、配達する順番をグループ分けして配達する場合、エレベータのない中低層共同住宅の荷物持ち上げ負荷を複数の配達担当者为平等にする場合のアルゴリズムとプログラム化を行った。仮想的な配達箇所を作成し、プログラムを動作させて、ほぼ期待通りの結果を得た。

## On Delivery Routing Problems

Ryutsukeizai University  
Faculty of Distribution and Logistics Systems

Tadashi Kurata

Companies delivering fresh or frozen food products are becoming increasingly common recently. There are numerous points of delivery in a residential area, access roads are often narrow, and there are few vacant lots which can be used by drivers to turn their vehicles. I developed an algorithm for determining the shortest route in a residential area with many points of delivery, and incorporated it into some programs. I was able to solve that deliverers can evenly deliver many points of delivery.

E-mail [kurata@rku.ac.jp](mailto:kurata@rku.ac.jp)

キーワード：最適化，経路探索，配送計画

## 1. はじめに

高齢世帯の増加，さらに経済不況の深刻化に伴う共働き世帯の増加があり，一方では地域の小規模店舗はもとよりスーパーを含めた日用品を扱う店舗の減少がある．このために，無店舗販売の増加傾向が著しい．無店舗販売は，注文を受けた品物を直接注文主に届ける場合が多い．経営の規模は，街の小売店から，コンビニエンスストア，スーパー，生活協同組合とさまざまある．本報告では，生活協同組合の無店舗販売を例として，配達経路の最適化問題を取り上げる．

生活協同組合では，販売企業の顧客に相当する者は組合員である．組合員の1～2週間前の注文に応じて，商品の発注，仕分けを行って配達する．組合員は生活協同組合の規模にもよるが，数千～数十万人である．1～2週間を周期として配達が行われる．配送する基地はセンターや支部と呼ばれるが，1日に数百～数千の配達箇所に向けての配達がある．

配達者担当者はトラック（軽，1～2トン車）を利用し，半日～1日のコースが設定されていて，一人当たり15～50箇所へ配達をする．配達の担当者は職員・定時職員・委託職員などである．年齢は，高齢者は少ないがまちまちである．共働きの増加とともに，家庭の主婦が定時職員やアルバイトとして配達業務に携わる傾向が増加している．

荷物は生鮮・冷凍冷蔵を主とした各戸別包装になっていて，毎週の荷物の総数や重量は変動が少ない．荷物の負荷に応じて最適な配送経路を選ぶ配送問題とは異なった問題と考えられる．

配送先は家庭で，住宅地域にある．中には，広い街路と駐車場や車の方向転換ができる広場がある所もあるが，多くの住宅地域の道路は幅員が4m以下の場合が多く，配達の手が駐車する余裕もない場所も多い．配達専門の職員ならば運転技量が優れており，このような場所でもバックとUターンが可能である．しかし運転に不慣れな定時職員

やいわゆるアルバイトによる配達にはバックとUターンには危険が伴う．

本報告はバックやUターンを行わない方法による配達経路の最適化問題のアルゴリズムと，そのいくつかの応用例と問題点を述べる．

## 2. 道路のデータ及び処理用データ

本報告では MapInfo の地図データを用いる．本報告では「全国道路地図 V2000」を用いた．このデータの道路点と道路区間のデータを用いる．なお，地図上に市町村名，町名，施設名，鉄道及び河川などは必要に応じて表示をするが，アルゴリズムと直接な関連はない．

道路点データは交差点，袋小路及び行政境界を含んだ点データである．道路点 ID，道路区間 ID などからなり，地図上の表示には経度・緯度が使われている．道路区間データは区間 ID と両側の道路点 ID，区間長 (m)，幅員などからなる．地図上では，経度・緯度を両端の線分の座標とした折れ線で表示される．

配送センター（報告中ではデポと表示する）と各配達箇所間の距離はこの道路区間データの区間長から求める．この方法は両木探索法を用いる．しかし実際のデポの扱う地域の道路区間数は数千を超える場合がある．最も離れた道路区間数は数十を超えることもある．両木探索法の前方木，後方木の枝数を仮に30とすると，全ての交差点を4差路として  $2 \times 3^{30} \approx 4 \times 10^{14}$  の計算量となる．さらに配達箇所は数百～数千であるから，計算量は膨大なものとなる．したがって前方木，後方木の枝の深さを制限する．

この木構造を連結することによって，前方木，後方木構造ができる．図1が MapInfo のデータから，経路探索に使うデータを作成する流れである．

交差点基本有向木構造は，図2に示す構造である．

本報告では行わなかったが，この基本有向木を使って，一方通行路，信号機付交差点を設定する

ことができる。これを利用して、道路の平均走行速度、交差点通過時間口スを含めた配達最短時間を求めることもできる。

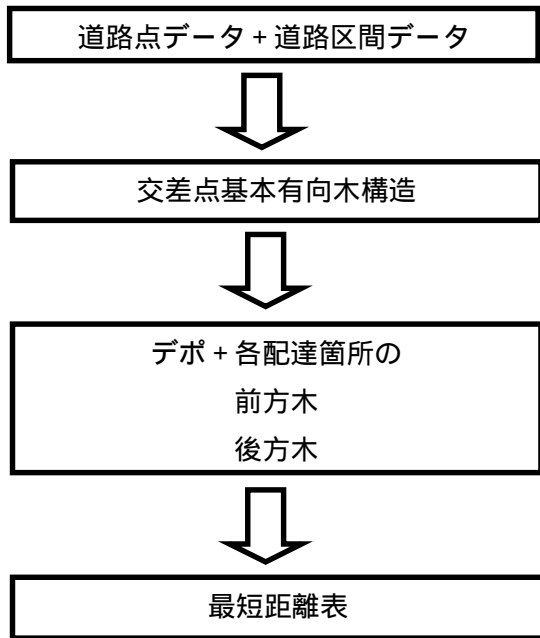


図1 データ作成の流れ

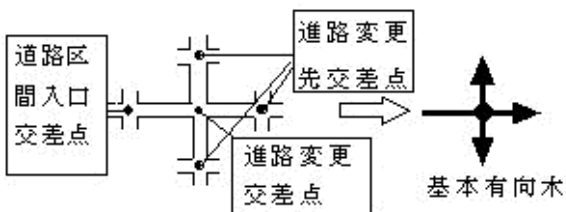


図2 交差点基本有向木構造

### 3. アルゴリズム

巡回セールスマン問題、配送計画問題及びカーナビゲーションなど、同種の問題と比較すると、次のような相違がある。

(1) 最短距離表が不完全なこと

最短距離表には、デポと各配達箇所相互間の最短距離が表となっているが、計算量を減少させたために、相互間全ての最短距離は求まっていない。したがって、配達箇所の巡回順序を変更し最適解を求めるアルゴリズムには不便である。

(2) 原則としてUターンを禁止

図3にはデポを出発し、配達箇所6箇所を巡ってデポに戻る例を示してある。C、Eの配達順を変更した場合を、Uターン可能の場合と比較してある。C、Eの変更の後には、変更前と同じ順番で巡る原則で両者を比較してある。Uターン可能の方は、そのままFに進める。しかしUターン禁止の方は、次のDへの進入方向を変えると、その次の配達箇所への経路も変更しなければならないという「玉突き現象」が発生する。このために、図に示すようにDへの進入を方向を変更しない迂回路を探索しなければならない。なお、Uターンを原則として禁止ということは、原則であって、袋小路などはUターンを可能とするという意味である。

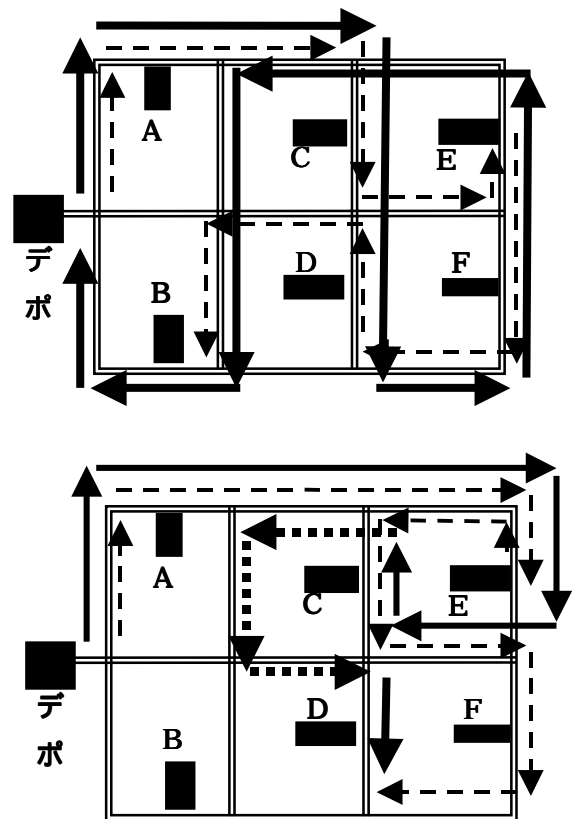


図3 巡回順序 C Eを E Cに変更する  
鎖線：Uターン可

太実線及び太い点線：Uターン禁止

また、このようにプログラミングしてある。

本報告のアルゴリズムは配達順を変更しながら最適解を求めるアルゴリズムは適していないと思われる。したがって次のようなアルゴリズムとした。

- デポまたは配達箇所から次の配達先を探索する場合に、最短距離表から最短・2番目・3番目を探索する。
- その中から、ランダムに一つ選びそれを次の配達先とする。
- なお、2, 3番目を選んだ場合には、その経路の途中に選んだ上位の配達箇所があった場合には、上位の配達先を選ぶ。

図4が処理の流れ図である。図で乱数初期値をコンピュータの時間によって決定して100,000回繰り返す。

仮に20箇所を配達する場合を考えて見る。3箇所

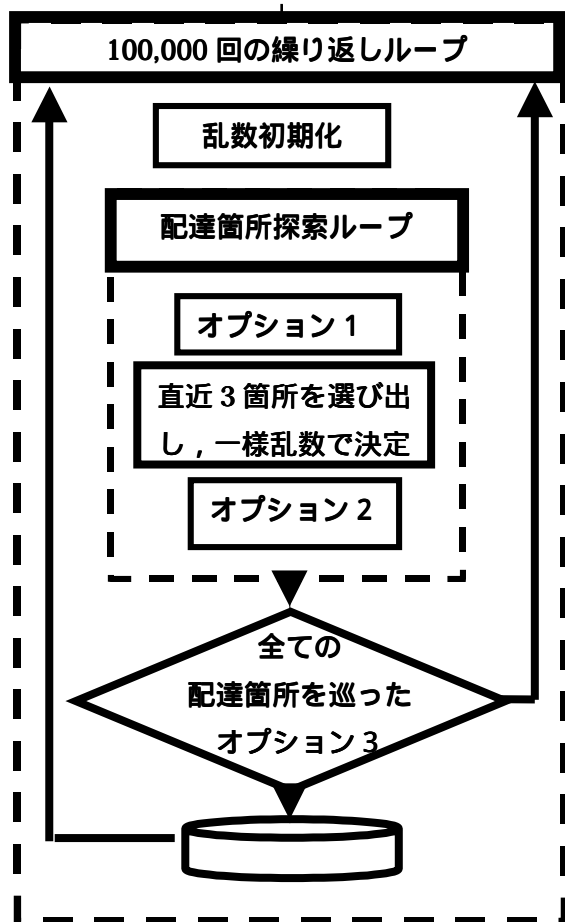


図4 処理の流れ図

所選択を乱数によらずに忠実に繰り返すとすると

$$3 \times 3 \times \dots \times 3 \times 2 \times 1 = 1,048,576$$

回の繰り返して、このアルゴリズムによる完全最適解が得られる。しかし、配達箇所が~50箇所もあると、天文学的数字となり、現在の高速パソコンでもかなりの計算時間がかかるので、本報告はこの方法による結果のみとした。

図にオプション1, 2, 3とあるがこれについて次に示す。

#### 【オプション1】

配達担当者が複数いて、ある地域の配達箇所を手分けして配達する場合である。このオプションの場合には、配達担当者のfor文ループを配達探索ループ内の入れ子として動作させる。

#### 【オプション2】

これには2種ある。

- (1) 配達順序が指定される場合である。例えば、午前中、午後、夕方あるいは夜と配達の希望があったとする。このときに、配達の地域割りではなく、配達順のグループ分けをして配達する最適解を求めるアルゴリズムを用意してある。
- (2) 都市部には5階の集合住宅が多い。この住宅には殆どエレベータがない。4, 5階の配達配達担当者にとって荷物の持ち上げの肉体的な負担が多く、次の配達箇所に急ぐ必要がある場合などには精神的負担が重なる。このために複数の配達担当者が持ち上げの総階数がほぼ等しくなるようなアルゴリズムも用意してある。

#### 【オプション3】

この処理は、処理結果をファイルに格納する。このときに、配達箇所が残っているが、残った配達箇所は最短距離表にないことがある。この原因は前にも述べたように、計算量を少なくするために、前方木と後方木の枝の深さを浅くしているためである。この場合にはエラーとして格納しない。

これ以外はオプションである。

- (1) 複数の配達担当者が手分けして担当地域を巡る場合は、それぞれの距離と総距離を短くすることを判定条件としている。
- (2) 複数の配達担当者が中低層集合住宅に配達する場合に、それぞれの持ち上げ階数をほぼ等しくすることを判定条件にする。

#### 4. 各種ユーティリティ・プログラム

2. で述べた処理には、主として Map Basic によるプログラムを使用する。Visual Basic を使用したほうが、デバッグも楽であり、処理速度が格段に優れているが、一方通行路の設定には地図 (MapInfo によって表示した) 上で指定する方法の方が、間違いが少ないので使用した。

##### 【交差点基本木構造作成】

表示された MapInfo の地図上で配達領域を限定して道路点データと道路区間データを獲得し、これから交差点基本木構造を作成する。

##### 【一方通行・信号付交差点等の設定】

両木探索法を行うために、前方木、後方木を作成し、最短距離表を作成するプログラムを使用する。これらは全て C 言語で作成した。前方木及び後方木の枝の深さは 8, 13, 14 の 3 種類が作成できるように用意した。

##### 【前方木及び後方木作成】

##### 【最短距離表】

##### 【経路データ作成】

探索プログラムを実行して、ファイル上に最適経路の候補が格納された後に、その経路の交差点 ID や道路区間 ID 及び配達先の ID を作成するプログラムである。

地図上で配達ルートを表示すること、配達先を表示することは、MapInfo の操作ができる Map Basic を使う。特に道路は折れ線で表示されるので、道路区間データを読み込みながら、必要なデータを得て、Map Basic のコマンドを使用して表示している。

##### 【配達先表示】

複数の配達担当者の区別、1~5 階の配達先の区別、配達順の区別などのために、色、形などを選択して地図上に表示する。

##### 【経路表示】

矢印で道路の進行方向を表示する。線幅、色を設定できる。これらは連続的に表示されるのでやや見えにくい。コマンドボタンの操作で、経路を道路区間 ID ごとに経路番に表示することもできる。

#### 5. 処理結果

実際の配達先データを使用する前に、仮想的な配達先を設定して、アルゴリズムと各種プログラムの動作確認を行った。

図 5 がアルゴリズムとプログラミングの確認に使用した地域である。仮想的なデポを北東の隅に置いている。約 1km x 1.4km の地域である。交差点の数は 230、交差点間の道路区間数は 337 であ

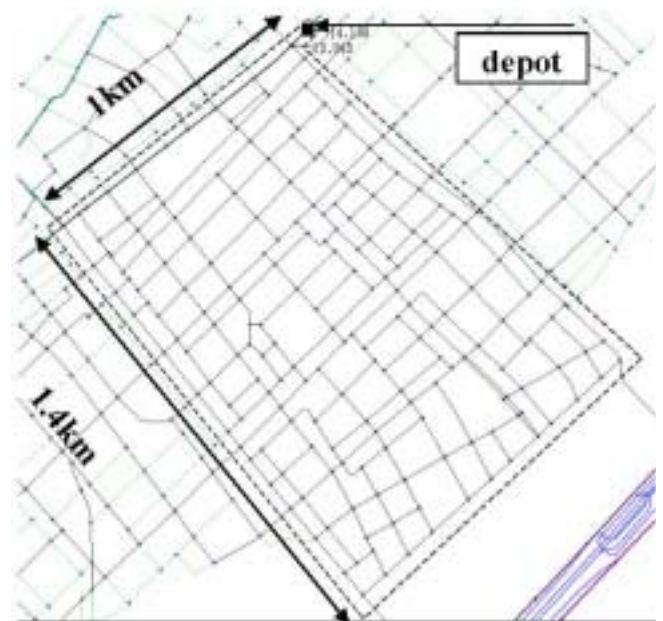


図 5 扱った地域と道路図

る。なお、北側に走る幹線道路の北東の先に本来のデポがあり、往復とも図のデポと示した道路地点を通らなければならない。この地点を仮想デポとしても問題はない。

この地域は狭いので、前方木と後方木の枝の深

さを8とした。この深さでは、この地域の端から端までの距離を求められない。

【配達担当者1名による配達経路】

配達箇所を20, 30, 40, 50箇所ランダムに道路区間上に配置した。20, 50を図6図7に示す。

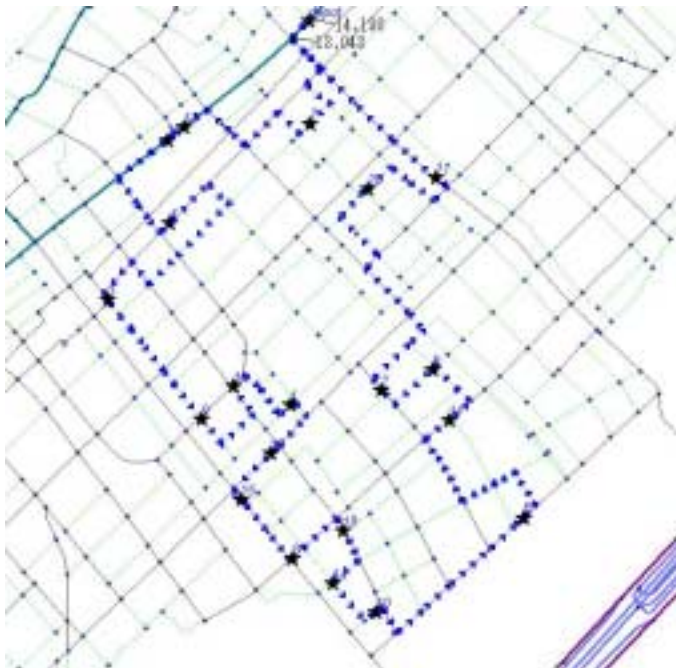


図6 配達箇所20箇所の経路  
配達距離 = 7193m

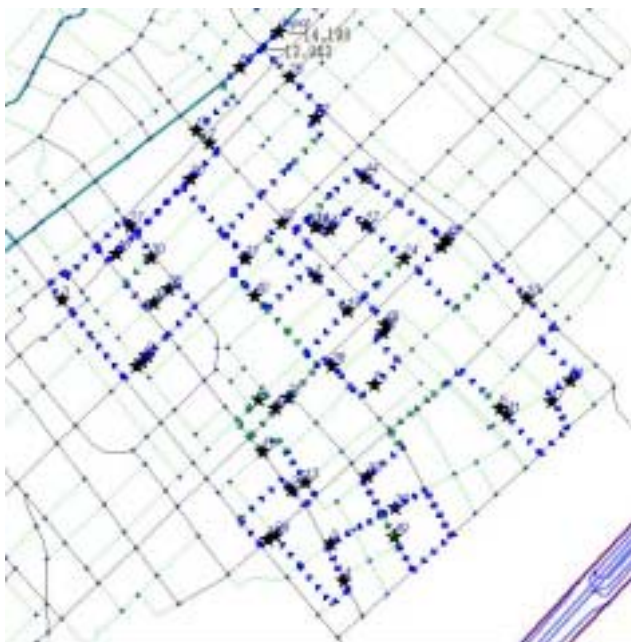


図7 配達箇所50箇所の経路  
配達距離 = 11,805m

【配達担当者3名による配達経路】

3名の配達担当者が50箇所を巡る。50は3の倍数でないから、17, 17, 16箇所と配達箇所は同数ではない。図8に示す。

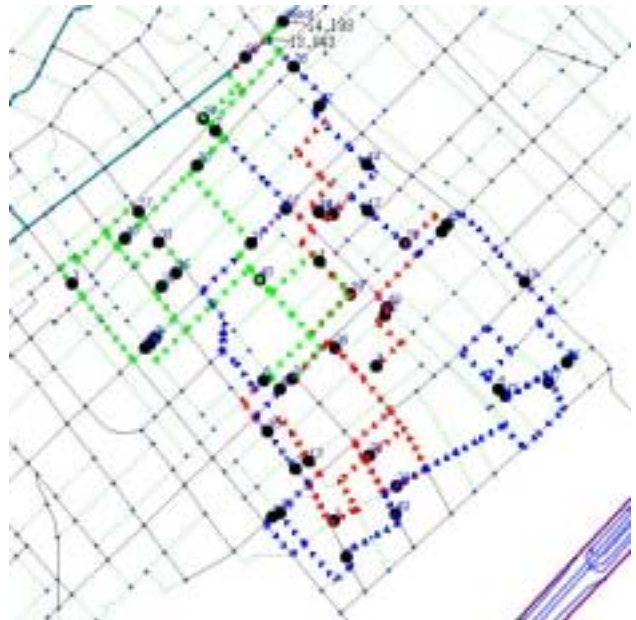


図8 3名の配達担当者が50箇所を配達する経路  
配達担当1：配達距離 = 6,061m 箇所数 = 17  
配達担当2：配達距離 = 6,365m 箇所数 = 17  
配達担当3：配達距離 = 5,753m 箇所数 = 16

【グループ分けした配達経路】

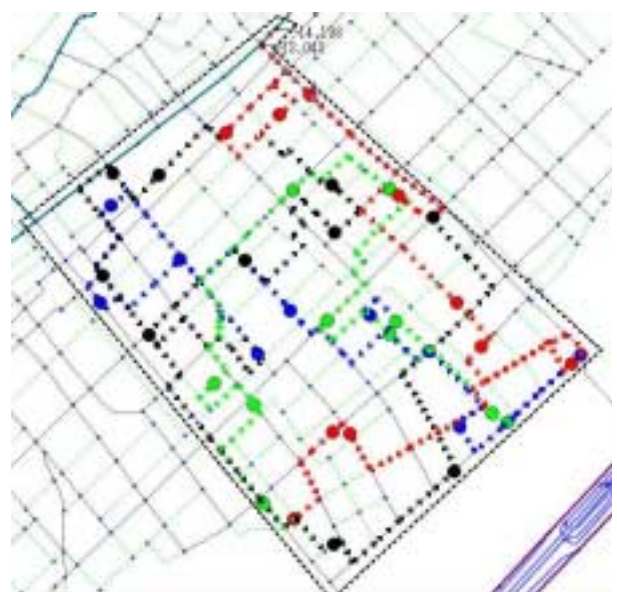


図9 配達箇所40を4グループに分けて  
配達した経路 19,809m

図 9 に結果を示す。当然ながら配達距離は長くなる。

#### 【中低層共同住宅の持ち上げ階数を平等にした配達経路】

図 10 に 100 箇所の 1～5 階の中低層共同住宅があったとして、乱数で階層も割り当てた場合である。なお、50 箇所というのは、一日の配達箇所としては通常の数である。

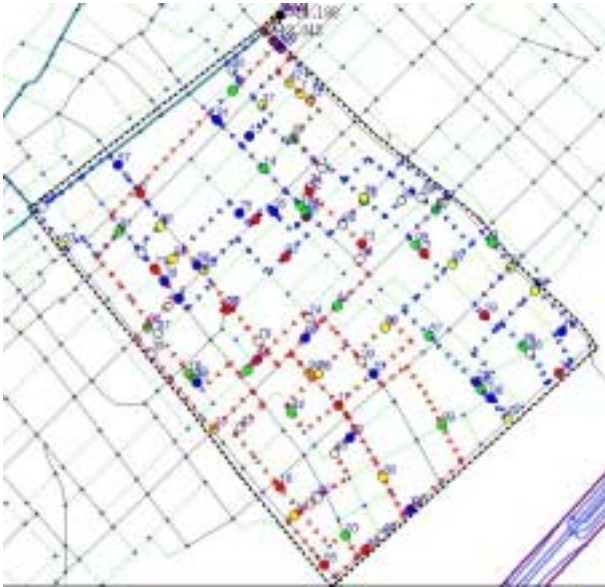


図 10 1～5 階の中低層共同住宅を  
2 名の配達担当が配達する経路  
配達担当 1：配達距離 = 9,592  
総持ち上げ階数 = 152  
配達担当 2：配達距離 = 9,289  
総持ち上げ階数 = 145

## 6. 処理のまとめ

2. でも述べたように、これらの結果が最適な経路であるとの保障はない。しかしながら、ごく常識的な解が得られたと思われる。

コンピュータの負荷は 5. の範囲内では計算時間が長いものでも 5 分 (Pentium4, 1.5GHz, メモリ = 512MB) 以内であった。

## 7. 結びに代えて残された課題

実際の業務では、配達経路を配達担当に割り当てるよりも、配達担当の急な休暇による他の担当

者に対する振り向け、配達先の増減による経路の変更の手配など、アルゴリズムの研究以前のことで忙殺されている。

中低層共同住宅の持ち上げ階数を平等にすることは当然のことと思うが、そこまで計画するゆとりがないことも事実である。

つまり、現場は労務管理に忙殺されていると言っても過言でない。

この研究が現場で生かされるためには、次のようなことを研究し、実用化すべきであろうと思われる。

- (1) 顧客の位置情報とその取り付け道路との関係を求め、地図表示できること。
- (2) その上で、現配達ルートに合わせて、より最適なルートを調べ、改良すること。
- (3) 現在の配達ルートに、配達箇所の増減があった場合にも素早く最適ルートを選べること。
- (4) 急な代配が発生したときの最適ルートを迅速に選べること。
- (5) 配達担当者にわかりやすい配達経路図が渡せること。
- (6) 上記作業が極めて簡単に、しかも誤りが無いようなシステムを作ること。

本報告で用いた MapInfo の地図システムは、幸いにも OLE (Object Linking and Embedding) が使用できるので、Visual Basic または C++ による統合システムが構成できる。これによって、上記システムを作ることが可能である。

現在 Visual Basic による統合システムを構築中で、本報告では僅か 1.4 k m<sup>2</sup> の領域であったが、30 k m<sup>2</sup> 以上の領域での配達最適化問題を扱っている。この場合は、道路点や道路区間が 3,000 以上となる可能性があり、コンピュータの計算パワーが問題となる。

MapInfo の地図は白地図に近い。したがって経路を指示するには、目標となる建造物等の目印がない。MapInfo の地図は他の地図システムを上

貼り付けることが可能である。他の地図システムでは建物をかなり詳しく表示しているので、経路を指示する場合に有効と思われる。

本報告ではまったく除外したが、配達時間の問題は、配達先の時間に合わせる必要があり、重要である。道路による速度の違い、交差点の種類による通過時間ロスなどを含める必要がある。

## 謝辞

本研究を始めた動機付けを与えてくださり、また種々の調査にご協力いただいた「生活協同組合ちばコープ」に感謝いたします。特にご協力いただいている同組合の小畑氏に感謝します。

本研究のための調査やプログラムのチェックのために協力してくれた本学の大学院生と学部学生に感謝します。

## 参考文献（倉田の分のみ）

倉田是 “ 配達ルート最適化問題 ” ，日本シミュレーション&ゲーミング学会第10回全国大会，11月(1998)

倉田是 “ 配達経路最適化の一方法 ” ，流通経済大学流通情報学部紀要，Vol.4, No. 1 ，10月(1999)

倉田 “ 配達経路最適化問題について ” ，日本シミュレーション&ゲーミング学会第11回全国大会，10月(1999)

倉田是 “ 地図データを使った配達経路最適化アルゴリズム ” 流通経済大学流通情報学部紀要，Vol.4, No.2 ，4月(2000)

倉田是 “ 地図データを使った戸別配達経路最適化 ” ，情報処理学会，高度交通システム研究会，9月(2000)

倉田是 “ 道路の渋滞に対応して経路を変更することが可能な戸別配達経路最適化 ” ，日本シミュレーション&ゲーミング学会，第12回全国大会，10月(2000)

倉田是 “ Uターンをしない配達経路探索問題 ” ，日本シミュレーション&ゲーミング学会，第13回

全国大会，10月(2001)

倉田是 “ 配達順のグループ分け可能なUターンを行わない配達経路探索 ” ，電気四学会東海支部連合大会，11月(2001)