

道路ネットワークベースの都市計画支援ツール PAS の開発

清水建設株式会社 生富 直孝
米山 一幸
南部 世紀夫

1. はじめに

国内の地方自治体では、人口減少・少子高齢化により財政状況が悪化する一方で、高度成長期に集中的に整備された公共施設・インフラが更新期を迎えており、今後、これらの施設の維持管理が、財源・人材の両面で困難になることが懸念されている。立地適正化計画に定められる都市機能誘導区域内に都市機能を集約しその周辺に集中的に居住することにより、一般的には公共施設・インフラなどの維持管理のための行政コストが低減し、区域内に居住する住民については都市機能へのアクセスが向上する。一方で、誘導区域外に居住する住民にとっては、行政サービス水準の低下、都市機能へのアクセスの悪化などの悪影響が生じる可能性がある。政策立案にあたってはこれらのプラス面とマイナス面の影響をできる限り定量的かつ中立的に評価して行政・住民などの関係者間で共有することが重要であり、そのためには、公共施設の統廃合、公共交通の再編、インフラのダウンサイジングなどの政策の影響を定量的に可視化するツールが有効と考えられる。

このような背景の下、当社は PAS (Public Asset Simulator)と呼ぶ都市政策の計画支援ツールを開発してきた。PAS は公共施設やインフラの再配置による影響を定量的に評価することが可能であるが、これまでは主に分析機能の開発に注力してきたため、データ入力や分析結果表示には GIS などに精通した専門家による操作が必要であり、普及・展開上の課題となっていた。

そこで本稿では、専門の知識を有していなくても操作が可能なツールを開発することを目標として開発してきた PAS の基本機能、GUI(Graphical User Interface)の実装・高度化などの近年拡張した機能および自治体へ適用する際のケーススタディについて述べる。

2. PAS の基本機能

PAS は、道路ネットワークモデル上に自治体が保有する様々な行政データ(人口、住宅、交通、施設、災害など)を地理空間情報として統合したデータベースを基盤とし、国立社会保障・人口問題研究所(社人研)の推計による将来の人口動態を考慮した上で、施設・インフラの再配置や公共交通の再編などによる影響の分析や、街区単位の住民アクセス分

表 1 PAS の使用データ

分類	データソース
人口	国勢調査、経済センサス等
道路	Open Street Map, デジタル道路地図等
建物	基盤地図情報等
施設	施設の位置情報データ
その他	ハザードマップ等

析・交通量の推計を行い、地理情報システム(GIS)ソフトなどを用いて視覚的に表示することが可能となっている。PAS では、表 1 に示すデータを使用して、人口データのダウンスケーリングや、施設アクセス距離、施設アクセス交通量、推計交通量といったネットワーク分析の計算を行う。

人口のダウンスケーリングは、平成 27 年の国勢調査の 5 歳階級別データと基盤地図情報の建物データを元データとしており、将来人口推計はコーホート要因法を用いて試算している。データ形状は小地域、1km メッシュ、500m メッシュ、250m メッシュ、125m メッシュ、道路、交差点の 7 種類あり、500m メッシュ人口のデータを元データとして、建物データの床面積を用いた按分によって、居住分布を反映した詳細なダウンスケーリングが可能となる。

道路リンク人口 P_{road} については、対象の道路リンクの端点となる交差点人口 P_i と、各交差点に対する

リンクの接続数 L_i を用いて数式(1)に表す。なお、 P_i は 125m メッシュ内の人口をメッシュポリゴンに交差する交差点に対して均等に配分することで算出している。

$$P_{road} = \frac{P_i}{L_i} + \frac{P_{i+1}}{L_{i+1}} \quad (1)$$

施設アクセス距離は、対象施設から道路ネットワーク全体に対する距離圏を明らかにし、対象施設に対する距離を指標とした住民のアクセスしやすさを求めることができるものであり、道路ネットワークデータと施設の位置情報データを使用して、全交差点から対象とする施設までの最短経路を、ダイクストラ法²⁾を用いて算出する。ダイクストラ法とは、グラフ理論における最短経路探索問題を解くための最良優先探索によるアルゴリズムであり、カーナビや電車の乗換案内などの経路探索に採用されている。

施設アクセス交通量は、簡易的に道路リンク単位の交通量が計算できるため、交通量が多く、路面補修などの優先度が高い区間の推定に用いる。人口データ、道路ネットワークデータ、施設の位置情報データを使用して、対象施設までに通過する最短経路上の各交差点人口を累積することで、交差点を端点とした各道路リンクの交通量を算出する。

推計交通量については、施設アクセス交通量のような施設を目的地として集中する交通量ではなく、例えば通勤目的の交通量等、移動目的別の交通量を推計することが可能なものであり、四段階推定法をベースとした推計を行っている。

3. ユーザインタフェースと可視化機能の拡充

PAS は前述のような基本機能を有していたが、これまではデータの加工や分析、結果の表示などにおいて、分析結果が SHP(Shapefile)形式や CSV(Comma Separated Value)形式などの形式で出力されるため、分析結果の可視化には GIS の操作に関する一定の習熟が必要であった。また、出力される分析結果は 2D 表示にのみ対応しており、3D 地図上で表示した際の視認性が悪く、構造物等の他の 3D データと組み合わせた検討は出来なかった。このため、GIS の習熟者でない人が操作するには障壁があり、整備が進められている 3D 都市モデルとの連携が困難なため、今後 PAS を普及・展開していく上での課題となっていた。

3.1. ユーザインタフェースの拡充

この課題に対応するため、対話形式に操作を行うユーザインタフェースおよび「i-都市再生」技術仕様案³⁾の活用による 3D 可視化機能の開発を行った。PAS は Web ブラウザ上で動作するように設計しており、ユーザ側で環境構築をする必要はない。図 1 に PAS のデータの入出力フローを示す。行政データを入力として PAS によって道路ネットワーク分析を実施し、結果を 2D データおよび 3D データとして出力する。GUI で作成したい地図種別やパラメータの条件設定を選択するだけで地図と分析結果が表示される。ユーザが作成できる入力データは、人口データ、対象施設データ、道路データがあり、テキストデータ形式の CSV ファイル形式で作成する必要がある。対象地域の入力データを予めサーバにアップロードすることにより、任意の地域の分析が可能となる。テキスト形式

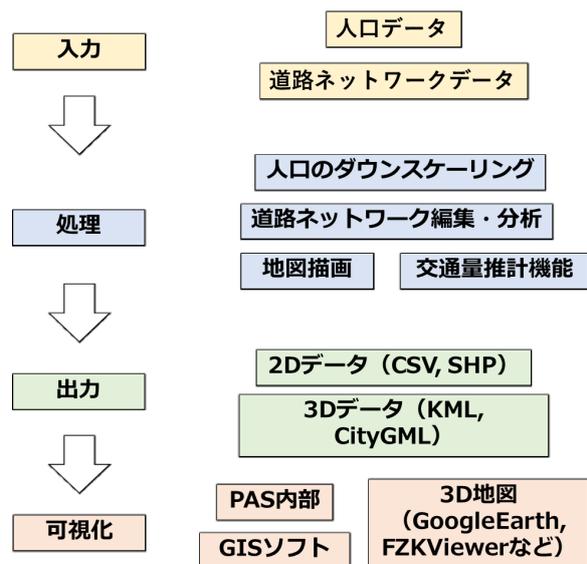


図 1 PAS の入出力

では編集が困難な道路データについては別途編集機能を実装した。

3.2. 道路データ編集機能

従来の PAS では、既設道路の廃止や道路新設による周辺交通への影響を評価するための計算機能は有していたものの、道路の廃止・新設に伴う道路ネットワークデータの編集機能がなかったため、別途外部ツールを使用して道路データを編集する必要があった。そこで、データの編集から分析までを一貫して実行可能なツールを目指して、道路データの編集機能を PAS 上に実装した。

図 2 は室蘭市の現状の道路ネットワークの目的地に対するアクセス交通量を示しており、仮に図中の赤丸部の二か所の道路を削除したケースのアクセス交通量を図 3 に示す。図中右下のエリアから左上のエリアに移動する際に最も使用される道路を削除した結果、図 3 の紫網掛部の道路リンクの交通量が増加した。これは道路の廃止によって経路を迂回しなければ目的地に到達できないため、各道路が負担する交通量が増加したことを示している。



図 2 現状のアクセス交通量



図 3 道路廃止後のアクセス交通量

3.3. i-都市再生との連携による 3D データへの対応

CityGMLとは都市及び景観モデルの記述、管理、交換のためのXML(EXTensible Markup Language)ベースのデータ形式標準であり、OGC(Open Geospatial Consortium)とISO/TC211(地理情報/ジオマティクス)が発行する国際標準規格であるGML(Geography Markup Language)のアプリケーションスキーマである。欧州を中心にデファクト化が進んでおり、ドイツではベルリン、ブランデンブルクなど複数都市でCityGMLを公式 3Dデータ形式として採用し、都市全体のデータベースを構築済⁴⁾で、各種解析や行政サービス等に利用することが可能である。

CityGML は建物の外形情報だけでなく、橋や信号、植栽などの様々なデータを繋げることが可能なので、都市をまるごと 3D モデル化可能である。さらに、大きな特徴としてモデルの詳細さの設定に LOD(Level of Detail)の考えを導入しており、地形レベル～建物内部レベルまでの 5 段階 (LOD0~LOD4)に分類される。また、ADE(Application Domain Extension)という拡張機能を利用することで、新たなイベントやオブジェクトの定義を追加することができる。最近では、シンガポールの「Virtual Singapore」にも採用⁵⁾されており、デジタルツイン構築のためのデータとして注目されている。

CityGML は建物の外形情報だけでなく、橋や信号、植栽などの様々なデータを繋げることが可能なので、都市をまるごと 3D モデル化可能である。さらに、大きな特徴としてモデルの詳細さの設定に LOD(Level of Detail)の考えを導入しており、地形レベル～建物内部レベルまでの 5 段階 (LOD0~LOD4)に分類される。また、ADE(Application Domain Extension)という拡張機能を利用することで、新たなイベントやオブジェクトの定義を追加することができる。最近では、シンガポールの「Virtual Singapore」にも採用⁵⁾されており、デジタルツイン構築のためのデータとして注目されている。

日本では内閣府の i-都市再生事業において、従来の LOD0~LOD4 に加えて LOD-1, LOD-2 を定義することで統計データとの組み合わせを提案している。「i-都市再生」技術仕様案³⁾は、2020 年度より、国交省の PLATEAU プロジェクトに展開され、国内の多くの地域で都市の 3D モデルが構築・公開されている。

PAS では、分析結果の 3D データ出力を可能にするために、「i-都市再生」技術仕様案³⁾を活用し、交通量推計などの PAS の分析結果を 3D モデルの国際標準規格である CityGML 形式で出力可能にした。「i-都市再生」技術仕様書では、CityGML で元々定義されているオブジェクトとしての情報に加

えて、市区町村名や管理している事業者名等の輸送サービスに関する属性や、交通量調査に基づく断面交通量等を定義するプロパティを新たに定義している。しかし、今回の技術仕様案で定義されたプロパティだけでは、PAS の分析結果である道路沿線人口や、特定施設へのアクセス距離、交通量の推計値等を表示することができない。そこで、上述した「i-都市再生」技術仕様書で定義されているプロパティに加えて、PAS の分析結果である施設へのアクセス距離や移動時間に関するプロパティを独自に定義することで、PAS の分析結果を可視化できるようにした。

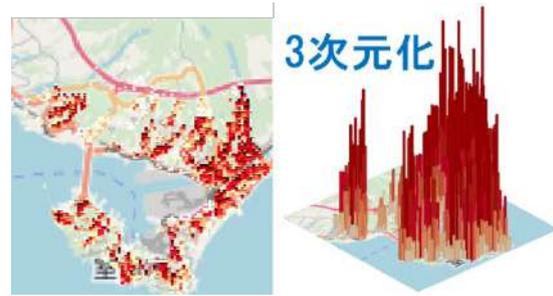


図 4 FZKViewer による CityGML の可視化

3.4. 可視化手法

人口やアクセス交通量、推計交通量の計算結果は、PAS 内においては Google map API を使用して可視化を行う。また、各種データ形式の出力に対応しており、GIS ソフトなどでも計算結果を表示することができる。また、PAS 上で描画するほかに、外部ビューアによる 3 次元表示が可能となる。CityGML 形式または KML(Keyhole Markup Language)形式でデータを出力し、KML 形式データは GoogleEarth 上で、CityGML 形式データは FZKViewer⁶⁾などの専用ビューアを用いることで 3D モデルの描画が可能となる。図 4 に内閣府提案の LOD-1 相当の 125m メッシュ人口を FZKViewer によって可視化した例を示す。

4. ケーススタディ

4.1. 概要

PAS の活用について、室蘭市にヒアリングを実施した結果、避難所の配置や開設順序決定に使いたいというニーズが得られた。そこで室蘭市を対象として、指定避難所の開設順序決定支援を行うためのケーススタディを実施した。

4.2. シナリオ設定

室蘭市を対象として、地震・津波による災害を想定した避難所開設順序の判断を行った。一般に、防災公園等の広域避難所においては、子供や高齢者を考慮すると避難限界距離は 2km 程度⁷⁾であるとされている。東京都⁸⁾は、避難場所の避難圏域を 3km 以内としている。本分析では、最大 10 箇所まで指定避難所を開設する場合に、2km 圏内および 3km 圏内人口が最大となる順序で開設した際のアクセス距離の変化及び避難所の人口カバー率を計算した。さらに、3km 圏と同様の開設順序で 2km 圏内の人口カバー率について算出した。なお、避難所までのアクセス距離のみを要因とし、避難所の収容人数や災害規模、施設の耐震性等は考慮していない。

また、各避難所へのアクセス交通量を計算し、津波浸水想定域内の道路リンクの津波曝露状況を算出した。

4.3. 計算結果

表 2 および図 5 に避難所から 2km, 3km 圏内の人口カバー率の計算結果を示す。避難所から 2km 圏内の人口カバー率は、避難所開設数が 9 箇所の時点で 84.4%であり、10 箇所目を開設した際も人口カバー率は増加しなかった。避難所から 3km 圏内の人口カバー率は、避難所開設数が 6 箇所の時点で 88.5%であり、2km 圏内の 10 箇所開設時点の人口カバー率を超えた。10 箇所開設した時点の人口カバー率は 98.4%となった。

図 6 に 10 箇所の避難所へのアクセス交通量、図 7 に図 6 の赤枠部で示すエリアを拡大した津波浸

水想定域内の道路のアクセス交通量を示す。なお、図7では視認性を上げるため、アクセス交通量が1000人以上のリンクのみ交通量を示す数値ラベルを付けている。図7をみると避難所へのアクセス交通量は、避難所に近い道路リンクほど交通量が増加しており、避難所周辺の津波浸水想定域内にある道路リンクにおいても、アクセス交通量が多い道路が存在していることが明らかになった。

4.4. 考察

ケーススタディの結果より、PASによって既存の道路ネットワークが持つ避難所へのアクセス距離および避難所勢圏内の人口が計算可能であり、アクセス距離を指標とした避難所開設順序の判断をする際の支援ツールとして機能することを確認した。2km圏内の人口カバー率について、避難所開設数が9箇所から10箇所にかけて変化しなかったのは、3km圏内人口が最大となる順序を基準としているためである。したがって、避難所を効率的に開設していくためには、施設の人口カバー範囲を正しく設定する必要があることが明らかになった。

また、想定津波浸水深データと避難所アクセス交通量を重ね合わせることで、津波で浸水する恐れのある道路の交通量が計算可能なので、アクセス交通量が多く被災リスクが高い道路を把握できる。災害時は幹線道路の他に避難所への最短距離となる生活道路が混雑するため、本分析の結果は例えば夜間避難に備えた街灯の増設などの防災インフラ整備検討に有効である。

ただし、実際に避難所の開設判断をする際は、各避難所の収容人数や、当日の災害規模に応じた被災エリアから優先的に避難所を開設するなどの複合的な判断が必要となる。これに関しては、避難所の収容人数データや災害別の被害想定データを使用することで検討が可能となる。

今回のケーススタディでは避難所を対象施設として主にアクセス距離を指標とした分析を実施したが、公共施設や大規模商業施設などの施設種別においてもアクセス交通量や推計交通量を計算することで、施設の新設や廃止、移転による周辺交通への影響評価が簡易的に行えるため、住民視点の道路利便性への影響の検討が可能である。

表2 計算結果

避難所開設数	2km圏人口 カバー率(%)	3km圏人口 カバー率(%)
1	28.7	41.8
2	36.6	56.2
3	43.2	65.3
4	51.2	73.8
5	59.6	81.8
6	66.0	88.5
7	71.3	93.6
8	79.5	96.8
9	84.4	97.5
10	84.4	98.4

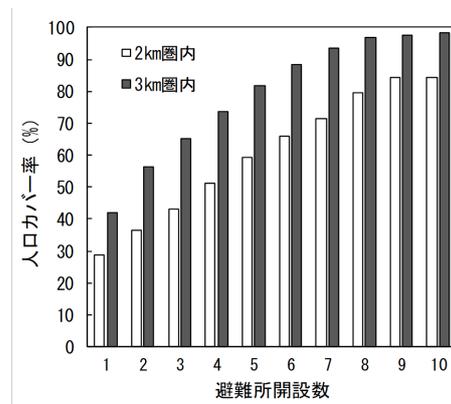


図5 避難所開設による人口カバー率の変化

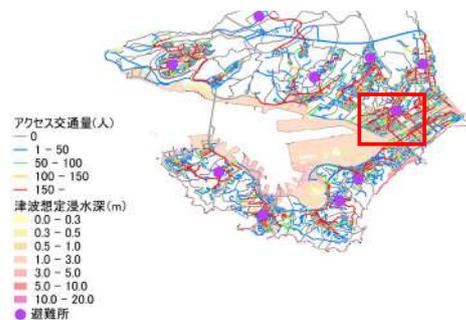


図6 避難所へのアクセス交通量



図7 想定津波浸水深と交通量の関係

5. おわりに

本稿では、自治体の政策立案・関係者間のコミュニケーション支援ツールであるPASの開発およびユーザインタフェース・3D可視化等の機能拡充、PASによるケーススタディを実施した。

PASの機能拡充については、「i-都市再生」技術仕様案³⁾を活用することで、Webブラウザ上で操作可能なGUIの実装と、PASの分析結果をCityGML形式で可視化できるようにプロパティの定義を追加したことで、作成したい地図種別やパラメータの条件設定をGUI上で選択するだけで、PASの分析結果であるダウンスケーリングした人口メッシュや施設アクセス交通量などが算出できる。

また、計算結果についてはCityGML形式やKML形式といった3Dデータとして出力が可能となり、視覚的に理解できるデータの出力を可能にした。さらに、道路データの編集機能を追加することで、外部のツールを必要とせず、データの入力から計算、結果出力まで一貫して実行可能なツールに拡張した。

ケーススタディにおいては、室蘭市を対象に、避難所へのアクセス距離を指標として避難所勢圏内の人口を計算して、避難所開設順序の決定が行えることを示した。

今後も引き続きニーズ調査、ユーザビリティ調査を実施することで、ユーザのニーズを踏まえた更なるGUIの改善、分析機能の拡充を行う。また、PLATEAUプロジェクトとの連携可能性について調査を進めて、各自治体への普及・展開、ユーザ層の拡大を目指す。

謝辞

本研究の一部は、内閣府「i-都市再生」モデル事業(タイプA)の支援を受けて実施したものである。実施においては、共同事業者である国立大学法人・室蘭工業大学の有村幹治教授に詳細にわたるご指導を頂いた。ここに記して、感謝の意を表す。

【参考文献】

- 1) 国土交通省:平成27年国勢調査を基準とした500m及び1kmメッシュ別将来人口の試算方法について, http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/mesh500_1000_h30.pdf, 2019(最終閲覧日:2021年8月30日)
- 2) Dijkstra E. W. : “A note one two problems in connexion with graphs”, Numerische Mathematik 1, pp.269-271, 1959
- 3) 内閣府:Data Encoding Specification of i-Urban Revitalization - Urban Planning ADE -, <https://www.chiso.u.go.jp/tiiki/toshisaisei/itoshisaisei/iur/index.html>, 2019. (最終閲覧日:2021年8月30日)
- 4) ベルリンの3Dモデル公開ページ: <https://www.businesslocationcenter.de/en/economic-atlas/download-portal/> (最終閲覧日:2021年8月30日)
- 5) K. H. Soon, V. H. S. Khoo : “CITYGML MODELLING FOR SINGAPORE 3D NATIONAL MAPPING”, International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XLII-4/W7, pp.37-42, 2017
- 6) FZKViewerダウンロードページ: <https://www.iai.kit.edu/1648.php>(最終閲覧日:2021年8月30日)
- 7) 国土技術政策総合研究所: 防災公園の計画・設計・管理運営ガイドライン(改訂第2版), No.984, pp.58, 2017.
- 8) 東京都:避難所及び避難場所:<https://www.bousai.metro.tokyo.lg.jp/bousai/1000026/1000316.html>, (最終閲覧日:2021年8月25日)

【備考】

本稿は、第61回土木計画学研究発表会および清水建設研究報告Vol.98にて発表済みの内容を含んでいる。