

都市部におけるポリゴン型土地被覆データを用いた HYPE モデルの流出予測精度評価

首都大学東京 都市環境科学研究科 学生員 ○萩原 陽一
 首都大学東京 都市環境科学研究科 学生員 田内 裕人
 首都大学東京 都市環境科学研究科 正会員 河村 明
 首都大学東京 都市環境科学研究科 正会員 天口 英雄
 Swedish Meteorological and Hydrological Institute OLSSON Jonas

1. はじめに

河川および湖沼などの水辺環境の向上は、環境関連団体や地域住民等らの強い要望であり、流域内の水循環機構を把握することの重要性が増している。スウェーデン気象水文研究所 (SMHI) では、流出特性に強く影響する土地被覆、土壌、起伏などの地理的特性から、流出量と河川水質の予測を行う水文・水質統合解析モデル「HYPE (HYdrological Predictions for the Environment) モデル」¹⁾を開発した。HYPE モデルは流域と地下水流れを考慮し構築した数十 km² のポリゴン型副流域を計算単位とする準分布型モデルであり、2007 年にスウェーデン全域を対象とした S-HYPE モデルが開発されて以降、世界各地に拡張され、ヨーロッパ全域、北極圏やアフリカなどさまざまな地域の流出量予測で用いられてきた²⁾。流出特性に特に大きな影響を与える地理的要因として、流域における都市部の有無があり、特に都市部の特徴的な土地被覆形態である不浸透域の重要性がいくつかの事例によって示唆されてきた^{3,4)}。しかし従来、土地利用が錯雑な都市部を精緻に表現可能な GIS データを広範囲で入手することが困難であったため、HYPE モデルに代表される広域流出モデルでは、不浸透域を無視するか簡易的に扱うのみであった。こうした現状から著者らは、都市部の土地被覆を浸透特性に基づき表現したポリゴン型 GIS データ「Urban Atlas⁵⁾」を活用し、HYPE モデルに都市部の浸透・不浸透域を正確に反映させた U-HYPE モデルを提案した⁶⁾。本研究では、U-HYPE を活用し、HYPE モデルで都市部の浸透・不浸透域を反映させた影響を評価する。

2. HYPE モデル

(1) 概要

HYPE モデルは対象領域を数 km² 程度の副流域に分割し、副流域ごとに直接流出量や土壌への浸透量、蒸発散量を計算する準分布型の物理モデルであり、副流域内部の土地被覆と土壌の不均一性について考慮可能なモデル構造となっている。図-1 は HYPE モデルを実流域に適用する際の作業工程を表している。まず対象領域の土地被覆、土壌、副流域を示す各種 GIS データを用意する。各副流域は、河川流域と地下水流れを考慮し決定する。次いで、土地被覆データと土壌データを重ね合わせ、耕作地 (シルト土壌) や針葉樹林 (モレーン土壌) といった土地被覆と土壌の組み合わせの GIS データを作成する。ここで個々の土地被覆と土壌の組み合わせを土地被覆-土壌クラスと呼び、個々の土地被覆-土壌クラスは 3 層の土壌層を設定可能である。次に、個々の土地被覆-土壌クラスに対し、各土壌層の層厚、萎れ点、圃場容水量、有効間隙率などの土壌物理パラメータ、直接流出量、土壌浸透量、地下水位変動、蒸発散量などを計算するための水文パラメータ、および流出に伴う窒素・リンなどの輸送を計算するための水質パラメータを設定する。さらに各副流域に対して、個々の土地被覆-土壌クラスが占める面積率を計算し、副流域の属性として与えて対象流域をモデル化する。最後に各副流域の日降雨量・日平均気温をデータ入力し計算を行っている。

(2) S-HYPE モデル

S-HYPE モデル¹⁾とはスウェーデンを対象とした HYPE モデルであり、土地被覆データとして欧州環境機関が配備した 100m グリッドの CORINE Land Cover⁷⁾を、土壌データとしてスウェーデン地質調査所が提供する 250m グリッドの SGU Soil database⁸⁾を活用し流域をモデル化しており、450,000km²程度のスウェーデンを 38,000 個程度の副流域に分割する最も高解像度な HYPE モデルとなっている。ここで S-HYPE は副流域の GIS データとして、SMHI によ

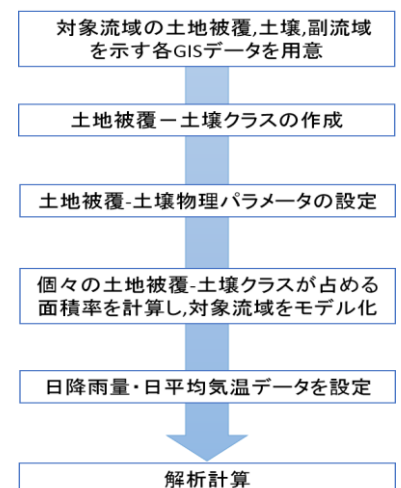


図-1 HYPE モデルを実流域に適用する際の作業工程

キーワード HYPE モデル, 流出解析, ポリゴン型土地被覆データ, 不浸透面積率

連絡先 〒192-0397 東京都八王子市南大沢 1-1 首都大学東京 E-mail : hagiwara-youichi@ed.tmu.ac.jp

り整備された Swedish Water Archive²⁾ を用いている。また S-HYPE モデルの時間解像度は 1 日であり、時間解像度も HYPE モデルとしては最も高度なものとなっている。S-HYPE モデルでは農村部を針葉樹林やモレーンといった 11 種類の土地被覆に分類しているにもかかわらず、都市部の分類は市街地・郊外の 2 種の土地被覆のみであり、特に流域の水文特性に大きな影響を与える不浸透域は考慮されていない。これは、CORINE Land Cover の解像度である 100m グリッドでは、都市部の不浸透域を抽出できないためである (図-2)。

(3) U-HYPE モデル

Urban Atlas は、都市部を表現可能な解像度をもつ GIS データであるばかりではなく、都市部の土地被覆を浸透・不浸透特性に基づき 22 種に分類しており、CORINE Land Cover と比較し都市部の浸透特性に関する情報量が大きな GIS データといえる (図-2)。著者ら⁶⁾は、Urban Atlas の土地被覆情報から、浸透特性に従い不浸透域、建物用地浸透域、緑地、公園芝地の 4 種の土地被覆種別に再分類し、これを S-HYPE の副流域に設定することで、S-HYPE モデルに不浸透域の水文学的特性を反映させた新たな HYPE モデル「U-HYPE」を提案している。U-HYPE では、不浸透域の雨水浸透が基本的には生じず、雨水の大部分は地表面もしくは雨水・下水道管路を介する直接流出となることを考慮している。具体的には、不浸透域には土地被覆・土壌タイプ「不浸透タイプ」を設定し、不浸透タイプの表層土壌には、間隙、浸透量、マクロポア流量が極小かつ地表面流出量が大なる「不浸透層」の特性を持たせた。U-HYPE モデルは、研究開始当初最新であった S-HYPE モデルの ver. 4.8.0 をベースとして開発されている。本モデルを実流域に設定することによって、従来の S-HYPE モデルでは精度よく計算されなかった降雨時のピーク流量が計算されるようになるなど、解析精度に向上が見られた。

3. U-HYPE の適用

(1) 対象流域

図-3 に本研究の対象とする Sege 川上流域の位置およびその概略図を示す。本研究では参考文献 6)と同様に、スウェーデン南部スコーネ地方 Sege 川上流域の流域面積 52.2km²を U-HYPE の対象流域に設定した。本流域の流域出口付近には Svedala の市街地があり、Svedala 市街地からの直接流出が流量観測点における降雨時のピーク流量増加に対して寄与すると考えられる。Sege 川上流域は 5 つの副流域で構成されており、Urban Atlas によると表-1 に示すように、その土地被覆の 95%は農村部で、都市部の不浸透域は 2.6%を占めるのみである。図-4 a), b) は、S-HYPE および U-HYPE の適用で活用した土地被覆データを示しており、U-HYPE では、Svedala 市街地および上

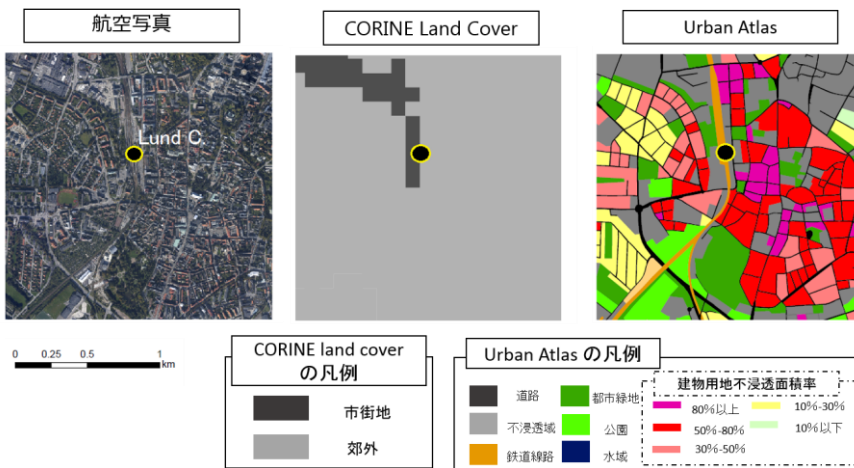


表-1 Urban Atlas による Sege 川上流域の各土地被覆データの面積率 [%]

		合計		
土地被覆種別	農村部	湖	11	94.3
		池・沼	0.6	
		湿地	0	
		広葉樹林	17.5	
		針葉樹林	9	
		農耕地	56.2	
	都市部	不浸透域	2.6	5.7
		建物用地浸透域	2.9	
		緑地	0.1	
		芝地・公園	0.1	
合計		100		

図-2 Lund 市中心街の航空写真, CORINE Land Cover および Urban Atlas の比較



図-3 スウェーデン全域と Sege 川上流域の位置(左) およびその概略図と副流域 (右)

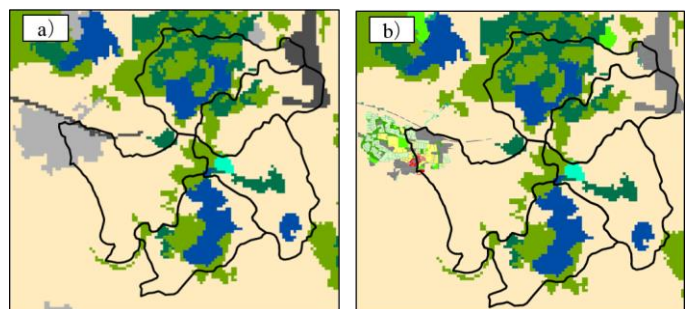


図-4 S-HYPE モデルと U-HYPE モデルで活用した土地被覆情報

流に存在する Malmo 空港の土地被覆が S-HYPE よりも精緻に表現されているのが見て取れる。

(2) モデルの検証

本研究では、2001年1月1日から2013年12月31日までをモデル計算の対象期間として流出量の算定を行い、U-HYPEとS-HYPEによって対象流域出口のSvedala流量観測点(図-3)における流出量を計算するとともに、計算結果について同観測点における観測日平均流量との比較を行い、流出予測精度を評価した。本研究において用いた入力気象データは、定点観測データを空間内挿し得られた各副流域の日降水量・日平均気温⁹⁾である。

4. 流出解析とモデル検証

図-4はSvedala流量観測点におけるU-HYPE, S-HYPEでのシミュレーション結果と観測流量を示している。まず2004年1月1日から2013年12月31日までの10年間(図-4 a)に注目すると、Svedalaでは12月から4月までの河川流量が7・8・9月の夏季と比較し多いことが見て取れた。これはスウェーデン南部が冬季多雨気候区に属することに加え、3・4月には融雪による河川流量の増加があるためと考えられる。こうした季節スケールの傾向はU-HYPEとS-HYPEの両方で表現されており、都市部を考慮した影響は大きくは現れていない。次に、夏季の一例として2013年7月1日から同年9月30日までの期間(図-4 b)に着目すると、U-HYPEでは観測と同様に流量ピークが見られ、U-HYPEの流量ピークは日降雨が10mm程度以下の小さなイベントにおいても発生しているのが見て取れる。このことは、日降雨10~20mm程度以下の少雨においても、U-HYPEが、対象領域のわずかに2.6%にすぎない不浸透域の影響を、日平均0.2~0.3m³/sのピークが現れるという形で正しく再現可能であることを示しており、流量ピークが発生しないS-HYPEと比較し良好な解析結果となっている⁹⁾。

また図-5は、U-HYPEの流出量に対して、S-HYPEの流出量を引いた差分(以下、U-S差分と記す)について、代表例として2009年の値を示している。図-5から、降雨の有無に関わらずU-S差分が正の値をとる傾向にあることが示されており、不浸透域を設定したU-HYPEがS-HYPEよりも流出量を大きく見積もる傾向が示唆されている。一方、U-S差分が負の値となるのは2・3月の冬季のみであり、特に夏季はU-S差分が大きな値となった。さらに図-6は、夏季の9月1日から9月30日におけるU-S差分を示しており、図-4 b)で示したようなU-HYPEのピーク流量計算における改善に加え(図中の期間A)、U-HYPEがS-HYPEよりも夏季の基底流量を大きな値として計算する傾向が見て取れた(図中の期間B)。通常、不浸透域を設定すると、基底流量の減少を招くと考えられるため、この結果は予想に反していた。この原因としては、不浸透域において従来のS-HYPEと比較し小さな蒸発散量となるように設定したため、土壌からの中間流出量が相対的に増加したためではないかと考えられるが、この検証は今後の課題としたい。

一方、冬季においては、U-S差分が負の値となっている。この理由は以下のように考察できる。まず、冬季の蒸発散量が夏季と比較し小さな値として計算されるため、降雨のほぼすべてが直接流出・中間流出・地下水流出として河川に排水されると考えられる。ここでU-HYPEはS-HYPEと比較し直接流出量が大きく設定されているの

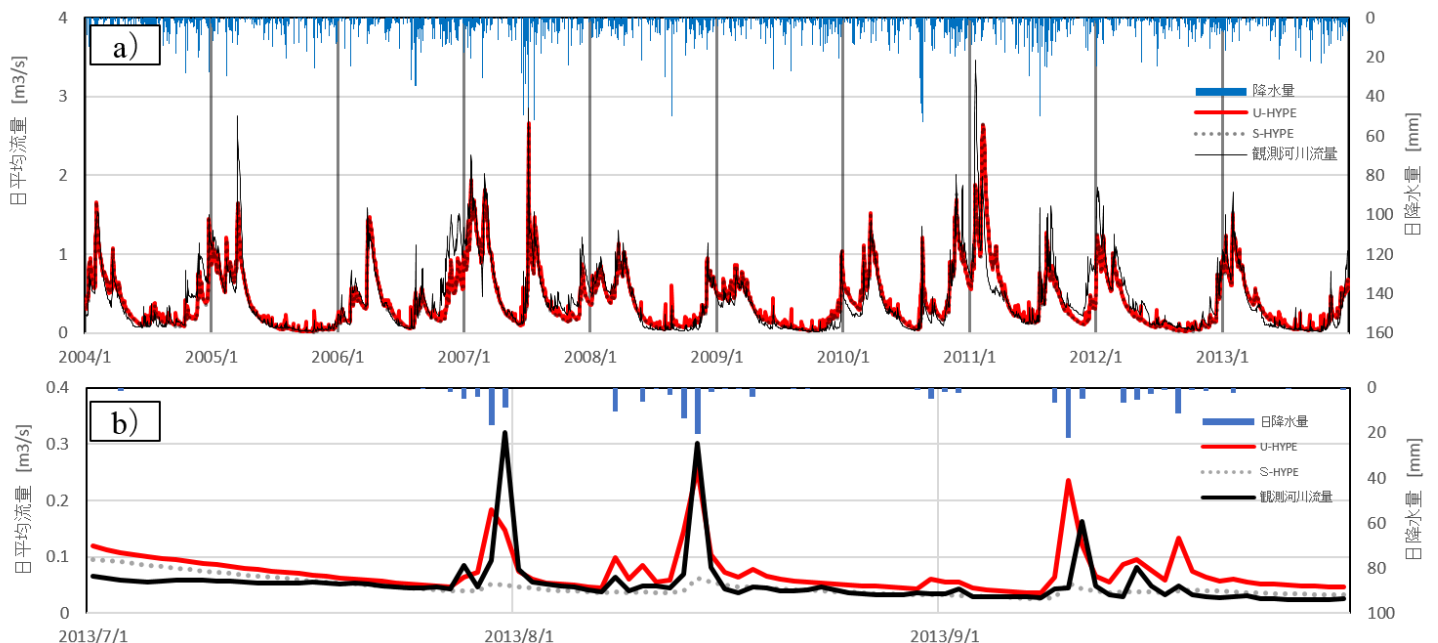


図-4 Svedala 河川流量観測点の流量観測値と U-HYPE および S-HYPE による河川流量の比較

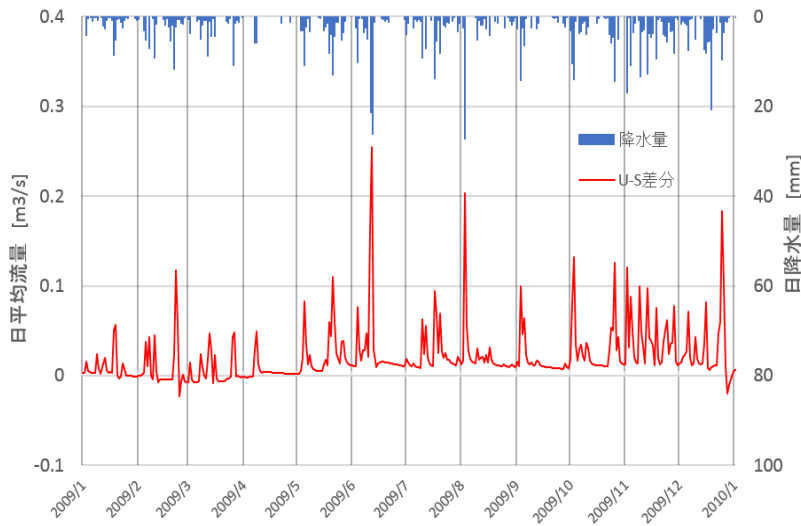


図-5 2009年のU-S差分

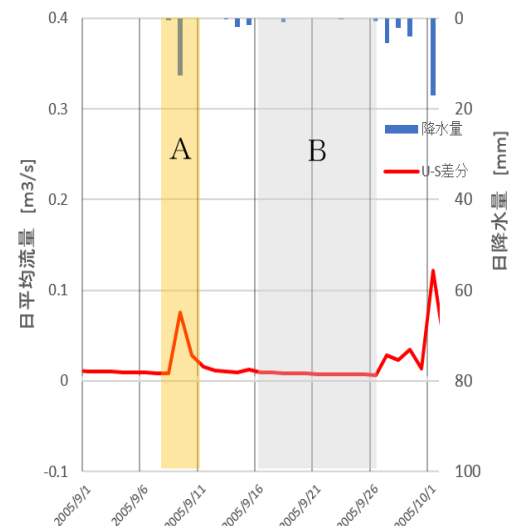


図-6 夏季のU-S差分

で、相対的に降水のない日の基底流量を小さく見積もることが考えられ、これがU-S差分が負の値となる理由と考えられる。これらの結果から、本研究により四季を通したU-HYPEの流出予測精度に関する知見が蓄積され、HYPEモデルで都市部の浸透・不浸透域を反映させた影響が評価されたと考えられる。

5. むすび

本研究では、SMHIが開発した広域水文・水質統合解析モデルであるS-HYPEモデルとして、ベクトル型高精度土地被覆データであるUrban Atlasにより都市部の不浸透域をモデル計算に反映させたU-HYPEモデルを活用し、HYPEモデルにおける不浸透域の影響評価を行った。本モデルをスウェーデン南部の都市Svedalaを含む流域に適用するとともに従来のHYPEモデルおよび観測流量との比較を行った結果、以下の考察が得られた。まず、季節スケールの解析結果によると、U-HYPEとS-HYPEの流出量の差はその絶対量に比較し小さく、都市部を考慮した影響は表れなかった。しかし、より細かい時間スケールに注目すると、たとえば夏季の降雨時ピーク流量について再現性が向上し、特に降雨強度の小さな降雨イベントで顕著な向上が見られた。夏季における規模の小さな降雨イベントでの流量再現精度の向上は、ファーストフラッシュをはじめとする都市からのノンポイント汚染を解析する際に重要であろう。本結果は、HYPEモデルの適用において、都市の占める割合が小さな流域についても、特に都市の大部分を占める不浸透域を正確に設定する必要があることを示唆している。さらにU-HYPEとS-HYPEの河川流量の差分からは、U-HYPEがS-HYPEよりも夏季の基底流量を大きな値として計算する傾向をもつこと、また冬季は夏季とは逆にU-HYPEがS-HYPEよりも基底流量を小さな値として計算する傾向をもつことが示された。この原因としては、U-HYPEとS-HYPEで計算された蒸発散量に違いがあるためと考えられるが、この検証については今後の課題としたい。

参考文献

- 1) Lindström, G., Pers, C.P., Rosberg, R., Strömqvist, J. and Arheimer, B.: Development and test of the HYPE (Hydrological Predictions for the Environment) model – A water quality model for different spatial scales, *Hydrology Research*, Vol. 41(3)-4, pp. 295-319, 2010.
- 2) SMHI Hydrology Research, <http://www.smhi.se/en/research/research-departments/hydrology/>, アクセス日: 2016/1/14.
- 3) Amaguchi, H., Kawamura, A., Olsson, J. and Takasaki, T.: Development and testing of a distributed urban storm runoff event model with a vector-based catchment delineation. *Journal of Hydrology*, vol.420-421, pp.205-215, 2012.
- 4) L. Cuo, D. P. Lettenmaier, V. Mattheussen, P. Storck and M. Wiley.: Hydrologic prediction for urban watersheds with the Distributed Hydrology-Soil-Vegetation Model, *Hydrological Processes*, Vol.22, pp.4205-4213, 2008.
- 5) Urban Atlas, <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-atlas>, アクセス日: 2016/1/14.
- 6) 田内裕人・河村明・天口英雄・J.Olsson (平成28年3月) 都市部におけるポリゴン型不浸透面積率データを用いたHYPEモデルの流出予測精度向上に関する研究, 土木学会論文集B1(水工学), Vol.71, No.4, (掲載予定)
- 7) CORINE Land Cover, <http://www.eea.europa.eu/publications/COR0-landcover>, アクセス日: 2016/1/14.
- 8) SGU soil database, <http://www.sgu.se/en/>, アクセス日: 2016/1/14.
- 9) Johansson, B.: Estimation of areal precipitation for hydrological modeling in Sweden, Thesis (Dr), Earth Science Center, Department of Physical Geography, Göteborg University, A76, 2002.