

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年5月8日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2009～2011

課題番号：21560545

研究課題名（和文）高度な地物データGISを用いた都市流域の洪水・低水流統合  
水収支モデルの構築研究課題名（英文）Development of Integrated Water Balance Model of Flood and Low-Flow  
Runoff for Urban Catchment Using Advanced GIS Delineation

研究代表者

河村 明（KAWAMURA AKIRA）

首都大学東京・都市環境科学研究科・教授

研究者番号：10177735

研究成果の概要（和文）：都市流域において、地物一つひとつに設置されている雨水浸透施設の情報に付加して高度な地物データGISを作成し、雨水の地下水涵養過程を忠実に表現する都市流域地下水涵養モデルを構築した。このモデルを実流域に適用してシミュレーションを行い、対象流域における浸透施設の地下水涵養および流出抑制に対する効果を評価するとともに、将来増加が予測される雨水浸透施設の設置シナリオを想定し、その効果を予測・評価した。

研究成果の概要（英文）：A groundwater recharge model is developed and applied for urban hydrological analysis. The set-up of this model is based on urban landscape GIS delineation that faithfully describes the complicated urban land use features in detail. The infiltration responses to long/short term rainfalls were simulated considering installed/without infiltration facilities, and assuming additional installation of infiltration facilities for buildings and roads. The simulation indicated that the developed model could quantitatively estimate the efficiency of infiltration facilities.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2010年度	800,000	240,000	1,040,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,700,000	1,110,000	4,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：地物データGIS・都市型洪水・地下水涵養モデル・雨水浸透施設・雨水流出抑制・TSRモデル・神田川

## 1. 研究開始当初の背景

(1) 都市流域では、山地流域とは異なり、雨水が浸透しない建物、道路、駐車場などの人工的な構造物と住宅地の庭や公園などの浸透域が複雑に分布している。また、道路の側溝や雨水・下水道管路など河川に至る流出

経路には、貯留浸透施設や治水施設などが整備されており、その形態は流域の都市化と共に絶えず変化しているため、雨水流出プロセスは非常に複雑となっている。また、都市化の進展は緑地や裸地などの浸透域を激減させ、雨水の地下水涵養量の低減による地下水

位低下、湧水量減少、河川の平常時流量の減少など、雨水の水循環に関わる問題が発生している。コンクリートやアスファルトで覆われた不浸透域の増大や下水道整備により雨水の流出速度が速まり、集中豪雨時には一度に大量の水が河道に集中し、排水しきれない水が下水道や河道から溢れ出す都市型水害が多発している。このような都市の水問題対策として、雨水浸透ます、浸透トレンチ、透水性舗装などの地中の浅い部分に雨水を浸透させる施設は設置事例が増えつつあり、洪水流出の抑制効果と平常時の河川流量の確保、地下水位の維持、湧水の保全が期待されている。

(2) 都市流域の水循環過程を解明するには、雨水を受ける地表面の浸透特性が都市化の影響によりどのような状態にあるのか、すなわち浸透・不浸透域の分布状況を正確に表現可能であることが重要であり、このような土地利用情報を入力データとして利用できる分布型水循環モデルが必要である。さらに、都市流域の水マネジメントにおいては、行政部局と地域住民の双方が水循環に関する課題と解決策を共有して施策を実施する必要があることを念頭に置くと、意思決定ツールとしての都市の水循環モデルには具体的に分かりやすいことが求められる。そのためには、道路、ビルおよび建物の建設状況など、具体的な都市化の進展の状況をできる限り忠実にモデル化することが可能で、浸透施設や流出抑制施設の効果を個々に検証・予測できるシミュレーションモデルの開発が切望されている。

(3) これまで国内外で提案されている都市流域の雨水流出モデルは、対象とする規模や目的、そして水文量の分布の有無により集中型と分布型の2つに大別されるが、都市流域の複雑な流出過程や雨水浸透貯留施設の効果をシミュレーションするには分布型モデルが用いられている。既往の分布型流出モデルは、山地流域など人工物の少ない自然流域に適用されるDEM (Digital Elevation Model) を活用したグリッド型モデルが用いられている。本来、都市流域は山地流域とは異なり自然要素だけでなく多くの人工的要素を含んでおり、都市流域の複雑な空間情報の記述にグリッド型を用いることは適当ではないが、入力可能なデータ制約上の理由やモデル構築の容易さから、グリッド型のモデルが多用されてきているのが現状である。

(4) 都市流域の地下水涵養に関するシミュレーションを行うためには、都市特有の特徴を十分に反映可能な土地利用情報が必要であるが、既往の研究の多くは住宅用地、商業

用地、工業用地などの土地利用用途に基づく土地利用情報が前提となっている。例えば、日本の都市流域では細密数値情報が整備されており、本データをグリッド型モデルに適用するには、先ず土地利用用途毎に不浸透面積率を推定し、次いでグリッド毎に不浸透面積を算定している。グリッド型モデルによる雨水浸透施設の地下水涵養効果については、これまでSHERモデル、PDEモデル、WEPモデル等の水循環モデルを用いた算定手法が提案されており、これらはグリッド内の浸透施設をトレンチ長に換算して地下水涵養量が算定されている。グリッド型モデルでは、地下水涵養モデルにおいて建物、道路、駐車場等の地物を個別に表現することは困難であり、個別建物の雨水流出抑制施設や特定の透水性舗装道路を整備した個々の効果についてのシミュレーションを行うなど、具体的な政策評価を詳細に行うことは容易ではない。

## 2. 研究の目的

(1) 都市流域における代表的な雨水浸透施設として、浸透ます、浸透トレンチ、透水性舗装を対象に、形状や個数、施設下部の浸透能などの実諸元を個別に組み込み、雨水が施設に貯留し地下に浸透する過程をモデル化することにより直接的に施設毎の地下水涵養量を算定するモデルを提案・構築する。本モデルでは、高度な地物データGISを用いて、建物や施設などの地物毎に実際に設置されている浸透ますと浸透トレンチの個数、長さ、形状、透水性舗装の面積、層厚、浸透施設の直下の土壌浸透能の情報を付与し、浸透施設に流入する雨水の浸透量、貯留量、オーバーフロー量を算定する。浸透施設からの浸透量は、Richardsの方程式による地下水面までの不飽和浸透計算を経て、地下水として涵養される。

(2) 東京都内の代表的な都市河川であり、都市化による不浸透域の増大に伴い自然の水循環系が喪失された神田川上流域を対象に、実際の浸透施設データを用いて現実に即した実践的な詳細モデルを構築し、現況の浸透施設からの浸透量を、年間の地下水涵養と洪水時の雨水流出抑制の双方の視点からシミュレーションし、対象流域における浸透施設の地下水涵養および流出抑制に対する効果を評価する。さらに、将来増加が予想される浸透施設の設置シナリオを想定し、その効果を予測・評価する。

## 3. 研究の方法

(1) 都市流域における水循環過程として、各地物要素への降雨が、不浸透地物では直接流出となり、浸透地物では地下へ浸透する過程をモデル化の範囲とする。不浸透地物にお

いて浸透施設がある場合は、浸透量を計算して地下に涵養し、浸透施設からのオーバーフローを直接流出として扱う。浸透地物および浸透施設からの個別の浸透量は、各地物要素の重心点から該当する地下水流動モデルのメッシュに涵養量として与える。

(2) 対象流域として東京都内の代表的な都市河川である神田川上流域を対象に、基礎的地物データ GIS の収集・加工を行う。このデータに土地利用種別の情報を付与し、さらに雨水浸透施設のデータを付与することにより高度な地物データ GIS を構築する。

具体的には、個々の建物の境界線、街区と道路の境界線、河道の境界線などを表す線データ（ポリラインデータ）としての基礎的地物データ GIS から、ポリゴン型の地物データ GIS に加工する。そして、各地物データ GIS のポリゴンに対して、1/2,500 地形図と空中写真を用いて建物、駐車場、グラウンド、林地などの土地利用毎に街区ポリゴンを分割する。道路要素も地形特性や地被特性に応じて、微小要素に分割し道路要素とする。次に、作成した街区要素と道路要素に、建物要素と河道要素を合成し、各要素一つひとつに土地利用種別に応じた浸透特性あるいは不浸透特性の設定を行い、各地物データ GIS のポリゴンに標高データを付与することにより高度な地物データ GIS を作成する。

さらに、建物や道路毎に実際に設置されている浸透施設の種類と形状や個数、大きさなどの諸元を、対応する地物に一つひとつ割り当てる。浸透ますと浸透トレンチは、建物地物にその諸元データを付与し、建物地物直下に浸透するものとする。一方、透水性舗装については、建物以外の地物（道路、駐車場などの地物）に諸元データを付与する。

(3) 各地物要素の地下水涵養過程を表現する水文モデルを組み込み地下水涵養モデルの構築を行う。この場合、浸透地物における浸透量・直接流出量を算定するモデル、浸透ますおよび浸透トレンチからの浸透量・直接流出量を算定するモデル、そして、透水性舗装における浸透量・直接流出量を算定するモデルを構築する。

(4) 浸透施設の地下水涵養について、長期的効果のための日単位シミュレーションおよび降雨強度の大きい短期的効果のための時間単位シミュレーションを行う。すなわち、シミュレーション期間を設定し、構築した都市流域地下水涵養モデルの水理・水文パラメータを適切に設定したのち、実際の雨量データを入力して地下水涵養モデルを実行し、シミュレーションを行うことにより、現況の浸透施設の地下水涵養量および流出抑制量を

算定し、浸透施設の効果を評価する。次に、将来増加が予想される浸透施設の設置シナリオとして、建物全てに浸透ますおよび浸透トレンチを設置するシナリオおよび道路全てを透水性舗装とするシナリオを想定し、地下水涵養量および流出抑制量を算定比較し浸透施設の効果を評価する。

#### 4. 研究成果

(1) 神田川上流域を対象に 2000 年から 2007 年までの日単位での地下水涵養シミュレーションを行い、現況の全浸透施設からの浸透量、その浸透量を浸透施設の集水域で換算した浸透高・浸透率、浸透量を全流域で換算した浸透高・浸透率を算定した。その結果、浸透施設集水域換算の浸透高は、各年の浸透率については各年のばらつきは非常に小さく平均で 65%となることを示した。一方、全流域換算の浸透率は約 4%と小さく雨水浸透施設設置面積率に相当していることを示した。各浸透施設の浸透率は、浸透ます約 32%、浸透トレンチ約 45%、透水性舗装約 88%であることを示し、各浸透施設の浸透効率を評価した。

図-1 に、対象流域を分割した区域毎に、現況の浸透施設による地下水位変化を実線で、

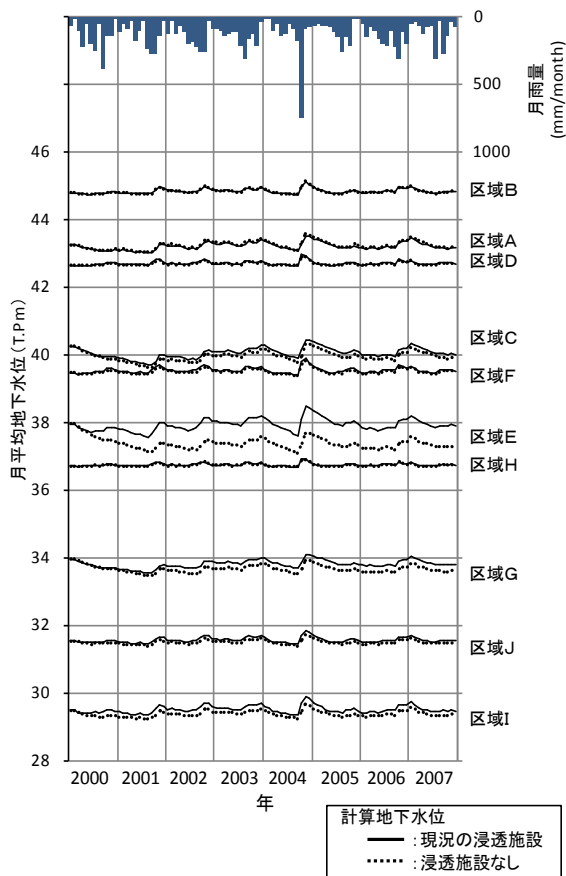


図-1 現況と現況浸透施設無しの計算地下水位の比較

また浸透施設が無い場合を想定した計算地下水位を点線で示す。この図より、8年間の計算地下水位の浸透施設が無い場合地下水位の低下量は区域平均で11cm程度あることが示され、特に浸透施設が多く設置されている区域において現況浸透施設により水位が高く保たれていることが示された。

以上のように、現況の雨水浸透施設により年間降水量の約4%を地下に涵養できること、および地下水を約10cm上昇できることを示し、浸透ます、浸透トレンチ、透水性舗装の詳細な地下水涵養効果を評価したことは世界的にもインパクトが大きいと考える。

(2) 神田川上流域を対象に、東京都の河川計画における雨量確率年が約1年の時間雨量に相当する30mmが二山生起している降雨48時間分を抽出し、各浸透施設による流出量抑制量を算定した。その結果、洪水時における浸透ますの浸透率は約7%となり、長期シミュレーション比べ相当小さくなり、雨水の多くはオーバーフローにより直接流出することを示した。また、浸透ますに接続した浸透トレンチでは、逆に、浸透ますからのオーバーフローによる流入量が増大するため、洪水時の浸透率が増大することを示した。透水性舗装では、蒸発量の影響により浸透率が増大することを示した。

次に、図-2に洪水時における各浸透施設からの浸透高の時間変化を示す。これより、対象流域における現況の浸透ます群、浸透トレンチ群、浸透性舗装群の最大浸透高は、それぞれ0.46mm/h、7.7mm/h、18mm/hであることと示した。

以上のように、現況の雨水浸透施設により豪雨の約4%を地下に涵養できることを示し、また、浸透ます、浸透トレンチ、透水性舗装の詳細な洪水抑制効果を評価したことは世界的にもインパクトが大きいと考える。

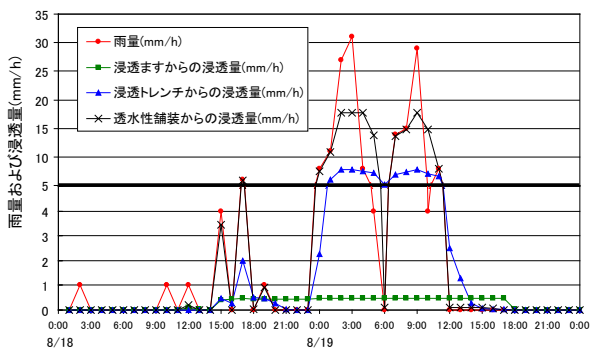


図-2 洪水時の各浸透施設からの浸透量の変化

(3) 将来増加が予想される浸透施設の設置シナリオとして、建物全てに浸透ますおよび浸透トレンチを設置するシナリオおよび道路全てを透水性舗装とするシナリオを想定

し、地下水涵養量および流出抑制量を算定した。その結果、前者のシナリオでは年間降水量および豪雨の約30%を、後者のシナリオでは約17%を地下に涵養できることを示した。

以上のように、本モデルにより都市流域における個別の雨水浸透施設の地下水涵養および流出抑制効果を定量的に評価することが可能となることを示し、雨水浸透施設の評価モデルとしてもそのインパクトは大きいと考える。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計22件)

1. Bui, D.D., Kawamura, A., Tong, T.N., Amaguchi, H. and Trinh, T.M.: Aquifer system characterization for potential groundwater resources in Hanoi, Vietnam. *Hydrological processes*, Vol.26, No.6, pp.932-946, 2012. 査読有 DOI:10.1002/hyp.8305
2. 中川直子・河村明・天口英雄:高速道路サービスエリアの水回り改善による環境負荷削減, 土木学会論文集B1(水工学) Vol.68, No.4, pp. I\_1447-I\_1452, 2012. 査読有
3. 石原成幸・河村明・天口英雄・高崎忠勝・川合将文:東北地方太平洋沖地震に伴う東京における不圧・被圧地下水位の変動特性, 土木学会論文集B1(水工学) Vol.68, No.4, pp. I\_595-I\_600, 2012. 査読有
4. 高崎忠勝・河村明・天口英雄・石原成幸:粒子フィルタを用いた都市貯留閾数モデルによる実時間洪水流出予測特性, 土木学会論文集B1(水工学) Vol.68, No.4, pp. I\_511-I\_516, 2012. 査読有
5. 古賀達也・河村明・天口英雄:神田川流域における高度な地物データGISを用いた10mメッシュ土地利用区分の浸透面積率に関する研究, 土木学会論文集B1(水工学) Vol.68, No.4, pp. I\_505-I\_510, 2012. 査読有
6. Gilbuena, R., Kawamura, A., Medina, R., Amaguchi, H. and Nakagawa, N.: Multi-criteria gap analysis of flood disaster risk reduction management in Metro Manila, Philippines. *Journal of Japan Society of Civil engineers*, Ser.B1 (Hydraulic Engineering), Vol.68, No.4, pp. I\_109-I\_114, 2012. 査読有
7. 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*, No. 420-421, pp. 205-215, 2012. 査読有  
DOI:10.1016/j.jhydrol.2011.12.003
8. Jin, Y.-H., Kawamura, A., Park, S.-C., Nakagawa, N., Amaguchi, H. and Olsson, J.: Spatiotemporal classification of environmental monitoring data in the Yeongsan River basin, Korea, using self-organizing maps. *Journal of Environmental Monitoring*, No. 13, pp. 2886-2894. 査読有  
DOI:10.1039/c1em10132c
  9. Bui, D. D., Kawamura, A., Tong, T. N., Amaguchi, H., Nakagawa, N. and Iseri, Y.: Identification of aquifer system in the whole Red River Delta, Vietnam. *Geosciences Journal*, Vol. 15, No. 3, pp. 323-338, 2011. 査読有  
DOI:10.1007/s12303-011-0024-x
  10. Bui, D. D., Vu, M. C., Nguyen, S. H., Kawamura, A., Vu, M. D. and Nguyen, T. T.: Trends in hydroclimatic series in Thua Thien Hue province, Vietnam: 1. Rainfall and rainy days. *Sustainable Urban Regeneration*, No. 8, pp. 40-43, 2011. 査読有
  11. 高崎忠勝・河村明・天口英雄:ニューラルネットワークによる都市中小河川感潮域の水位推定, 水工学論文集, 第55巻, pp. S1603-S1608, 2011. 査読有
  12. 天口英雄・河村明・高崎忠勝・中川直子:個別の地物情報を考慮した密集市街地におけるTokyo Storm Runoff Modelの提案, 水工学論文集, 第55巻, pp. S517-S522, 2011. 査読有
  13. 中川直子・河村明・石崎勝義・天口英雄:宮古島の特性を考慮した雑排水処理システムの実証実験, 水文・水資源学会誌, Vol. 23, No. 5, pp. 408-417, 2010. 査読有
  14. Hentati, A., Kawamura, A., Amaguchi H. and Nakagawa, N.: Evaluation of sedimentation vulnerability at small hillside reservoirs in the semi-arid region of Tunisia using the Self-Organizing Map. *Geomorphology*, No. 122, pp. 56-64, 2010. 査読有  
DOI:10.1016/j.geomorph.2010.05.013
  15. 荒木千博・河村明・天口英雄・高崎忠勝・土屋大:個別の浸透施設の効果を組み込んだ地下水涵養モデルの構築, 水工学論文集, 第54巻, pp. 559-564, 2010. 査読有
  16. 天口英雄・河村明・高崎忠勝・荒木千博・中川直子:分布型都市洪水流出モデルの流域要素形状が流出応答に与える影響について, 水工学論文集, 第54巻, pp. 493-498, 2010. 査読有
  17. 井芹慶彦・西山浩司・神野健二・河村明:種々のパターン抽出手法による日本周辺冬季 500hPa日平均温度場のパターン抽出, 水工学論文集, 第54巻, pp. 439-444, 2010. 査読有
  18. Hentati, A., Kawamura, A., Amaguchi H. and Nakagawa, N. Erosion assessment at small hillside River basins in semiarid region of Tunisia. *Annual Journal of Hydraulic Engineering*, JSCE, Vol. 54, pp. 145-150, 2010. 査読有
  19. 高崎忠勝・河村明・天口英雄・荒木千博:都市の流出機構を考慮した新たな貯留関数モデルの提案, 土木学会論文集B, Vol. 65, No. 3, pp. 217-230, 2009. 査読有
  20. Nakagawa, N., Otaki M., Aramaki T. and Kawamura A.: Influence of water-related appliances on projected domestic water use in Tokyo. *Hydrological Research Letters*, Vol. 3, pp. 22-26, 2009. 査読有
  21. 天口英雄・河村明・荒木千博・高崎忠勝:神田川上流域の地物データを用いた洪水流出モデルの構築とその適用, 河川技術論文集, 第15巻, pp. 377-382, 2009. 査読有
  22. 荒木千博・河村明・天口英雄・高崎忠勝・須藤正大:神田川流域の地物データGISを用いた地下水涵養モデルの構築とその適用, 河川技術論文集, 第15巻, pp. 371-376, 2009. 査読有
- [学会発表] (計14件)
1. 高木雄介、河村明(2012年3月14日) TSRモデルを用いた雨水貯留タンクによる洪水流出抑制効果の検討. 第39回土木学会関東支部研究発表会, 関東学院大学.
  2. 高崎忠勝、河村明(2011年9月1日) 都市貯留関数モデルによる都市中小河川における集中豪雨時の洪水流出計算. 水文・水資源学会 2011年度研究発表会, 京都大学.
  3. 天口英雄(2011年9月1日) TSRモデルを用いた気候変動が都市流域の雨水流出現象に与える影響評価について. 水文・水資源学会 2011年度研究発表会, 京都大学.
  4. Gilbuena, R., Kawamura, A. (2011年8月30日) Structural flood mitigation in metro manila: consequences and implications on urban flood and the environment by non-parametric test. 水文・水資源学会 2011年度研究発表会, 京都大学.
  5. 須藤正大、河村明(2011年3月11日) 地物データGISを用いた都市流域地下水涵養モデルによる神田川上流域に設置された雨水浸透施設の効果について. 第38回土木学会関東支部研究発表会, 法政大

学.

6. 戸辺裕、河村明(2011年3月11日) TSR モデルを用いた保水セラミックスによる雨水流出抑制効果の評価. 第38回土木学会関東支部研究発表会, 法政大学.
7. 鈴木陽介、河村明(2011年3月11日) 都市分布型洪水流出モデルの流域要素形状が流出応答に与える影響評価. 第38回土木学会関東支部研究発表会, 法政大学.
8. 須藤正大、河村明(2010年9月7日) 神田川上流域における雨水流出抑制施設の設置状況とその効果量試算に関する一考察. 水文・水資源学会 2010年度研究発表会, 法政大学.
9. 鈴木陽介、河村明(2010年9月7日) 都市流域を対象としたグリッド型洪水流出モデルの空間解像度が流域応答に与える影響について. 水文・水資源学会 2010年度研究発表会, 法政大学.
10. 土屋大、河村明(2010年3月13日) 個別の浸透施設を組み込んだ地物データGISによる神田川上流域の地下水涵養量の推定. 第37回土木学会関東支部研究発表会, 日本大学.
11. 加藤秀明、河村明(2010年3月12日) 神田川下流域および日本橋川における洪水時の分流特性について. 第37回土木学会関東支部研究発表会, 日本大学.
12. 高木雄介、河村明(2010年3月12日) 神田川上流域における分布型流出モデルの地表面形状が流域応答に与える影響評価. 第37回土木学会関東支部研究発表会, 日本大学.
13. 盛耕平、河村明(2010年3月12日) 都市貯留関数モデルを用いた石神井川の洪水流出予測. 第37回土木学会関東支部研究発表会, 日本大学.
14. 河村明(2009年8月21日) 市販流量年表データベースによる一級水系代表観測点日流量データの検証. 水文・水資源学会 2009年度研究発表会, 石川県文教会館.

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

河村 明 (KAWAMURA AKIRA)

首都大学東京・都市環境科学研究科・教授  
研究者番号：10177735

### (2) 研究分担者

天口 英雄 (AMAGUCHI HIDEO)

首都大学東京・都市環境科学研究科・助教  
研究者番号：40326012