

経路上の交叉点数による推定道路距離と 直線距離に基づく消防活動困難区域の比較

薄井 宏行

Comparison of Fire-Inextinguishable Areas Based on Estimated Road Network Distance and Euclid Distance

Hiroyuki USUI

Abstract: The probability that an arbitrary narrow road with less than the width of 6 meters is included in fire-inextinguishable areas based on road network distance and those based on Euclid distance is calculated, dealing with road network distance from an intersection on roads with more than the width of 6 meters to a narrow road as stochastic variable. By using the number of intersections, k , as the approximation of road network distance, it is found that 1) while the probability based on road network distance is 0.47 if $k = 3$, the probability is 0.96 if $k = 7$; 2) irrespective of k , the probability based on road network distance is higher than those based on Euclid distance. In particular, in case of $k = 3$, the former probability and the latter probability are 0.47 and 0.09, respectively.

Keywords: 消防活動困難区域(fire-inextinguishable area), 道路距離(road network distance), 直線距離(Euclid distance), 交叉点(intersection)

1. はじめに

近年、路地の魅力が再評価されている¹⁾。幅員の狭さは路地を魅力ある空間にする主要因である。他方、消防車等の緊急車両の通行や避難路を確保するために、幅員は原則的に4m以上確保されなければならない。2004年に国土交通省は建築基準法第42条第3項で規定される通称「3項道路」に関する運用通知を発出した²⁾。従来、3項道路の指定対象は物理的に拡幅が困難な2項道路に限られていた。ところが、前述の運用通知に基づいて、特定行政庁は細街路の美しい佇まいの保全・再生を図る場合に3項道路の指定を積極的に行うことが可能になった。

3項道路の指定基準の一つとして、「街路が整った地区」という基準がある。ところが、「街路が整った地区」であるかどうかを評価する方法は具体的に定められていない。薄井・浅見 (2009), Usui and Asami (2011) が指摘するように、月島地区において3項道路の指定実績を有する東京都中央区の場合、「街路が整った地区」

であるかどうかは、円滑な消防活動が可能かどうかに着目して評価されている。幅員6m以上の「消防車通行可能道路網」で囲まれた閉領域（以降、「閉領域」と記す。）における消防活動困難区域（fire-inextinguishable area, FIA）の有無に着目することで、「街路が整った地区」であるかどうかを評価する方法が提案されている³⁾。⁴⁾ 消防活動困難区域とは、消防車通行可能道路網からの直線距離が140m以上にある領域である⁵⁾。

消防活動困難区域は、消防車通行可能道路網からの直線距離に基づく領域である。ところが、牧・岡部 (2005), Okabe and Sugihara (2012) が指摘するように、平面上の直線距離が500m以内の場合、直線距離に対する道路距離の比は大きくかつばらつきは大きい^{6,7)}。このため、消防車通行可能道路網からの直線距離が500m以内の場合、道路距離は直線距離に比例するとはいえない。従って、閉領域内における任意の道路（以降、「狭幅員道路」と記す。）及び沿道建築物の円滑な消防活動が可能かどうかを評価する際に、直線距離に基づく消防活動困難区域の定義は不適切である。

本稿では、道路距離の近似指標として、消防車通行可能道路網から狭幅員道路の経路上の交叉点数 k を用

表1： k 次リンクの本数，長さの平均・標準偏差，FIAに含まれる k 次リンク，行止り道路の本数（東京23区の場合）

k	$\#L_k$	$E[d(l_k)]$	s.d. $[d(l_k)]$	$\#L_k$ in FIA / $\#L_k^*$	行止り道路の本数	γ_k
0	107,668	55.8	42.6	0.00	22,350	0.21
1	70,591	40.2	34.6	0.00	13,264	0.19
2	43,010	39.4	31.5	0.02	9,911	0.23
3	27,333	38.6	32.9	0.09	6,425	0.24
4	17,522	38.7	30.0	0.25	4,725	0.24
5	11,207	38.4	29.2	0.46	2,842	0.25
6	7,314	38.2	28.7	0.65	1,907	0.26
7	4,720	39.1	30.4	0.76	1,288	0.27

*FIAは消防車通行可能道路網からの直線距離に基づき計測． $E[d(l_k)]$ とs.d. $[d(l_k)]$ の単位はメートル．

いて，1)道路距離の推定精度を統計的に検証し，2)狭幅員道路が消防活動困難区域に含まれる確率を道路距離に基づいて評価する．そして，直線距離と道路距離の違いにより任意の狭幅員道路が消防活動困難区域に含まれる確率の違いを明らかにする．

2. 消防車通行可能道路から狭幅員道路への距離指標

消防車通行可能道路網から狭幅員道路への経路上の交差点数 k に着目する理由は二つある．第一に，交差点にて右左折する回数が多いほど，円滑な消防活動に支障をきたす恐れがあるからである．覚知ほか（2007）が指摘するように，隅切りがない狭幅員道路の交差点では，消防車の右左折は難しい⁸．第二に， k の値が高いほど，消防車通行可能道路網から狭幅員道路への経路距離は増加すると考えられるからである．このように， k は道路距離には反映されない道路網の複雑さと道路距離の近似指標の双方の性質を併せもつ指標である． k の値が高い地区ほど，円滑な消防活動に支障をきたす恐れがあるため，「街路が整った地区」と評価することはできない．

以降の議論で用いる用語と文字の定義を行う．図1のように，閉領域における任意の狭幅員道路を表すリ

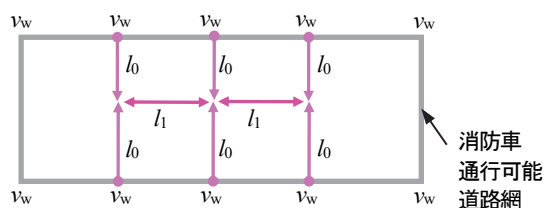


図1：文字の定義と k 次リンク

ンクを l_i と記す． l_i から閉領域を構成する消防車通行可能道路上の交差点 v_w へ到達するまでに経由する交差点数を m_i とする． v_w から k 番目（ $k=0, \dots, m_i$ ）に接続するリンク l_i の集合を L_k とし， $l_k \in L_k$ を「 k 次リンク」と記す．

実市街地の道路網における k 次リンクの本数 $\#L_k$ を計測してみよう．実市街地として東京23区の道路網を対象とする．使用する空間データは，道路網データとして昭文社の「mapple10000デジタルデータ（shape版）」である．データ取得年次は2007年，地図情報レベルは10,000である．図2は，杉並区阿佐ヶ谷付近における消防車通行可能道路網，狭幅員道路，消防活動困難区域（直線距離に基づく）を描いたものである．狭幅員道路を表すリンクの色が濃いほど， k の値は高い．



図2：消防車通行可能道路網と狭幅員道路

表1は、東京23区における計測結果を記載したものである。表1からつぎの四つの考察が得られる。第一に、 k の値が増加するに伴い、 $\#L_k$ は単調減少することがわかる。第二に、 k の値が増加するに伴い、行止り道路の本数は単調減少する一方で、 $\#L_k$ に対する行止り道路の本数の割合 γ_k は増加傾向にあることがわかる。第三に、 $k=4$ のとき、 k 次リンクが消防活動困難区域（直線距離に基づく）に含まれる確率 $\#L_k$ in FIA / $\#L_k$ は急激に増加する。 k の値が5以上の場合、 $\#L_k$ のうち半数以上の道路リンクは消防活動困難区域（直線距離に基づく）に含まれることがわかる。そして第四に、 k の値が2以上の場合、1) l_k の長さ $d(l_k)$ の平均 $E[d(l_k)]$ は約38mで一定していること、2) $d(l_k)$ の標準偏差 $s.d.[d(l_k)]$ は30m前後でほぼ一定していることがわかる。

以上の考察から、 k の最大値が4以上の狭幅員道路をもつ閉領域の場合、消防活動困難区域が存在する可能性があるため、円滑な消防活動の観点から「街路が整った地区」と評価することはできないといえる。

3. 消防車通行可能道路網からの道路距離の推定

消防車通行可能道路網から狭幅員道路への経路上の交差点数 k によって、消防車通行可能道路網から k 次リンクまでの道路距離：

$$d(k) \equiv \sum_{j=0}^{k-1} d(l_j). \quad (1)$$

を推定する。 $d(l_k)$ は様々な値をとることから、確率変数として扱う。このとき、 $d(k)$ も確率変数となる。 $d(k)$ の平均と分散は：

$$E[d(k)] \equiv E\left[\sum_{j=0}^{k-1} d(l_j)\right] = \sum_{j=0}^{k-1} E[d(l_j)], \quad (2)$$

$$V[d(k)] = \sum_{j=0}^{k-1} V[d(l_j)]. \quad (3)$$

ただし、任意の $i \neq j$ に対して、 $\text{Cov}[d(l_i), d(l_j)] = 0$ を仮定した。(2)式と(3)式において、 $E[d(l_j)]$ と $V[d(l_j)]$ の値は表1の $E[d(l_k)]$ と $s.d.[d(l_k)]$ の値から計算できる。 $d(k)$ を基準化すると、中心極限定理により、標準正規分布に従う：

$$Z(d(k)) \equiv \frac{d(k) - E[d(k)]}{\sqrt{V[d(k)]}} \sim N(0,1). \quad (4)$$

いま、有意水準を α 、有意水準に対応するパーセント点を Z_α とすると、 $E[d(k)]$ を推定量とするときの $d(k)$ の推定

精度は：

$$|d(k) - E[d(k)]| \leq Z_\alpha \sqrt{V[d(k)]}. \quad (5)$$

表2は東京23区における $d(k)$ の平均 $E[d(k)]$ 、標準偏差 $s.d.[d(k)]$ 、推定精度 $|d(k) - E[d(k)]|$ を記載したものである。ただし、 $\alpha = 0.1$ である。表2から、1) k の増加に対して $s.d.[d(k)]$ は逓減すること、2) k の増加に対して $d(k)$ の推定精度も逓減することがわかる。変動係数を算出すると、 $s.d.[d(1)] / E[d(1)] = 0.76$ である一方、 $s.d.[d(7)] / E[d(7)] = 0.30$ であることから、 k が増加すると、分布のばらつきは $E[d(k)]$ の近傍に集中する傾向にあることがわかる。

また、2次リンクの場合、 $E[d(k)] + s.d.[d(k)] = 150.9\text{m}$ であることから、円滑な消防活動を行うことのできる確率は84%である。他方、3次リンクの場合、 $E[d(k)] = 135.4\text{m}$ であることから、円滑な消防活動を行うことのできる確率は約50%に減少することがわかる。

表2： $d(k)$ の平均、標準偏差、推定精度

k	$E[d(k)]$	$s.d.[d(k)]$	$ d(k) - E[d(k)] $
0	-	-	-
1	55.8	42.6	83.5
2	96.0	54.9	107.6
3	135.4	63.3	124.1
4	174.0	71.3	139.7
5	212.7	77.2	151.3
6	251.1	82.7	162.1
7	289.3	88.1	172.7

単位：メートル

表3：狭幅員道路が消防活動困難区域に含まれる確率

k	$Z(140)$	$\Pr\{Z(140) \leq Z(k)\}$	$\#L_k$ in FIA / $\#L_k^*$
0	-	-	0.00
1	1.98	0.02	0.00
2	0.80	0.21	0.02
3	0.07	0.47	0.09
4	-0.48	0.69	0.25
5	-0.94	0.83	0.46
6	-1.34	0.91	0.65
7	-1.69	0.96	0.76

4. 道路距離に基づく消防活動困難区域

任意の k に対して、 $d(k)$ が140m以上となる確率：

$$\Pr\{d(k) \geq 140\text{m}\} \quad (6)$$

に基づいて、任意の狭幅員道路が消防活動困難区域に含まれるリスクを評価する。表3は、 $d(k) = 140\text{m}$ に対応する Z の値と $\Pr\{Z(140) \leq Z(k)\}$ を記載したものである。

表3から、1) 3次リンクが消防活動困難区域に含まれる確率は47%であること、2) 7次リンクが消防活動困難区域に含まれる確率は96%であることがわかる。

また、 k 次リンクが消防活動困難区域（直線距離に基づく）に含まれる確率 $\#L_k \text{ in FIA} / \#L_k$ と比較すると、道路距離に基づく場合のほうが直線距離に基づく場合よりも消防活動困難区域に含まれる確率は高いことがわかる。とくに、3次リンクが消防活動困難区域に含まれる確率を比較すると、道路距離に基づく場合は47%である一方で、直線距離に基づく場合は9%である。このように、道路距離に基づく場合は直線距離に基づく場合よりも安全側の評価であることがわかる。

実際の消防活動では、道路網に沿って消防用ホースを伸ばすことを踏まえると、道路距離に基づいて消防活動困難区域に含まれるリスクを評価するほうが適切であるといえよう。

5. おわりに

実市街地における道路網パターンは、規則的なものから不規則的なものまで多様である。本稿では、道路距離の一次近似として、消防車通行可能道路網から狭幅員道路への経路上の交叉点数 k を用いることで、道路距離の推定精度を統計的に検証し、狭幅員道路が消防活動困難区域に含まれる確率を道路距離に基づいて評価した。主な結論はつぎのとおりである。

第一に、道路距離に基づく消防活動困難区域に含まれる確率は、3次リンクの場合は47%であること、7次リンクの場合は96%であることがわかった。

第二に、 k 次リンクが消防活動困難区域（直線距離に基づく）に含まれる確率と比較すると、道路距離に基づく場合のほうが直線距離に基づく場合よりも、消防活動困難区域に含まれる確率は高いことがわかった。とくに、3次リンクが消防活動困難区域に含まれる確率

を比較すると、道路距離に基づく場合は47%である一方で、直線距離に基づく場合は9%である。このように、道路距離に基づく場合は直線距離に基づく場合よりも安全側の評価であることが定量的に明らかとなった。

参考文献

- 1)西村幸夫（編）（2006），「路地からのまちづくり」，学芸出版社。
- 2)柳沢厚・山島哲夫（編）（2003），「まちづくりのための建築基準法 集団規定の運用と解釈」，学芸出版社。
- 3)薄井宏行・浅見泰司（2009），「消防活動困難区域の有無に着目した道路網評価」，地理情報システム学会講演論文集，vol.18，pp.509-512。
- 4)Usui, H. and Asami, Y. (2011), An Evaluation of Road Network Patterns Based on the Criteria for Fire-Fighting, *Cybergeog: European Journal of Geography, Systems, Modelling, Geostatistics*, document 542.
- 5)浅見泰司（編）（2001），「住環境 評価方法と理論」，東京大学出版会。
- 6)牧尚史・岡部篤行（2005），「郊外型フィットネスクラブの高齢者会員の時空間行動分析」，地理情報システム学会講演論文集，vol.45，pp.29-34。
- 7)Okabe, A. and Sugihara, K. (2012), *Spatial Analysis along Networks: Statistical and Computational Methods*, John Wiley & Sons Ltd.
- 8)覚知昇一・吉川徹・中林一樹（2007），「道路狹隘地域における隅切りの設置と小型消防自動車の導入による旋回可能性の改善効果に関する基礎的考察」，日本建築学会計画系論文集，no.619，pp.125-132。