

Google Earth による3次元表示機能を有する 簡便な避難行動シミュレーション

辻原 治¹・宮原和子²

¹和歌山工業高等専門学校教授
(〒644-0023 和歌山県御坊市名田町野島77)

E-mail:tsujihara@wakayama-nct.ac.jp

²和歌山工業高等専門学校 (〒644-0023 和歌山県御坊市名田町野島77)

災害時の避難に向けて、自主防災組織などにおいて避難訓練を行うことが重要である。しかし、災害の発生形態は様々ではなく、それぞれに応じた訓練を行うことは現実的ではない。一方、災害発生の曜日や時刻など様々なケースを想定した避難行動のシナリオを作成しておくは重要であり、また、避難訓練に参加できない住民が疑似体験できるソフトウェアを作成するといった観点から、避難行動をシミュレートする研究が実施されるようになった。しかし、住民レベルでの利用においては、利便性について改良すべき点が多い。

本研究では、解析モデルの作成から解析結果の3次元アニメーション表示までの手続きが簡便に行える避難行動シミュレーションシステムを開発した。

Key Words : evacuation, disaster, simulation, 3D animation, Google Earth

1. はじめに

津波等の災害が想定される地域において、避難場所や避難経路設定、避難誘導のためのサインの設置等を行う必要があり、避難に要する時間を割り出したり、被害を予測することも重要となる。しかし、一般に災害の状況を模擬した大規模な実験を行うことは容易ではなく、数回の実験が必要ともなると、ほとんど不可能である。また、実際の災害事例の調査を参考にすることも考えられるが、災害の状況は個別のものであり限界がある。

一方、災害時の避難行動をシミュレートする研究が実施されるようになった。避難場所や避難経路設定、避難誘導のためのサインの設置等の計画の立案をはじめ、災害発生の曜日や時刻など様々なケースを想定した避難行動のシナリオの作成や避難訓練に参加できない住民が疑似体験できるツールとしての利用が期待できる。

避難行動をシミュレートする手法は、ポテンシャルモデルを応用した方法¹⁾、個別要素法を応用した方法^{2,3)}、ペトリネットに基づく方法^{4,5)}、MAS (マルチエージェントシステム)に基づく方法^{6,7)}や CA (セルオートマトン)に基づく方法^{8,9,10,11)}等である。これらのうち、CA に基づく方法は、いわゆる複雑

系のシミュレーション手法として発展したセルオートマトン法¹²⁾を適用したもので、簡単なモデルと規則からは予測もできない程の複雑な現象や状態を表現し得る方法として近年注目されている。MAS も同様に複雑系の解析に用いられ、複数の知的なエージェントが相互作用を及ぼし合いながら現象を表現する。

今後このような研究を発展させて実用化するためには、個人の避難行動パターンを分析しモデル化に反映させるとともに、実際の大规模な避難行動とシミュレーションの整合性を比較検討することが不可欠である。著者らは、500 人程度の学生が参加して実施された学生寮の避難訓練を調査し、CA に基づく避難シミュレーションによる再現性について検討した¹³⁾。さらに、建物の出入り口や避難場所の手前のボトルネックとなる場所で特に混雑するため、人が集まる場所における密度に応じた歩行速度の低減効果を適切に考慮することにより、シミュレーションの精度はさらに向上することを示した^{14,15)}。

いま一つの課題として、実際に避難シミュレーションを利用する場合の利便性がある。解析モデルの作成が非常に煩雑で膨大な労力を必要としたり、解析結果の判読が複雑であれば、このことが避難シミュレーションの普及の妨げになりかねない。

2011 年 3 月に発生した東北地方太平洋沖地震における津波による犠牲者が多数に及んだことなどにより，避難訓練の補助的ツールとして自治体や自主防災組織等における避難シミュレーションの普及を促進していく必要があると考えられる．そのためには，利用者の利便性を重視したシステムの開発が重要である．

本研究では，著者らが開発したCAに基づく避難行動シミュレーションシステムを改良し，より簡単に利用でき，かつ解析結果がGoogle Earth¹⁶⁾上でウォークスルーアニメーションなどで表示できるようにした．

2. CAによる避難行動シミュレーション手法の概要

CA は，セルを格子状に配置させ，任意のセルの状態を周囲のセルの状態から決定し，各セルを同期的に動作させることで対象領域全体の状態を決定させるものである．その挙動が微分方程式等の支配方程式で表されるような問題に対しては，差分法や有限要素法等を用いて解くことは一般に行われるが，そのような定式化が困難な現象に対して，特に CA の効果が発揮される．

この方法によって複雑な現象を簡単なセル間の局所的相互作用から再現できるようになるため，様々な現象を解析できるようになった．生体，遺伝，拡散現象，結晶成長等の一般分野から道路網交通シミュレーション等の工学分野に渡る広い分野で研究がなされている．

避難シミュレーションをCAにより行うにあたって，対象領域を縦横等間隔の格子線で分割する．それぞれの格子がセルであり，セルの状態として，「障害物」，「通路」等が割り当てられる．「通路」のセルには「人」を配置させることができる．**図-1**に通路のセルに配置された「人」とその移動可能な方向を示す．CAによる避難シミュレーションにおいては，「人」の移動規則をどのように設定するかが重要である．本研究では，「人」の視野の範囲内で目標となるセルを目指して進行するという考え方¹²⁾を基本とした．

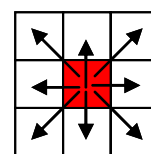


図-1 人の移動



図-2 画面表示された地図



図-3 解析対象領域の指定

3. 解析モデル作成方法の概要

避難シミュレーションの対象地域に対して，電子住宅地図等を参考に，それぞれのセルに対して属性情報を手作業で与えることは可能であるが，一般には煩雑で膨大な作業を伴う．本研究では電子地図の表示画面上で，避難シミュレーションの対象とする地域を任意に指定することで，建物および道路等のデータが自動的に各セルに割り当てらるシステム¹⁷⁾を用いている．住宅地図としてゼンリン OA-Area II¹⁸⁾を用いている．また地図表示エンジンにはカー

ネルの ActiveMap Is¹⁹⁾を用いた．以下に，解析モデル作成の手順を例示する．

図-2に示すように，コンピュータの画面に表示された地図上で，**図-3**のように解析対象エリアをマウスで指定する．このときエリア内の建物，道路等のポリゴン（**図-4**参照）の頂点座標および各ポリゴンの属性等のデータに関する情報が取得される．ポリゴンデータを再表示し（**図-5**参照），人の歩行速度を指定することによって，これに対応した大きさの

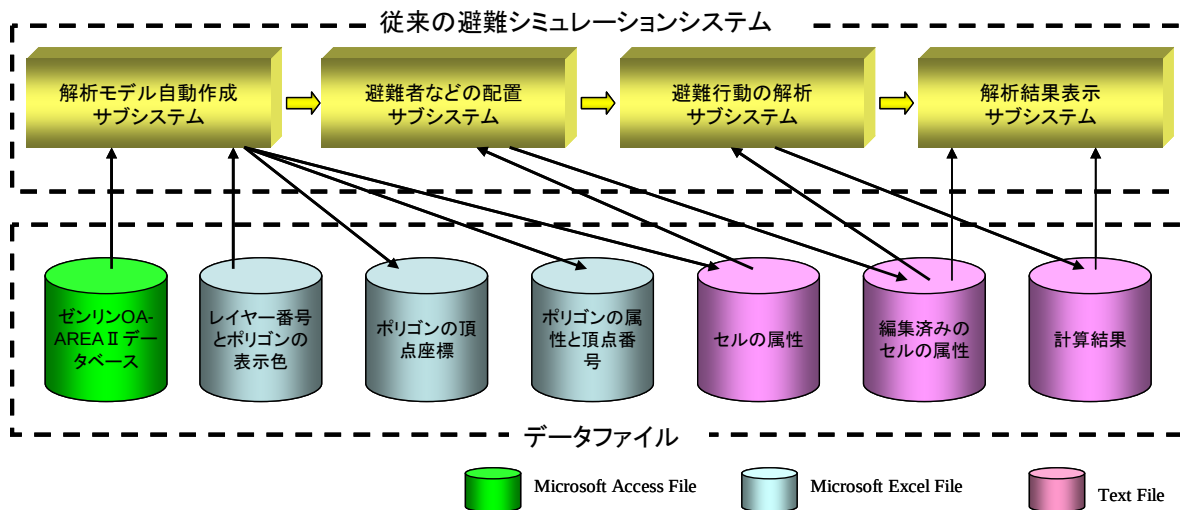


図-9 従来の避難シミュレーションシステムとデータファイルの関係

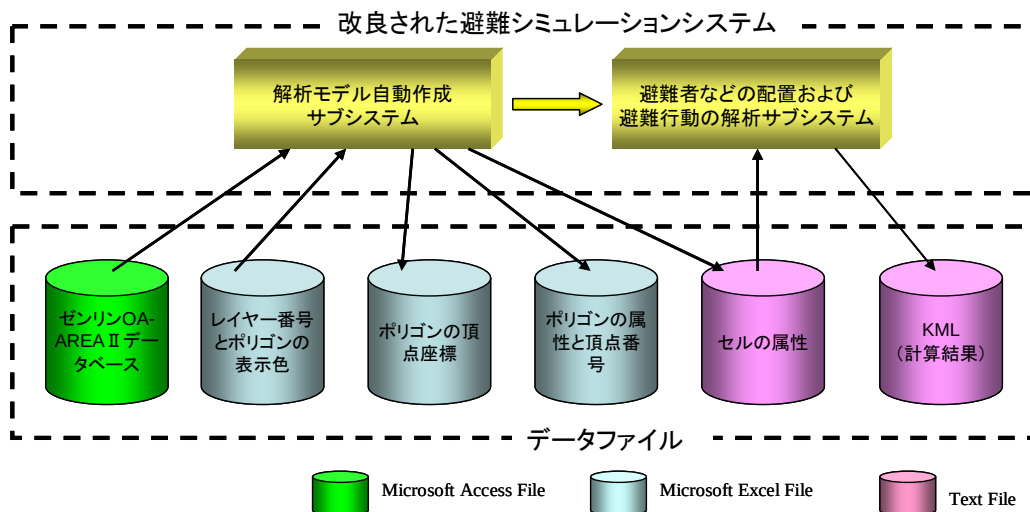


図-10 改良された避難シミュレーションシステムとデータファイルの関係

建物および道路等のメッシュデータが提供されれば、その後の避難シミュレーションまでの処理はすべてMicrosoft Excel上で行えるという利点がある。図-10に改良された避難シミュレーションシステムとデータファイルの関係を示す。

改良されたシステムにおいては、避難者などの配置と避難行動の解析が一つのサブシステムで行える。このときに用いられるExcelのシートの一部を図-11に示す。図-8に示すモデルにおいて、建物の出口に相当するセルをマウスで選択し、人数や属性などを登録する。災害発生直後、同時に避難行動が取られるとは限らない。建物毎の避難開始の遅延も考慮できるようにしている。避難者の人数や避難の遅延時間は乱数で与えることもでき、種々のケースを想定したシミュレーションが可能である。

また、改良されたシステムにおいては、解析結果を表示するためのサブシステムを持たない。これは、次章で述べるように、解析結果をKML (Keyhole

Markup Language)²⁰⁾の形式で出力することによって、Google Earth等を用いて表示できるようにしたことによる。

5. 解析結果の3Dアニメーション表示

従来のシステムでは、解析結果は別途Microsoft Visual Basicを用いて作成したプログラムを利用して、2次元のアニメーションで表示するものであった。しかし、自主防災組織や個人での利用を考えた場合、より臨場感のある表現が求められる。そこで、本研究では前章に示す手順で計算された避難シミュレーションの計算結果をKMLファイルに出力し、Google Earthが利用できるWeb環境下において、俯瞰による3Dアニメーション表示および特定の避難者から見たウォークスルーアニメーション表示ができるようにした。KMLはXML (Extensible Markup

解析領域(セル番号)		避難者の配置		
X1	10	出口のセルの番地	X	26
X2	35		Y	25
Y1	2	遅延時間	歩行者	5
Y2	27	人数	大人	2
			子供	2
			老人	0
1ステップの時間(秒)	0.1	出口のセルの番地表示		
準備		登録		
		変更		
計算開始		削除		
		人数を乱数で与える		
計算ステップ		遅延時間を乱数で与える		
避難完了者		登録済出口セルの表示		
避難者の配置				
X	Y	備考	遅延時間	人数 大人 子供 老人
23	5		0	1 1 1
34	15		10	2 1 0
26	25		5	2 2 0

図-11 避難者の配置および避難シミュレーションの実行用に作成された Excel のシート

Language) ベースのマークアップ言語であり、アプリケーションプログラムにおける3次元地理空間情報の表示を管理するために開発された。Google EarthやGoogle Mapで使用可能である。また、Web上にKMLファイルをアップロードして配布することも可能である。

(1) Microsoft Excel MacroによるKMLファイルの自動作成

避難行動の解析結果をKMLファイルとして自動的に出力させるために、Microsoft Excel Macroを用いた。図-12にKMLファイル自動作成のために用いるExcelのシートを示す。

黄色で網掛けされたセルの右側のセルに必要なファイル名や数値をキー入力し、「俯瞰による3Dアニメーション表示ファイルの作成」のボタンをクリックすることで、それぞれのKMLファイルが指定したフォルダに、指定したファイル名で作成される。

図-12において、ユーザーは、俯瞰による3Dアニメーション表示ファイルとウォークスルーアニメーション表示ファイルのファイル名とパス名および解析モデルにおける四隅の経緯度を入力する必要がある。ウォークスルーアニメーション表示のためのファイルを作成する場合は、どの避難者の視点で見えるかを指示するために、避難者に付けられている番号も入力しておく必要がある。

(2) 俯瞰による3Dアニメーションによる表示

俯瞰による3Dアニメーション表示のためのファイルの例を図-13に示す。タイムスパンという機能を使っており、指定したアイコンを避難者に見立て、それぞれのアイコンが位置する経緯度と滞在時間が

俯瞰による3Dアニメーション表示用ファイル		C:\KML\俯瞰.kml	
ウォークスルーアニメーション表示用ファイル		C:\KML\ウォークスルー.kml	
左上の緯度	34.222533	左上の経度	135.162231
右下の緯度	34.220905	右下の経度	135.16428
ウォークスルーを行う避難者の番号		1	
俯瞰による3Dアニメーション表示ファイルの作成			
ウォークスルーアニメーション表示ファイルの作成			

図-12 KML ファイル作成用の Excel のシート

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://earth.google.com/kml/2.2">
  <Document>
    <name>simulation</name>
    <open>1</open>
    <LookAt>
      <longitude>135.1632555</longitude>
      <latitude>34.221719</latitude>
      <altitude>0</altitude>
      <range>300</range>
      <tilt>20</tilt>
      <heading>50</heading>
    </LookAt>
    <Style id="icon-maru">
      <IconStyle>
        <Icon>
          <href>http://maps.google.com/mapfiles/kml/shapes/shaded_dot.png</href>
        </Icon>
        <scale>0.3</scale>
        <color>ffff00ff</color>
      </IconStyle>
    </Style>
    <Placemark>
      <TimeSpan>
        <begin>2011-10-11T00:00:00Z</begin>
        <end>2011-10-11T00:00:01Z</end>
      </TimeSpan>
      <styleUrl>#icon-maru</styleUrl>
      <Point>
        <coordinates>135.162679597833,34.2224580263158
        </coordinates>
      </Point>
    </Placemark>
  </Document>
</kml>
```

図-13 俯瞰による 3D アニメーション表示のために作成された KML ファイル（ファイルの一部を表示）の例

書き込まれている。

図-14に3Dアニメーションにおけるいくつかのシーンを示す。

(3) ウォークスルーアニメーションによる表示

ツアーという機能を使っており、カメラ位置を時々刻々指定した避難者の視点位置に一致させることでウォークスルーが実現できる。その際、カメラの高さや向きも指定する必要がある。ここでは、カメラの高さをグラウンドレベルから1.8mとした。カメラの向きについては、上下の角度と方位を指定することになる。上下方向の角度は90°に設定した。これにより、常に視点の高さで水平方向を見ることになる。カメラの方位については、一定値を設定するわけに行かない。基本的には進行方向に向けることになるので、指定された避難者の進行方向が変わるたびに設定し直すことになる。しかし、混雑等の理



(a) 避難開始直後



(d) 避難開始から 90 秒後



(b) 避難開始から 30 秒後



(e) 避難開始から 120 秒後



(c) 避難開始から 60 秒後



(f) 避難開始から 150 秒後

図-14 避難行動シミュレーションの結果を示す動画のシーン

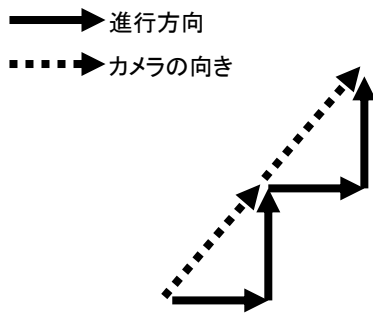


図-15 進行方向とカメラの向き

由で、シミュレーションの結果、図-15に示すように、歩行がジグザグになるような場合、カメラの向きを忠実に進行方向と合わせると、急激な景色の変化が連続するため非常に見づらくなる。本研究では、図に示すように、結果として斜め方向の移動となるような場合には、カメラの方向をこれに合わせるようにしている。

図-16にウォークスルーアニメーションにおけるいくつかのシーンを示す。建物にマッピングが施されていないため、臨場感に欠けるところがある。今後、Googleのストリートビューの機能を取り込むなどで、さらに臨場感のある表現を追求していく予定である。

6. まとめ

本研究は、利用者の利便性を重視した避難行動シミュレーションシステムの開発を目的とした。市販の電子住宅地図から建物や道路などシミュレーションに必要な解析モデルが作成でき、避難者を配置することで簡単に避難行動シミュレーションが行えるシステムを構築した。

以下に本研究で得られた成果を要約する。

- 1) 著者らが開発した従来のシステムにおいては、解析モデルの作成から解析結果の表示までが、4つのサブシステムを順次実行することでなされた。利便性を考慮し、避難者などを配置するサブシステムと避難行動の解析を行うサブシステムを統合して簡略化した。
- 2) 避難者の配置および避難行動解析はMicrosoft Excelを用いて行うことができるため、安価にユーザーにとってより利用しやすい環境を整えた。
- 3) 避難行動の解析結果はKMLファイルとして出力される。これにより、インターネット環境下において無料で使用できる3DマップのGoogle Earth上で、避難が時々刻々進んでいく様子を見ることができるようになった。
- 4) 避難行動をシミュレートする地域について、建物および道路など街並みの解析モデルを提供することで、後のすべての処理をMicrosoft Excel

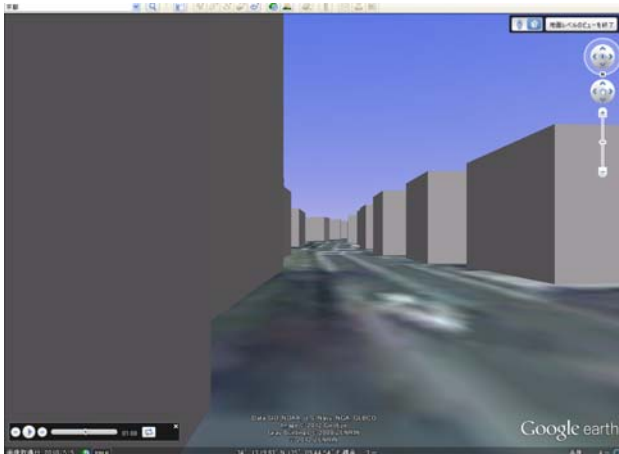
とGoogle Earthが利用できる環境下で行えるため、ユーザーにとって安価でかつ簡便に利用できるシステムが構築できた。

今後、解析結果の表示において、臨場感を増すためにGoogle ストリートビューなどを用いることが考えられる。

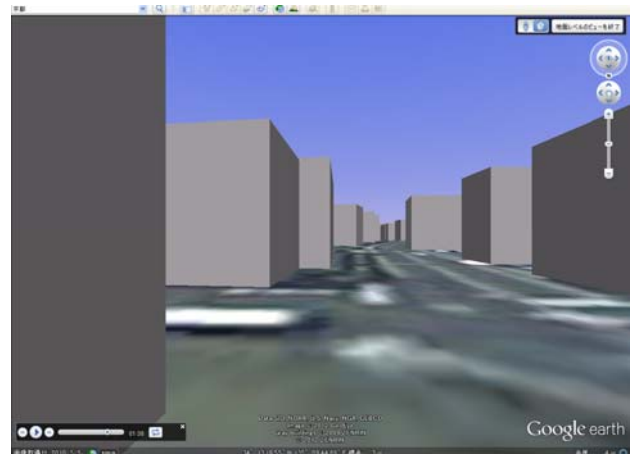
謝辞：本研究の一部は、平成22年度JR西日本あんしん社会財団からの助成（助成番号：westjrf10R008）によった。記して謝意を表す。

参考文献

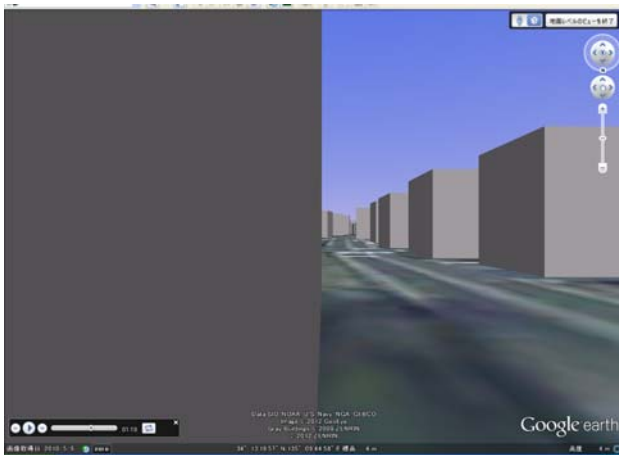
- 1) 横山秀史，目黒公郎，片山恒雄：避難行動解析へのポテンシャルモデルの応用，土木学会論文集，No.513/I-31, pp.225-232, 1995.
- 2) 清野純史，三浦房紀，瀧本皓一：被災時の群衆避難行動シミュレーションへの個別要素法の適用，土木学会論文集，No.537/I-35, pp.233-244, 1996.
- 3) 清野純史，三浦房紀，八木宏晃：個別要素法を用いた被災時の避難行動シミュレーション被災時の群衆避難行動シミュレーション，土木学会論文集，No.591/I-43, pp.365-378, 1998.
- 4) 二神透，木俣昇：背景画像上での避難ペトリネットシミュレーションへのプロブ情報技術の活用化研究，土木情報利用技術論文集，Vol.14, pp.33-40, 2005.
- 5) 源貴志，成行義文，藤原康寛，三神厚，澤田勉：自主防災組織で活用可能な津波避難シミュレーションシステムの開発に関する基礎的研究，土木学会地震工学論文集，Vol.29, pp.756-764, 2007.
- 6) 竹下史朗，小林一郎，山田文彦，上野幹夫：マルチエージェントモデルを用いた洪水・避難シミュレータの開発，土木情報利用技術論文集，Vo.16, pp.203-212, 2007.
- 7) 堀宗朗，犬飼洋平，小国健二，市村強：地震時の緊急避難行動を予測するシミュレーション手法の開発に関する基礎的研究，社会技術研究論文集，Vo.3, pp.138-145, 2005.
- 8) 山本英臣，森下信，中野孝昭：セルラオートマトンによる人の流れシミュレーション，日本機械学会機械力学計測制御講演会論文集，98, 8, pp.261-264, 1998.
- 9) 松田泰治，大塚久哲，樗木武，内田広明：セルオートマトン法を用いた地下街の避難行動シミュレーションに関する一考察，地域安全学会論文集，No.2, pp.95-100, 2000.
- 10) 近田康夫，廣瀬智士，城戸隆良：CAを用いた歩行シミュレーションモデルの構築，土木情報システム論文集，Vol.9, pp.19-30, 2000.
- 11) 井面仁志，白木渡，堂垣正博，有友春樹：CAによる災害時の人間行動を考慮した避難シミュレーション，土木学会第59回年次学術講演会



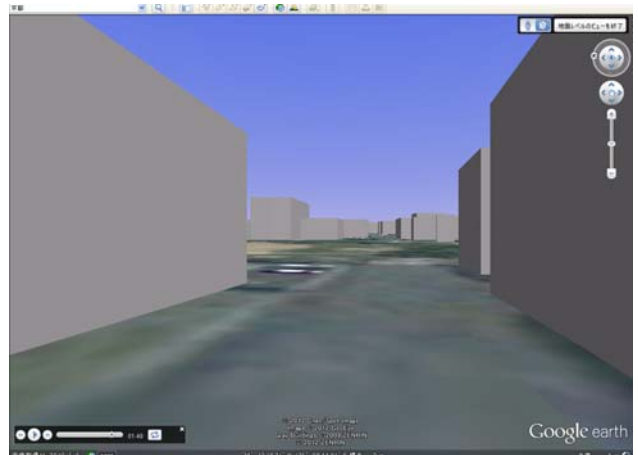
(a) 避難開始から 60 秒後



(d) 避難開始から 90 秒後



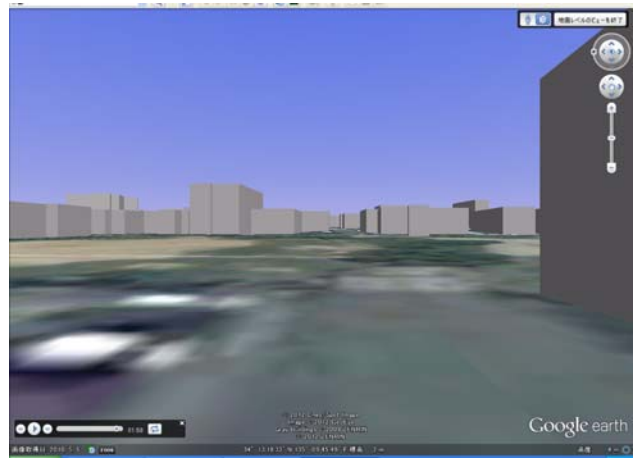
(b) 避難開始から 70 秒後



(e) 避難開始から 100 秒後



(c) 避難開始から 80 秒後



(f) 避難開始から 110 秒後

図-16 一避難者の行動におけるウォークスルーアニメーションのシーン

- pp.135-137, 養賢堂, 2003.
- 13) 辻原治, 今北智基, 松川知憲, 澤田勉: 避難訓練の調査と 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, Vol.28, pp.1-10 (in CD-ROM), 2005.
 - 14) 辻原治: 避難行動シミュレーションシステムとその検証に関する研究, 土木情報利用技術講演集, vol.33, pp.5-8, 2008.
 - 15) 辻原治: 大規模避難行動の CA によるシミュレーションについて, 土木学会地震工学論文集, 第 30 巻, pp.697-704, 2009.
 - 16) GoogleEarth : URL: <http://www.google.co.jp/intl/ja/earth/>, 2012.
 - 17) 辻原治: CA による避難行動シミュレーションのための解析モデル作成の自動化に関する研究, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol.66, No.1, pp.270-277, 2010.
 - 18) ゼンリン : URL: <http://www.zenrin.co.jp/product/gis/zmap/zmapappli-map.html>, 2010.
 - 19) カーネル : URL: <http://www.kernel-map.co.jp/>, 2010.
 - 20) Google KML Documentation : URL : <https://developers.google.com/kml/>, 2012.

EASY-TO USE EVACUATION SIMULATION WITH 3-D PRESENTATION BY GOOGLE EARTH

Osamu TSUJIHARA and Wako MIYAHARA

Evacuation drill in such as voluntary organization for disaster prevention is important. However, it is not realistic to drill under the various conditions, because natural disasters can happen on any day and at any time. Recently, the studies on the evacuation simulation have been done to help to draw up scenarios of evacuation under the various situations. The achievement of such studies can be also applied to the virtual evacuation for those who can not take part in the drill. However, many obstacles in user-friendliness remain to promote the evacuation simulation to general public.

An easy-to-use evacuation simulation system is developed, by which the procedure from the creation of the analytical model in the target area to the presentation of analytical results by 3D animation can be carried out in the simple manner.