

瀬戸市における救急車の最適守備範囲問題

2000MM085 鈴木 英敬

2000MM102 山田 健太郎

指導教員 鈴木 敦夫

1 はじめに

救急車の出動要請は、いつどこであるか分からないものであり、なおかつできるだけ最小の時間で現場に到着しなければならない。常に時間との勝負である消防機関の仕事において、新たな救急車格納施設の設立や守備範囲を変えることで、今までよりも短時間で現場に到着することができ、さらに効率の良いサービスが実現できると思われる。新たな救急車格納施設の設立については、多くのコストを必要とするため実現は困難であると予想されるが、守備範囲については多くのコストをかけることなく現実的に可能であると思われる。そこでわれわれは、救急車の守備範囲について研究を進める。

現在、瀬戸市には3つの消防機関があり、瀬戸市の消防機関は、瀬戸市全体を6つのグループに分けるという守備態勢を取っている。その1つ1つのグループを管区と呼ぶ。この6という数字は、3つの消防機関の順列の総数である。この管区によって、ある地点から救急車の出動依頼が出た時、3つの消防機関の中で最優先に出動する消防機関の救急車と、その最優先して担当する消防機関の救急車が、既に他の地点からの出動依頼のために出動できない場合、次はどこの消防機関の救急車が出動するかという優先順位が決められている。われわれは、この管区の割り当て問題について大きな興味を持った。管区の割り当ての問題は、救急車の到着が1分1秒遅れるだけで、傷病者の症状によっては人の生死に関わる重要な問題である。そこで本研究では様々な方法で最適な管区の割り当てをし、現在の管区と比較する。

2 愛知県瀬戸市について

2.1 瀬戸市の紹介

愛知県瀬戸市は都市部と山間部を持つ、世帯数 48,491 戸、人口 132,415 人の市である。瀬戸市は東西に 12.8km 南北に 13.6km と広がっており、総面積は 11,162km² である。

2.2 データについて

瀬戸市消防局の方の御協力により瀬戸市内の各町丁目においての平成 14 年度出動依頼件数のデータと管区のデータを頂いた。平成 14 年度における救急車の出動依頼件数は 3,853 件であり、その件数は年々増加している。この 11 年間の人口増加率は 3.8 % ほどであるのに、救急車の出動依頼件数は増加率は 39.9 % ときわめて高い。このことから救急車システムへの期待が高いことが分かる。

2.3 瀬戸市の消防機関の現状について

現在瀬戸市には、3つの消防機関(本署、東署、南署)が存在し、4台の救急車が配備されている。4台の救急車の配備方法は、本署に2台、東署に1台、南署に1台である。ただし、本署に存在する2台の救急車は、1台が新型でもう1台が旧型であり、新型の方を優先して出動させる。したがって新型の出動回数は、旧型の出動回数に比べて圧倒的に多い。

2.4 消防機関から町丁目への直線距離と図の出力

ゼンリン電子地図帳 Z [zi:]6 を使用して各消防機関や各町丁目の経度と緯度を求めた。これによって Microsoft Excel 2000 を使い、各消防機関から各町丁目までの直線距離を距離を求めることができる。図の出力についても Microsoft Excel 2000 を使い、プロットをし出す。

2.5 平成 14 年度救急車のデータについて

平成 14 年度における救急車の出動依頼件数は 3,853 件である。ただし、本研究では、3,853 件の出動依頼件数のうち不明なデータが 7 件あり、そのデータを除いた。したがって、3,846 件のデータとする。現在、瀬戸市には 432 の町丁目があり、そのうち救急車の出動依頼があったのは 345 の町丁目である。同データには、以下のことが記されている。

- 署所名
- 車両番号
- 出動番号
- 受令場所
- 町丁目コード
- 現場までの距離(走行距離)(km)
- 総距離(km)
- 現場到着時間(分)

これらのすべてのデータを各町丁目や各消防機関や各救急車ごとにまとめた。

2.6 走行距離、時速、現場到着時間、出動依頼件数について

平成 14 年度のデータから現場までの距離(走行距離)、現場到着時間をもとにして各救急車ごとの平均走行距離、平均時速、平均現場到着時間を求める。ここで、平均時速についてはそれぞれ 1 件 1 件の時速のデータに対して、各消防機関ごとの時速の総和を、各消防機関の出動依頼件数で割って出す。ただし、すべての出動依頼件数の中で、実際に各消防機関以外から出動しているデータを除く。

2.7 管区について

それぞれの管区によって各消防機関の救急車の出動優先順位が決まる。表 1 は各管区の優先して出動する順の救急車を示す。ただし、前述の通り、本署には 2 台の救

急車が存在して新型を優先して出動させるため、優先出動パターンは表 1 のように全部で 6 つに分けることができる。本研究では、確率的要素を含まず研究を行うため、本署にある 2 台の救急車を統一して 1 台の救急車として考える。したがって、消防機関での管区分けをする。

表 1

管区	救急車の優先出動順位			
管区 1	本署の新型	本署の旧型	南署	東署
管区 2	本署の新型	本署の旧型	東署	南署
管区 3	東署	本署の新型	本署の旧型	南署
管区 4	東署	南署	本署の新型	本署の旧型
管区 5	南署	東署	本署の新型	本署の旧型
管区 6	南署	本署の新型	本署の旧型	東署

2.8 瀬戸市の定める管区の図

次の図 1 は、現在、瀬戸市の定める管区の図である。

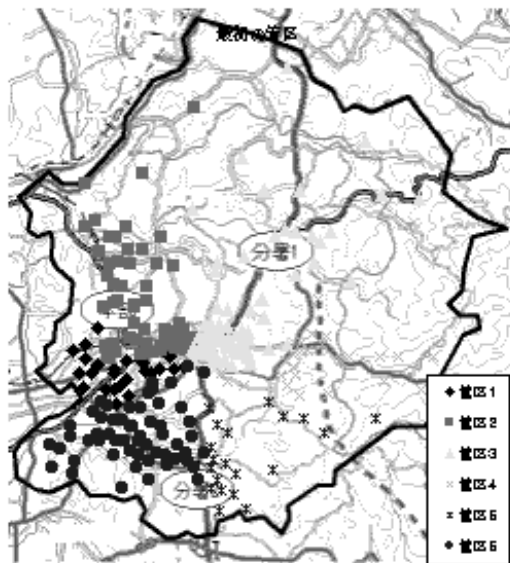


図 1 瀬戸市で用いられている管区

3 直線距離による管区分け

各消防機関から各町丁目までの直線距離から管区分けをしていく。ただし、ここでは平成 14 年度に出動依頼のあった 345 の町丁目と考えていくことにする。

3.1 解法

第 2 章で前述の通り各消防機関から各町丁目までの直線距離を求めた後、直線距離の近い順に消防機関を出して管区の割り当てをする。管区による出動優先順位は表 2 とする。この管区を求めるために、数理計画ソフトウェア What's Best!7.0 を使う。ただし、 $\alpha = 100$ 、 $\beta = 10$ 、 $\gamma = 1$ として、各消防機関から各町丁目までの

直線距離に重みを付ける。また、実行結果として出た管区と、瀬戸市で定められている管区と比較するために、一致率を求める。一致率は次のように定義する。

$$\text{一致率} = \frac{\text{実行結果の管区と現状の管区の正当数}}{\text{比較対象となる町丁目数}} * 100$$

表 2

管区	出動優先順位		
管区 1	本署	南署	東署
管区 2	本署	東署	南署
管区 3	東署	本署	南署
管区 4	東署	南署	本署
管区 5	南署	東署	本署
管区 6	南署	本署	東署

3.2 定式化

3.2.1 記号の定義

$I = \{1, 2, 3\}$: 消防機関

$J = \{1, \dots, 345\}$: 町丁目

$K = \{1, \dots, 6\}$: 管区

d_{ij} : 町丁目 j から消防機関 i までの直線距離

$$x_{jk} = \begin{cases} 1: \text{町丁目 } j \text{ が管区 } k \text{ に入る場合} \\ 0: \text{町丁目 } j \text{ が管区 } k \text{ に入らない場合} \end{cases}$$

$\alpha = 100$

$\beta = 10$

$\gamma = 1$

3.2.2 目的関数

$$\sum_{j \in J} \{ (\alpha d_{1j} + \beta d_{3j} + \gamma d_{2j}) x_{j1} + (\alpha d_{1j} + \beta d_{2j} + \gamma d_{3j}) x_{j2} \\ + (\alpha d_{2j} + \beta d_{1j} + \gamma d_{3j}) x_{j3} + (\alpha d_{2j} + \beta d_{3j} + \gamma d_{1j}) x_{j4} \\ + (\alpha d_{3j} + \beta d_{2j} + \gamma d_{1j}) x_{j5} + (\alpha d_{3j} + \beta d_{1j} + \gamma d_{2j}) x_{j6} \}$$

→ min

3.2.3 制約条件

$$\sum_{k \in K} x_{jk} = 1 \quad \forall j$$

$$x_{jk} \in \{0, 1\} \quad \forall j, \forall k$$

3.3 実行結果

結果を図 2 に示す。現在瀬戸市の定めている管区と一致した数は 215 個であり、一致率は 62.3 % である。

4 最短道路距離による管区分け

実際の道路には、鉄道や川があるために、道路距離を使うことで、より最適な解を出すことができる。したがって、この章では最短道路距離による分けをする。

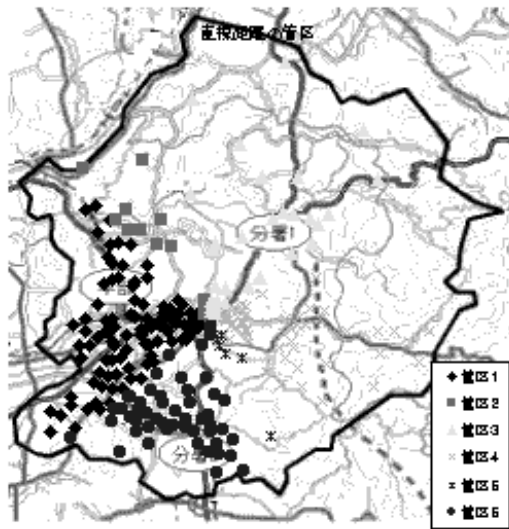


図2 直線距離による管区

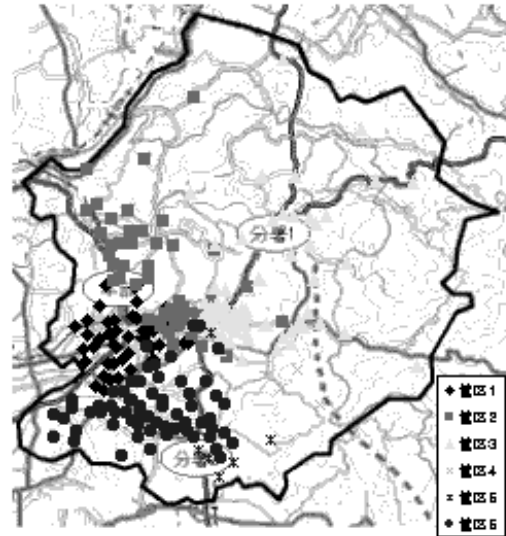


図3 最短道路距離による管区

4.1 解法

最短道路距離は第2章で前述したゼンリン電子地図帳Z [zi:]6 を使い求める。また、管区による出動優先順位を表2と同じにする。数理計画ソフトウェア What's Best!7.0 を使う。また、第4章と同様に一致率を求める。

4.2 定式化

用いた記号と目的関数と制約条件は、第3章と同様である。

ただし、 d_{ij} は、町丁目 j から消防機関 i までの最短道路距離とする。

4.3 実行結果

結果を図3に示す。現在、瀬戸市の定めている管区と一致した数は249個であり、一致率は72.1%である。

5 直線距離と出動回数のモデル

平成14年度における各町丁目から各消防機関の出動依頼件数と直線距離をモデル化し、管区分けをしていく。

5.1 解法

各消防機関から各町丁目までの直線距離を使う。また、出動依頼件数については、町丁目ごとの出動依頼件数を割合に応じて分配する。管区による出動優先順位は表2とする。この管区を求めるために、数理計画ソフトウェア What's Best!7.0 を使う。また、第3章と同様に一致率を求める。

5.2 定式化

5.2.1 記号の定義

$I = \{1, 2, 3\}$: 消防機関

$J = \{1, \dots, 345\}$: 町丁目

$K = \{1, \dots, 6\}$: 管区

C_j : 町丁目 j の出動依頼件数

d_{ij} : 町丁目 j から消防機関 i までの直線距離

$$x_{jk} = \begin{cases} 1: \text{町丁目 } j \text{ が管区 } k \text{ に入る場合} \\ 0: \text{町丁目 } j \text{ が管区 } k \text{ に入らない場合} \end{cases}$$

α : C_j の中で、最も多く担当した消防機関が、担当した件数の割合

β : C_j の中で、2番目に多く担当した消防機関が、担当した件数の割合

5.2.2 目的関数

$$\begin{aligned} & \sum_{j \in J} \{ (\alpha C_j d_{1j} + \beta C_j d_{3j} + (1 - \alpha - \beta) C_j d_{2j}) x_{j1} + (\alpha C_j d_{1j} \\ & + \beta C_j d_{2j} + (1 - \alpha - \beta) C_j d_{3j}) x_{j2} + (\alpha C_j d_{2j} + \beta C_j d_{1j} \\ & + (1 - \alpha - \beta) C_j d_{3j}) x_{j3} + (\alpha C_j d_{2j} + \beta C_j d_{3j} + (1 - \alpha - \\ & \beta) C_j d_{1j}) x_{j4} + (\alpha C_j d_{3j} + \beta C_j d_{2j} + (1 - \alpha - \beta) C_j d_{1j}) x_{j5} \\ & + (\alpha C_j d_{3j} + \beta C_j d_{1j} + (1 - \alpha - \beta) C_j d_{2j}) x_{j6} \} \rightarrow \min \end{aligned}$$

5.2.3 制約条件

$$\sum_{k \in K} x_{jk} = 1 \quad \forall j$$

$$x_{jk} \in \{0, 1\} \quad \forall j, \forall k$$

5.3 実行結果

結果の図は第3章の直線距離による管区図2と同じになる。また、正当率も同じになる。また、 α と β については、1つの町丁目注目して、各消防機関の中で、町丁目 j の最も出動依頼件数の多い消防機関の出動依頼件数を C_j で割る。それをすべての町丁目について求めて

合計し、それを 345(全町丁目数) で割ったものを α とする。また、 β は、2 番目に出動依頼件数の多い消防機関の出動依頼件数について、 α と同じ計算をして求める。その結果、 $\alpha = 0.926$ 、 $\beta = 0.071$ 、 $1 - \alpha - \beta = 0.003$ となり、目的関数値は 6,338,533m となる。これは、元の出動回数と直線距離を掛けた 6,521,293m に比べ改善された。

6 最短道路距離と出動回数のモデル

平成 14 年度における各町丁目から各消防機関の出動依頼件数と、最短道路距離をモデル化し、総移動距離最小化による管区分けをしていく。

6.1 解法

各消防機関から各町丁目までの最短道路距離を使う。また、管区による出動優先順位は表 2 とする。この管区を求めるために、数理計画ソフトウェア What's Best!7.0 を使う。また、第 3 章と同様に一致率を求める。

6.2 定式化

用いた記号と目的関数と制約条件は、第 5 章と同様である。

ただし、 d_{ij} は、町丁目 j から消防機関 i までの最短道路距離とする。

6.3 実行結果

結果の図は第 4 章の最短道路距離による管区分け 3 と同じになる。また、一致率も同じになる。第 5 章と同様、 $\alpha=0.926$ 、 $\beta=0.071$ 、 $1 - \alpha - \beta = 0.003$ とする。その結果、目的関数値は 9,089,904m となる。これは、元の出動回数と道路距離を掛けた総移動距離 9,207,600m に比べ改善された。

7 考察

実行の結果、第 3 章と第 5 章が同じになり、第 4 章と第 6 章も同じになる。つまり、定式化に出動回数を絡めても結果は同じになる。その理由として、定式化にある C_j が定数であり、目的関数の式は次のように変形できるためである。これより α 、 β 、 $1 - \alpha - \beta$ は、直線距離と最短道路距離の重みとなる。

$$\sum_{j \in J} C_j \{ (\alpha d_{1j} + \beta d_{3j} + (1 - \alpha - \beta) d_{2j}) x_{j1} + (\alpha d_{1j} + \beta d_{2j} + (1 - \alpha - \beta) d_{3j}) x_{j2} + (\alpha d_{2j} + \beta d_{1j} + (1 - \alpha - \beta) d_{3j}) x_{j3} + (\alpha d_{2j} + \beta d_{3j} + (1 - \alpha - \beta) d_{1j}) x_{j4} + (\alpha d_{3j} + \beta d_{2j} + (1 - \alpha - \beta) d_{1j}) x_{j5} + (\alpha d_{3j} + \beta d_{1j} + (1 - \alpha - \beta) d_{2j}) x_{j6} \} \rightarrow \min$$

8 おわりに

本研究における管区分けは、当初直線距離を採用していたが、最終的に道路距離を採用した。瀬戸市において、道路距離は直線距離の 1.40 倍という結果が出たので、

直線距離と道路距離では実行結果に大きな差が出る。

また、本研究の結果で求めた管区の図は、総合的に見て、バランスに欠けることが分かる。それに対して、瀬戸市の現状の管区分け図 1 は、管区と管区の境界が明確であり、さらに各管区の面積は大体均等になっている。つまり、瀬戸市で現在用いられている管区は、町の成り立ちによって区分けしているため、総移動距離最小化という目的を厳密に定義しているわけではないと思われる。

救急車の守備範囲問題では、平面的な需要の分布だけでなく、サービス要求の到着過程とサービス終了過程という確率的な要素にも依存している。救急車には、以下のような不確実性を含んでいる。

- 救急車に対するサービス要求は、いつどこで発生するか分からないという不確実性。
- 救急車には、利用可能な状態と利用不可能な状態があるという、救急車の状態の不確実性。
- 時間帯よっての道路の混雑による到着時間の不確実性。
- 本研究では、最短道路距離を求めたが、救急車が必ずしもその道路を通っているとは限らないという不確実性。
- 様々な場所から発生したサービス要求を、それぞれの場所の救急車が対応することによって生み出されるサービス時間の不確実性。

これらの不確実な要素のため、今回の結果が、必ずしも最適な結果とは限らない。したがって、これらの要素を含め、さらに深い研究を行うことが必要である。

9 謝辞

本論文の作成にあたり、多大な助言を頂き、また 2 年間熱心に御指導して下さいました鈴木敦夫教授に心から感謝致します。そしてデータを提供して下さいました瀬戸市消防本部総務課消防防災係の春田尚志氏、また、親身になって本論文の作成に御協力して頂いた、大学院生の稲川敬介さんに深く感謝致します。お忙しい中、誠に有難うございました。

参考文献

- [1] 赤沢武雄：名古屋市救急車の最適配置、南山大学学位論文、2001.
- [2] 赤沢武雄、佐村拓、佐野智：救急施設の最適配置と守備範囲(名古屋市の救急車について)、南山大学卒業論文、1999.
- [3] 内田治：EXCEL による統計処理、東京図書、1999.
- [4] 大山達雄：公共政策 OR、朝倉書店、1998.
- [5] 「瀬戸市消防本部公式ホームページ」、
<http://www.city.seto.aichi.jp/fire/>.