

3次元都市空間データモデルの構築と 歩行者経路案内システムへの応用

蒔苗耕司^{*1} 高木美紀

宮城大学事業構想学部デザイン情報学科^{*1}

都市空間内の複雑・輻輳した構造物をコンピュータ上で表現・処理するためには適切なデータモデルを定義する必要がある。そこで本研究では、レイヤー構造を用いた3次元都市空間情報モデルの概念とスキーマを示した。モデルは area, object, layer, link, node 等のクラスにより構成される。そのモデルを基にXMLによるデータ構築を行なった。さらに応用システムとして、歩行者経路案内システムを構築し、Dijkstra法の3次元拡張により、移動手段の別（歩行者、車椅子）による3次元経路案内を実現した。

Development of the 3-Dimensional Urban Spatial Data Model and Application to the Pedestrian Navigation System

Koji Makanae^{*1} Miki Takaki

Miyagi University^{*1}

In order to process the congested urban infrastructures on a spatial information system, it is necessary to define a suitable spatial data model. This study shows the concept and schema of the 3-dimensional urban spatial data model which used layer model. The model is constituted by classes, such as area, object, layer, link, and node. The prototype data by XML was built based on the model. Furthermore, as an application system, the pedestrian navigation system was developed and the 3-dimensional Dijkstra's algorithm realized 3-dimensional navigation by the move means (pedestrian, wheelchair).

Keyword: urban spatial data model, pedestrian navigation system, 3-D GIS, XML

1. はじめに

都市空間における人間の移動においては、人間による空間の認知と現在位置の特定が求められる。このような空間内における移動を支援する方法として、一般に地図による空間表現と標識等による案内が行われる。しかし、現実の都市空間、特に大都市中心部では土地利用の高度化が進み、様々

な構造物が複雑かつ輻輳した状態で存在し、空間認知が容易ではない。このような都市空間内における移動を支援する手段として、情報技術を活用したナビゲーションシステム等が開発されているが、その基盤情報は2次元の地図情報をベースとしており、輻輳した都市空間を3次元表現するには限界がある。このような問題に対し、空間を3

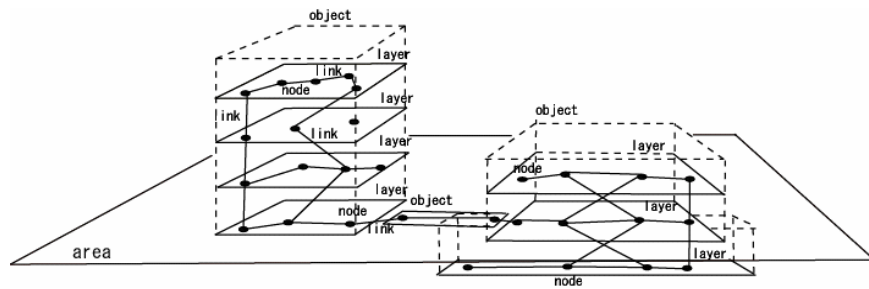


図1 概念図

次元的に表現できる空間情報システムの開発が必要不可欠であり、3次元地理情報システムとして研究開発が進みつつある。例えば、総務省(2002)による立体経路案内モデルシステムは、立体経路を実際に歩く感覚で表現するものであり、東京駅周辺において実験が行われている。また建物等に付与した高さ情報を基に3次元モデルを構築し、その可視化を行うシステムも3次元GISの一技術として研究開発が行われている(瀬尾他,1997, インクリメントP他, 2002など)。これらの例に示されるように、3次元GISに関する研究は3次元空間の視覚的表現が主となっていたが、3次元空間情報モデルの定義と標準化が必要との認識がなされつつあり、いくつかの研究が行われるようになってきた(NTTコミュニケーションズ,2003など)。

著者らは、空間情報の3次元的定義手法に関する研究を進めてきたが(蒔苗・高木, 2003)、本研究ではレイヤー(layer)構造を用いた3次元都市空間データモデルの概念とそのスキーマ、さらに応用システムとしての歩行者経路案内システムについて論ずる。

2. 都市空間データモデルの構築

2.1. 都市空間データモデルの基本概念

都市空間内の複雑・輻輳した構造物をコンピュータ上で表現・処理するためには、適切なデータモデルを定義し、それに基づいたデータベースの構築が必要である。従前、都市空間データには2次元の地図情報を基盤としたモデルが適用されてきたが、建築物や道路、鉄道等の施設が複雑に輻輳した状態を十分に再現できないという問題がある。また空間情報モデルの構築においては、特定地域あるいは特定システムのみに限定されない標準的なモデルの構築が望まれており、ISO/TC211

に準拠した地理情報標準(国土地理院, 2001, 2002)やG-XML((財)データベース振興センター, 2003)等のデータモデルが構築されている。これらのモデルは建築施設の階層構造を含めた複雑な都市空間を表現し得るモデルではない。これらのモデルは、地物自体を「もの」(オブジェクト)として抽象化するオブジェクト指向の概念を用いたデータモデルであり、本研究におけるモデル化においても同様の手法を適用する。

本研究では、歩行者経路案内システムへの実装を対象とし、都市空間内の建築施設の階層構造を含めた複雑な都市構造を容易に表現することが可能なモデルの構築を行うものであり、その基本的な都市空間データモデルの概念を図1に示す。

都市空間は対象地域であるarea、建物等の地物であるobjectとその内部の階層構造を構成するlayer等から構成される。本研究の都市空間データモデルの特徴は、レイヤー構造を用いることにより3次元空間を表現していることである。

2.2. 基本クラス

1) area

areaはモデル化の対象となる領域(論議領域)を示すものであり、area自体がさらに広域なareaに含まれるという包含関係を有する場合もある。area エリアはそのエリア毎に原点を有するものとし、その原点は任意に定める。areaクラスを最上位のクラスに置くことにより、公共座標系等のグローバルな座標系を意識せず、ローカルな座標系によりモデル化が可能となる。またデータモデルの汎用性においても利点を有し、例えば複数のエリアにおいてそれぞれのローカル座標においてモデル化がなされた場合でも、それを統一的に扱うことができる。

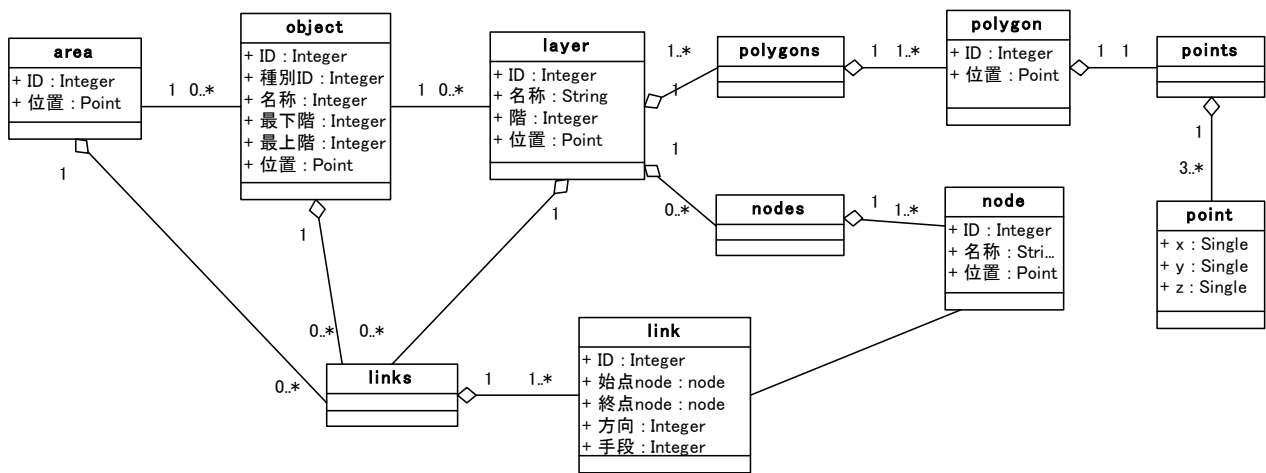


図2 都市空間データモデルのスキーマ

2) object

object は area 内に存在する建物、道路、橋、地下道、各種施設等の都市空間を構成する要素である。object は、それぞれの object 毎のローカル座標を有しており、その原点の area 座標を属性情報として有する。本研究で定義した object を表 1 に示す。

3) layer

表 1 object カタログ

種別 ID	Object
1	建物
2	車道
3	歩道
4	ペDESTリアンデッキ
5	地下通路
6	地下鉄
7	遊歩道
8	橋
9	バスプール

layer は、area 内及び object 内における階層を意味する。階層の符号化に際し、地上 1 階を 0 とする。これは、地上から地下へ地表を跨った移動をする場合に、システム上の処理が容易であることによる。

4) node

node とは layer 上に存在する点で、link の始終点となる。object のローカル座標で定義される。

5) link

link とは同一の layer 上あるいは layer 間、object 間における 2 点の node の繋がりを示す。link には、

端点を示す node 情報と、その link が単方向であるか双方向であるか情報、link の移動手段に関する情報 (表 2) が定義される。

表 2 リンクの移動手段識別符号

手段	符号
水平	1
階段	2
エレベータ	3
エスカレータ	4
スロープ	5

6) polygon

polygon はレイヤーを形成する多角形 (平面) である。layer の形状によっては、ひとつの layer が複数の polygon を有する可能性がある。polygon は形状に応じて 3 点以上の point を有する。

7) point

polygon の各点及び node の位置を決定する 3 次元座標であり、object のローカル座標に従う。

2.3. データモデルのスキーマ

2.2. で定義した基本クラスを基にし、図 2 の通り、都市空間データモデルのスキーマ (UML) を示す。図に示すように、area は複数の object を有しており、それぞれの object は自らの階層数に応じた layer を有する。area 間、object 間、layer 間それぞれに link をもつ。layer は Polygon(s) と node(s) を有しており、それぞれの座標は Point により定義される。定義された node 情報は Link 情報から参照される。

```

<!ELEMENT area (object+,links)>
<!ELEMENT object (layer+,links)>
<!ELEMENT links (link*)>
<!ELEMENT layer (polygons,nodes,links)>
<!ELEMENT polygons (polygon+)>
<!ELEMENT nodes (node*)>
<!ELEMENT polygon (points+)>
<!ELEMENT node (points)>
<!ELEMENT points (x,y,z)>
<!ELEMENT x (#PCDATA)>
<!ELEMENT y (#PCDATA)>
<!ELEMENT z (#PCDATA)>
<!ELEMENT
  link(start-object,start-layer,start-node,destination-object,
  destination-layer,destination-node,direction,mean)>
<!ELEMENT start-object (#PCDATA)>
<!ELEMENT start-layer (#PCDATA)>
<!ELEMENT start-node (#PCDATA)>
<!ELEMENT destination-object (#PCDATA)>
<!ELEMENT destination-layer (#PCDATA)>
<!ELEMENT destination-node (#PCDATA)>
<!ELEMENT distance (#PCDATA)>
<!ELEMENT mean (#PCDATA)>
<!ATTLIST object ID CDATA #REQUIRED>
<!ATTLIST object kindID CDATA #REQUIRED>
<!ATTLIST object name CDATA "n">
<!ATTLIST object highest CDATA #IMPLIED>
<!ATTLIST object lowest CDATA #IMPLIED>
<!ATTLIST object X CDATA #REQUIRED>
<!ATTLIST object Y CDATA #REQUIRED>
<!ATTLIST object Z CDATA #REQUIRED>
<!ATTLIST layer ID CDATA #IMPLIED>
<!ATTLIST layer name CDATA "n">
<!ATTLIST layer floor CDATA #REQUIRED>
<!ATTLIST polygon ID CDATA #IMPLIED>
<!ATTLIST node ID CDATA #REQUIRED>
<!ATTLIST node name CDATA #IMPLIED>
<!ATTLIST link ID CDATA #IMPLIED>

```

図3 XMLによる実装 (DTD)

3. 都市空間データモデルの実装

3.1 XMLによる都市空間データの構築

2.で構築した都市空間データモデルの実装にはXML (eXtensible Markup Language) を適用し、データ記述言語として DTD (Document Type Definition) を用いる。データ作成の対象地域は宮城県仙台市の仙台駅周辺であり、この地域はJR新幹線駅、在来線駅、市営地下鉄、バスプール、人工地盤等、駅ビル等の建築が複雑に輻輳して存在する地域であり、構築した都市空間データモデルの評価に適する。

図3に構築したDTD (Document Type Definition)、図4にXMLデータの一部を示す。経路は、通路の中心をその経路として設定し、各経路の交差部やオブジェクト・レイヤーの出入部にノードを設定している。ペDESTロリアンデッキ等の広場上の経

図4 都市空間データ (XML) (一部抜粋)

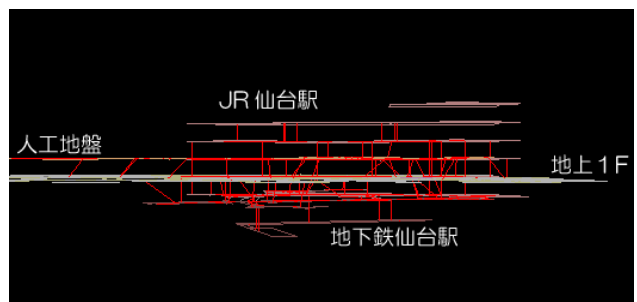


図5 都市空間データモデルによる3次元空間の表現

路については、最短路を設定し、それを経路とした。なおデータ作成を容易に行うために、地図画像をベースとし簡易にデータ作成が可能な入力支援システムを構築した。

3.2 データモデルの3次元表現

本研究で開発したデータモデルに基づき作成した仙台駅周辺の都市空間データを、3次元表示モジュールを用いて表現した例を図5に示す。図に示されるように、入力した空間情報は適切に表現されており、layer構造を用いた都市空間データモデルが有効なデータ構造であることを示している。

4. 3次元歩行者経路案内システムへの応用

4.1. 歩行者経路案内システムの概要

3次元空間データモデルの実装システムとして歩行者経路案内システムを構築し、データモデルの構造の有効性について検証する。

本研究で構築する歩行者経路案内システムの構成は図6の通りであり、ユーザーが移動手段（歩行または車椅子）、出発地、目的地を設定することにより、空間情報データモデルを実装したシステムが移動手段に応じた最短経路を検索し、それを3次元的にグラフィカルに表現するものである。

なお本システムの開発は、Microsoft Windows 2000/XP ProfessionalをOSとするIBM PC/AT互換機（Pentium III搭載）上で行い、Microsoft VisualBasic 6.0をベースにOpenGLグラフィックスライブラリ、Microsoft DOM (Document Object Model)を用いて開発を行なった。

4.2 3次元経路探索アルゴリズム

経路探索のためのアルゴリズムには、一般的にDijkstra法が用いられる。Dijkstra法は、ある始点からネットワーク上の各nodeへの最短経路を始点の周辺から1つずつ確定し、徐々に範囲を広げ、最終的にはすべてのnodeへの最短経路を求める。ネットワークは、各node間の距離を配列要素としたnode数×node数の隣接行列で表す。

一方、今回の3次元空間データにおいては、複数の2次元平面(layer)が相互にリンクを有する3次元構造を有しており、Dijkstra法をそのまま適用することはできない。そこで、空間内に存在する全てのnodeに連続番号を付したnode一覧を作成する。node一覧には、連続番号とnodeの属するobject ID・layer ID、nodeID等の情報が書き込まれる。これにより空間内のnodeは一時的に連続番号のみで管理可能となる。連続番号をインデックスとする隣接行列を構築し、対応するlinkが双方向か片方向であるかを参照しながら、そのnode間の距離を要素として格納する。なお、layer間を結ぶ垂直方向のlinkについて実距離を入れた場合には、垂直方向の移動回数が不必要に多くなる場合がある。そこで、垂直方向のリンクには重み付けした大きな値を設定し、これを防ぐようにする。

なお今回の実験システムではリンクの重み付けの値は、水平方向のリンクには実距離(m)、移動手段によって移動できないリンクには9999 m、レイ

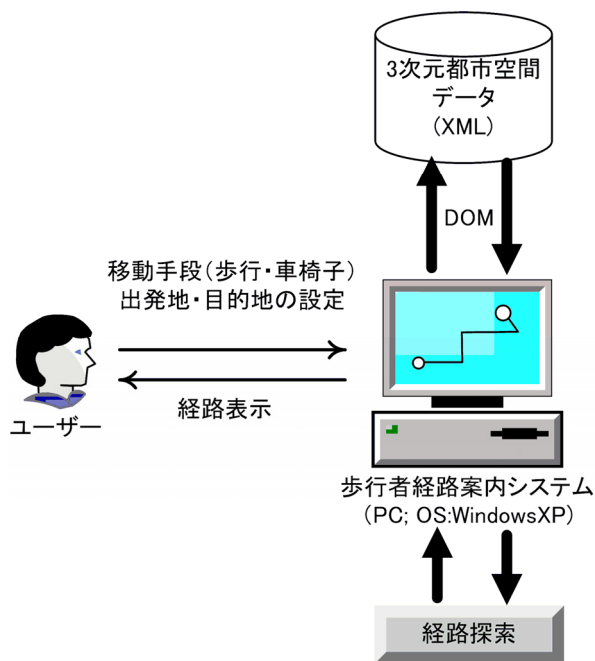


図6 歩行者経路案内システム

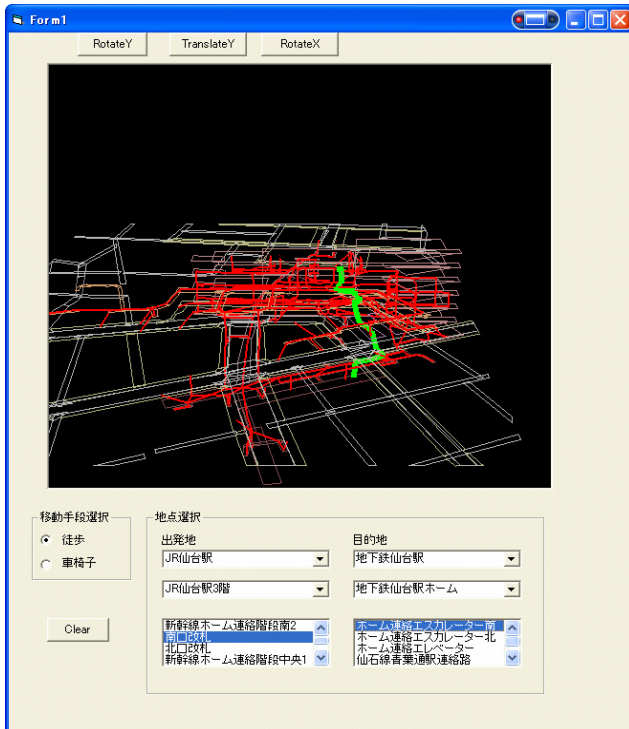
ヤー間の垂直方向リンクには1000 mを設定した。

4.4 経路案内システムのインターフェース

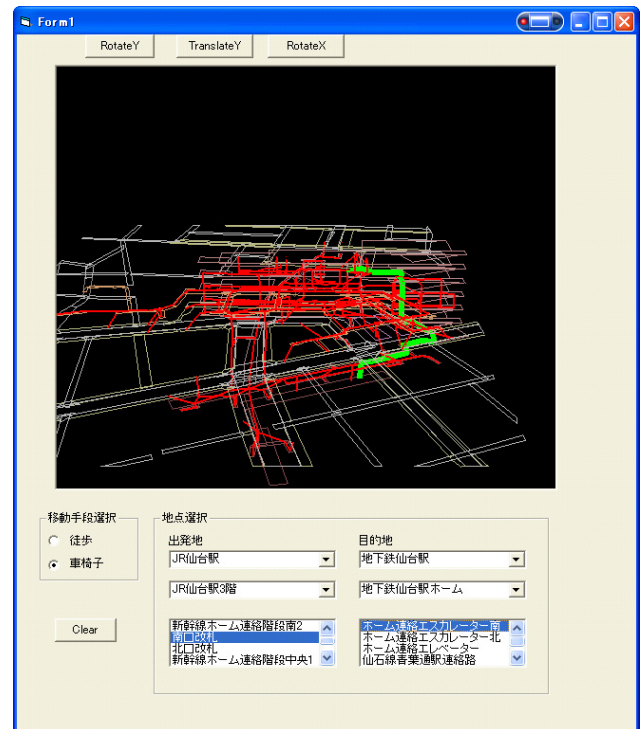
今回、開発した経路案内システムのユーザーインターフェースを図7に示す。画面上には空間データから再現された移動経路が赤線で3次元表現される。ユーザーはまず移動手段について、徒歩であるか車椅子であるかをラジオボタンにより選択する。次にユーザーは出発地、目的地をプルダウンメニューから選択する。それぞれのプルダウンメニューは、object, layer, nodeに対応している。全ての設定が終了すると、システムは自動的に移動手段に応じた経路探索を行い、その結果を3次元表示ウィンドウ上に緑色で表示する。図7はJR仙台駅新幹線ホームから市営地下鉄仙台駅ホームまでの最短経路を示したものであり、(a)が徒歩の場合、(b)が車椅子の場合を示しており、移動手段に応じて適切なルートが示されている。このことから構築したデータモデルの構造が有効であると言える。

5. おわりに

本研究では、レイヤー構造を用いた都市空間データモデルについて、その概念およびスキーマを構築するとともに、XMLによるその実装を図るとともに、応用システムとして3次元経路案内システムを構築した。構築したデータモデルに基づくデータが適切に3次元表現され、また応用システ



(a) 徒歩の場合



(b) 車椅子の場合

図 7 3次元経路探索の例
(JR 仙台駅新幹線ホーム～市営地下鉄仙台駅ホーム)

ム上での経路探索の稼働が確認されたことにより、本データモデルが有効なデータ構造をもつことが示された。

今回、構築したデータモデルはレイヤー構造を用いた非常にコンパクトなモデルであり、データ構築が容易であるという利点を有する。一方、今後の課題として、データモデルの高度化とその検証が挙げられる。これは施設や店舗等の情報や経路の属性情報（幅員情報等）を付加し、より実用的なデータモデルを構築するとともに、その検証を進めることである。また応用システムとしての経路案内システムにおいては、固定端末での案内システムにおける 3 次元表現手法（例えば立体ディスプレイの活用等）や位置情報と関連させた移動端末への応用に関する研究が課題として挙げられる。

参考文献

インクリメント P(株)・(株)キャドセンター・パスコ(株)(2002)：三次元立体地図 MAPCUBE, <http://www.mapcube.jp>
NTT コミュニケーションズ株式会社(2003)：3次元

GIS データガイドライン, <http://3dgis.jp/>.
河西朝雄(2002)：C 言語によるはじめてのアルゴリズム入門, 技術評論社, 2002
瀬尾和夫・玉田隆史・寺岡照彦・亀井克之(1997) 3次元マッピング・システム, 電気学会産業システム情報化研究会資料, IIS-97-18, pp.37-42.
国土地理院(2001)：地理情報標準の入門, (財)日本測量調査技術会, 2001.
国土地理院(2002)：地理情報標準第 2 版について, <http://www.gsi.go.jp/GIS/stdindex.html>.
蒔苗耕司・高木美紀 (2003)：歩行者経路案内のための 3 次元都市空間データモデルの構築, 地理情報システム学会講演論文集, Vol.12, pp.55-58.
総務省(2002)：3次元 GIS による立体経路案内デモンストレーション, http://www.soumu.go.jp/s-news/2002/020524_2.htm
(財)データベース振興センター(2003)：G-XML の概, <http://gisclh.dpc.or.jp/gxml/contents/whatgxml/index.htm>.