格子状通路モデルとその応用(1)
避難場所への誘導路設定に関する一考察

Lattice Path Model and its applications(1)
A study on assignments of evacuation routes

栗原和夫
KURIHARA Kazuo
朝日大学経営学部情報管理学科

要 旨

朝日大学の敷地に格子状通路モデルを設定し、指定した避難場所への誘導路を考えた。まず避難場所への最短路を作成し、その経路に沿った通路幅を考慮することによって、通路の狭窄部分を指摘した。狭窄部分を分離するために、モデルを修正しながら最適と考えられる３本の誘導路を見出した。最短路では必ずしもなく、狭窄部分を作らないような複数の誘導路が結局は渋滞をそれほど起こさない時間的に有利な誘導路であると考える。

１．はじめに

災害時における避難経路での人の行動は、CA（セルオートマトン法）を用いて解析されており、そこでは対象となる領域を格子状の区画（セル）で覆って表現している［文献１，２，３］。本論文ではそれらに倣って道路地図のない領域に格子状の通路を想定し、経路上の人の動きではなく、避難経路そのものの静的状況を考察対象とした。

カーナビやパーソナルナビでは、道路地図上の交差点間距離と道路のネットワーク情報を利用して、GPSで求めた現地点の位置から目的地までの最短経路を求めて利用者に利便を提供している。

道路ネットワークは一つの距離付きグラフであり、グラフの１つの節点から他の全ての節点への最短経路を求めるアルゴリズムは、1959年エドガー・ダイクストラ（Edsger Wybe Dijkstra）によって考案された。

このアルゴリズムは、開始点（節点）から直接行くことのできる隣接点（節点）の中から最短点（節点）と経路を逐次求めていくことによって、開始点から他のすべての点に対する最短経路の一つを見出すものである。

最短経路は、開始点を根(root)とする木(tree)で表現することができる。木（tree）を使って、開始点（root）から出た枝（branch）を辿り、任意の点に至る経路を示すことが出来る。

ダイクストラ法の現実問題への応用としては、カーナビで用いられている最短経路探索以外にも、配管設計に関する応用などが報告されている［文献４］。

道路地図がなく、道路のネットワーク情報もない場所でこのような最短経路を示す必要が生じた場合は、まず道路情報のようなデータを何らかの方法で作成しなければならない。

本論文では、道路地図のない場所として、工場内の敷地や大学キャンパス、港湾のヤードなどを考えている。また考える対象領域の道路は、公の道路とは違うという意味で、通路と表現することにする。

2．格子状通路モデル

道路地図のない領域に通路を作成する一つの簡便な方法として、その領域の画像をまず用意し、その全体を覆う格子状の通路から通行できない部分を削除していく方法がある。

画像を見ながら、通行できない部分を格子状通路から除いていくことによって、通行できる格子状通路が残り、これを対象領域の格子状通路モデルとする。

格子の幅を大きくすれば、粗いモデル、小さくすれば細かいモデルを作成することができ、目的に応じて格子幅は決定される。

図１は、ある公園の航空写真をもとに、公園全体を覆う格子状通路から、人が歩ける部分を抜き出した格子状通路モデルである。

図１　公園の格子状通路モデル

航空写真の左下にある縮尺の例示（mとftで表示）から、１格子長は約４mと計算される。このような格子状通路モデルに対して、出発点を示し、そこから他の総ての格子点に対する最短経路をダイクストラ法［文献５，６］によって求めることが出来る。

図２は、図右上の●を出発点とする最短経路木で、更に特定の終点（左下の●）に対する経路を太い線で示している。

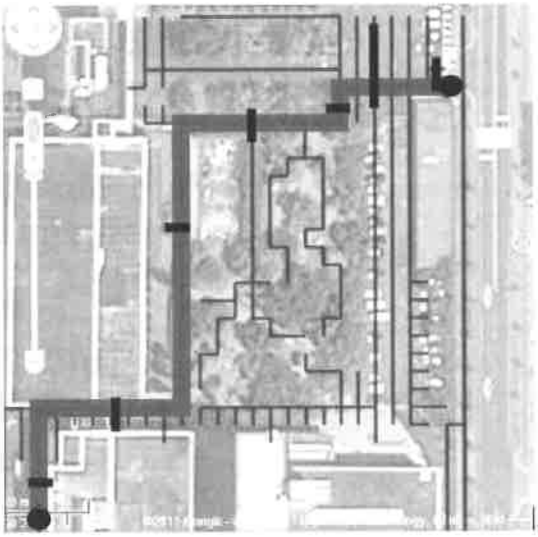

図２　最短経路木（tree）

領域の総てが格子で満たされた格子通路の場合、最短路は複数あることが知られており、Lattice Path Theoryでは、矩形格子においては、矩形領域の左下から右上に至る異なる最短格子経路の数は、横の格子数をa、縦の格子数をbとして、二項係数の

$$\binom{a+b}{a}$$

値と等しいことが知られている［文献７］。

従って格子状通路の場合、領域全体を格子が覆っていない場合でも、図２で示した最短経路は、いくつかある最短経路のうちの一つであることに注意しておかなければならない。

一つの経路を指定して人の移動を制限した場合、その経路の広さが問題となる。図２には経路に沿って部分的に経路の広さを太い線分で示してある。出発点で２格子幅であった通路は、途中で幅が広くなるが、更に進むと１格子幅となり、最終的に１格子幅となる。この経路を通って移動する人の移動時間は、通路の最小幅である１格子幅を通過する時間に依存している。

従って避難経路を決定する場合、単に最短経路からそれに決定するのではなく、経路の最小幅から推定される移動時間を考慮に入れ、場合によっては分岐するいくつかの経路を示すべきである。

3．避難経路の設定

朝日大学の運動場は、瑞穂市の災害時避難場所に指定されている。大学キャンパスは、北側1箇所、東側4箇所の門で外部道路と接続している。

避難が想定される場合、人は、外部からはこの門を通って入り、内部からは建物の出入口から外に出て通路を通り、運動場へ進むと想定される。

そのとき、大学内の経路をうまく設定して、人の流れを滞りなくまた短時間に指定された運動場へ導かなければならない。

短時間に導くためには、指定避難点への最短経路をまず考慮すべきである。また滞りなく導くためには、複数の集中しない経路を考えておくべきである。

この2つの方針で、朝日大学のラグビー場の中心を仮に避難場所中心（図4の太線四角部分）とした場合の避難経路を考えた。

まず、朝日大学全体の通路モデルをGoogle mapを基に作成すると、図3のようになる。朝日大学には、正門（進入部分(A)と退出部分(B)に分かれている）のほか、北門(C)、東通用口(D)、東門（E）および運動場門（F）がある。その位置は、いずれも図4を参照されたい。

地域住民は避難の場合、大学東側または北側にある公道を通って各門からキャンパスに入ってくるものと想定される。

各門からのラグビー場中心までの最短路を描い

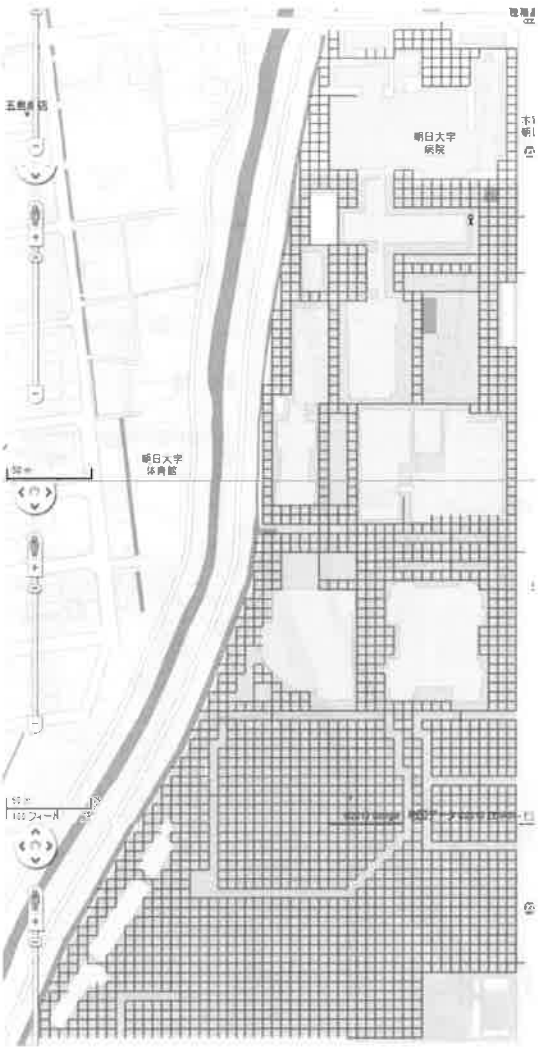

図3　朝日大学キャンパスの通路モデル

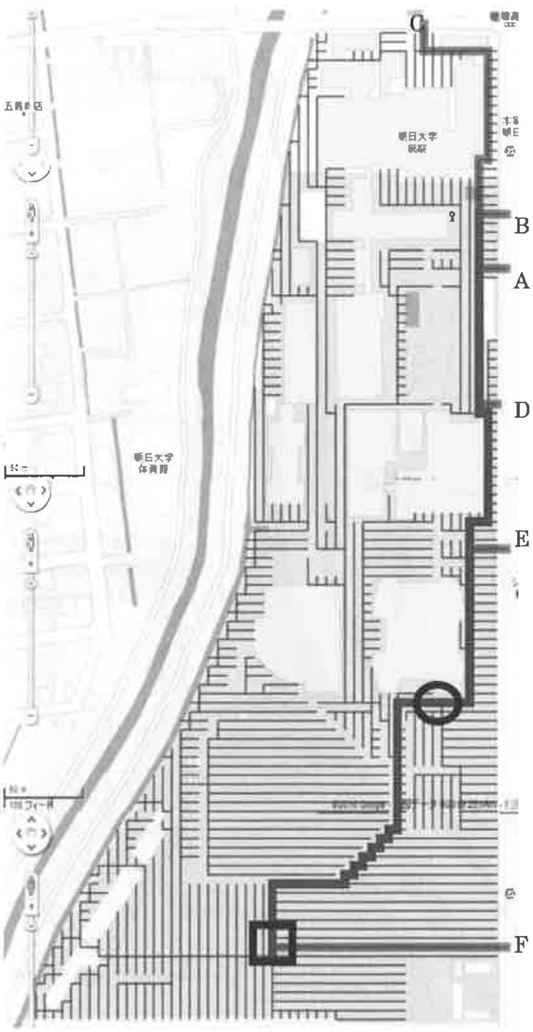

図4　各門からの最短路木（tree）

てみると図４の様になる。

避難通路は、運動場の門からそのまま避難場所中心に進む通路と他の門から合流しながら１本になる通路の２つの通路となる。

通路に沿って現場を調べ、通路の太さを測定してみると、図４の円で囲った部分は建物とテニスコートのネット柵に挟まれた１格子幅の広さしかなく、ここが移動上のネックとなることが分かった。

この経路を閉鎖するために、通路モデルを修正し、東門（E）のすぐ南をブロック（図中太線で示す）したのが図５である。

しかしこの場合も、図５の円で囲った部分が野球場の外壁とテニスコートのネット柵に挟まれた１格子幅の広さしかなく、ここに経路を集中させると、やはり混雑が生じると予想される。また、北門からの別ルートは、現地調査してみると狭い通路であり、ここを避難経路とするわけにはいかない。

結局､全体で４箇所のブロック(図６の太線分)を設け、望ましいと考えられる避難経路は、図６のようになった。

あわせて、図６上に建物の出入口を●で示している。建物の内部にいる人は、この出入口から出て最寄りの避難経路をたどり、避難場所へ移動することができる。

４．おわりに

対象領域への格子上通路モデルを作成し、避難

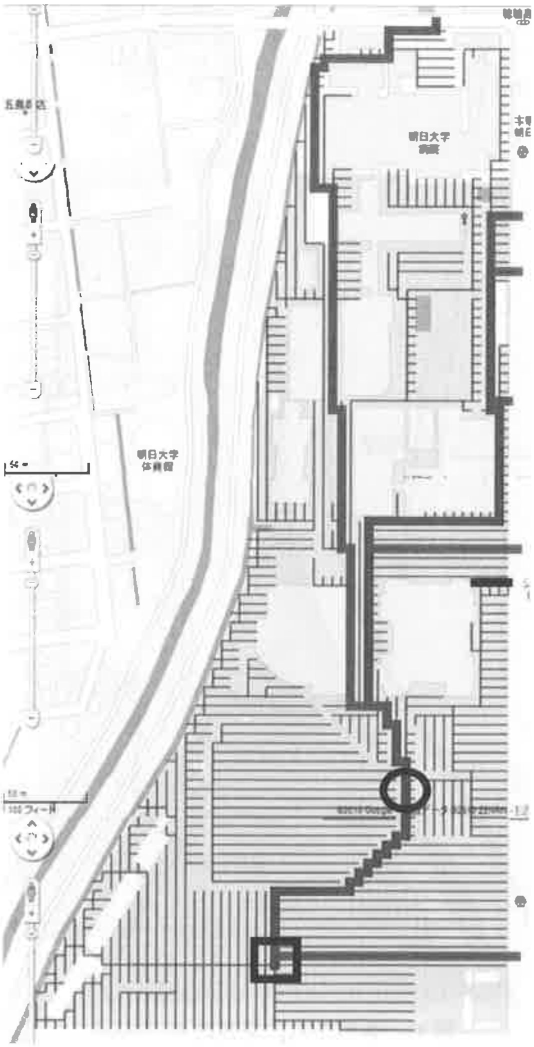

図５　新しいモデルによる最短路

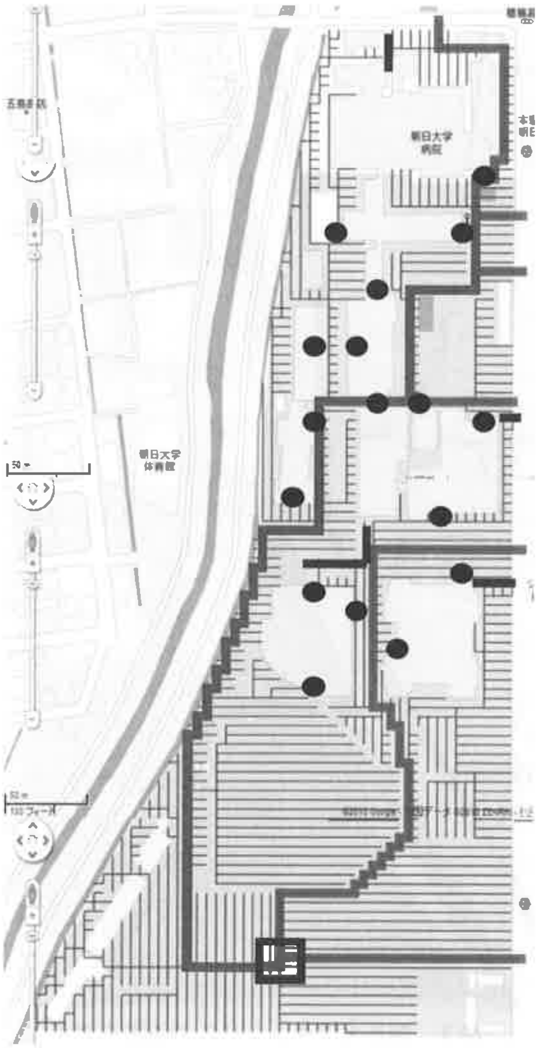

図６　３本の避難経路と４箇所のブロック

領域内の指定された地点への３本の避難経路を策定することができた。また物資の搬入は最も避難中心に近い運動場門からと決めるのが良さそうである。

縮尺の例示から１格子長は、約5.5mと計算できる。各門から実際に人を移動させ、避難場所中心までの時間を計測しておけば、格子路長との関係がわかり、移動時間を格子路長から推定することができる。

謝辞

査読者の指摘により、先行研究およびダイクストラ法の応用に関する文献をさらに読み進み、論文に反映することができた。このことに関して査読者に感謝したい。

参考文献

［１］大鋳史男、小野木基裕「セルオートマトン法による避難流動のシミュレーション」，日本オペレーションズ・リサーチ学会和文論文誌，Vol. 51，pp94－111，2008

［２］辻原治、今北智基、松川知憲、澤田勉「非難訓練の調査とCAに基づく避難行動シミュレーション」，土木学会地震工学論文集，2005

［３］近田康夫、浅地剛成、城戸隆良「CAを用いた避難シミュレーションに関する一考察」，土木学会構造工学論文集，Vol. 49A，2003

［４］木村元「ダイクストラ法を用いた配管設計アルゴリズム」，日本船舶海洋工学会講演会論文集，Vol. 11，pp121－124，2010

［５］茨木俊秀、福島雅夫「FORTRAN77最適化プログラミング」，岩波書店，pp237－247，1991

［６］奥村晴彦「C言語によるアルゴリズム事典」，技術評論社，pp83－84，1991

［７］E. Weisstein，「Lattice Path - - from Walfram MathWorld」，http : //mathworld.wolfram.com/LatticePath.html

(2011－08－12)
(2012－01－17改定)