

高度な地物データGISを用いた都市流域 における蒸発散モデルの構築とその適用

MODELING THE EVAPOTRANSPIRATION USING ADVANCED
GIS DELINEATION AND ITS APPLICATION TO URBAN RIVER BASIN

古賀達也¹・河村明²・天口英雄³

Tatsuya KOGA, Akira KAWAMURA and Hideo AMAGUCHI

¹正会員 工修 (株) 建設技術研究所 (〒103-8430 東京都中央区日本橋浜町3-21-1)

²正会員 工博 首都大学東京教授 都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

³正会員 博(工) 首都大学東京助教 都市環境科学研究科 (〒192-0397 東京都八王子市南大沢1-1)

Precise estimation of evapotranspiration is one of the important factors for air temperature estimation model. In order to estimate evapotranspiration considering the condition of land use recognition and soil moisture content, evapotranspiration model using advanced GIS delineation was developed. This model was applied to the upper Kanda river basin whose catchment area is dominated by urban area to estimate evapotranspiration in 2011. It was found that the model considering land use recognition and soil moisture content can estimate evapotranspiration by comparing the calculation result and observed value.

Key Words : *evapotranspiration, advanced GIS delineation, soil moisture, land use recognition, upper Kanda river basin*

1. はじめに

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、道路などの人工的な構造物と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、その形態は絶えず変化しているため、都市流域の雨水流出プロセスは非常に複雑となっている。

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。また、都市域における地下水浸透過程を解明するためには、土地利用情報に基づいた蒸発散量が算定可能なモデルが重要である。さらに、行政部局による都市流域におけるヒートアイランド対策として屋上緑化等を行う場合の施策評価において、効果検証が可能なモデルが望まれている。そのためには、道路や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、屋上緑化等による蒸発散量の変化に伴う気温上昇抑制効果を個々に検証・予測できるシミュレーションモデルの開発が必要である。

蒸発散は土壌水分及び土壌水分を介在にして流出と関係し合うため、これらの相互関係を十分に考慮した上で決定される必要がある。しかしながら、蒸発散量の計算に一般的に用いられるHamon式¹⁾、Thorntwaite式²⁾等を用いた手法は、気象条件のみから可能蒸発散能を推定し、経験的な係数を乗じることにより蒸発散量を算定する方法であり、土地利用の浸透域、不浸透域における蒸発散量の違いや、浸透域における土地利用区分毎の土壌水分量が蒸発散へ与える影響について考慮できない。竹下³⁾らは集中型モデルを用いて土地利用を考慮した蒸発散モデルの構築を行っているが、これまで個別の地物毎の土地利用の違いによる蒸発散量の違いを表現できるモデルは著者らが知る限り見あたらない。

都市域のモデル作成に用いるデータについては、近年GISデータの整備が目覚ましい。これまで、都市流域は人工的要素を含むため詳細な空間情報の記述が容易ではなかったが、これらの地物データを忠実に表現可能なベクター型土地利用情報を用いることで、天口ら⁴⁾は、都市を形成している土地利用を浸透特性で分類し、家屋、

道路、緑地等の形状を忠実に反映したGISデータを用いることにより、分布型洪水流出モデルを構築する手法が有効であるとした。その中で、分布型洪水流出モデルに適用できる地物形状を忠実に反映したGISデータを「高度な地物データGIS」と定義し、その構築方法を述べている。著者らはこれまで神田川上流域を対象として、土地利用の詳細な判別を行い、高度な地物データGISの構築を行ってきた⁵⁾。また、この高度な地物データGISを用いた都市流域洪水解析モデル(TSRモデル: Tokyo Storm Runoff Model)も提案している^{6),7)}。

Hamon式、Thornthwaite式等は気象資料と蒸発散量を経験的に関連づけた経験モデルであり熱収支的側面を考慮していない手法である。しかし、高度な地物データGISを活用し個別の地物について蒸発散量が精度良く推定されれば、個別地物の潜熱が精度良く算定でき、地物表面の気温変化等を表現できる。それにより、個別の屋上緑化等のヒートアイランド対策効果等を表現できると考えられる。さらに、推定した蒸発散量を用いることにより個別の地物に対し地下浸透量を精度良く表現できる。

そこで本論文では、高度な地物データGISを用いて、個別地物毎の土地利用種別浸透特性と土壌水分量に応じた蒸発散量の違いが表現可能な蒸発散モデルの構築を行う。次いで、都市流域である神田川上流域を対象としてそのモデルを適用することにより、各地物毎の蒸発散量の算定、およびモデルの妥当性確認を行う。

2. 蒸発散モデルの構築

これまでに提案・開発されている多くの長期流出モデルにおいて、蒸発散量は既知(入力データ)もしくはHamon式、Thornthwaite式等を用いた可能蒸発散能から設定されるものとして扱われているが、実現象の蒸発散量は土地利用や土壌の水分状態、および気象条件に影響されている。そのため、図-1に示すような個別地物の浸透特性と土壌水分量の違いによる蒸発散量を表現できる蒸発散モデルを構築すべく、まず表層土壌への浸透過程を表現するモデルとしてSMPTモデル⁸⁾による浸透域モデルを構築し、不浸透域においては窪地貯留を考慮した不浸透域モデルを構築することとした。SMPTモデルにおける浸透域モデルは表層土壌モデルと地下水層モデルの2つから構成されているが、本論文では表層土壌モデルのみを採用し簡易な表層土壌浸透モデルとしている(図-2)。表層土壌浸透モデルからの浸透量は、系外に放出するものとした(図-1)。

浸透地物では、蒸発散による土壌水分量の減少、土壌が飽和することによる直接流出、および土壌から地下水への涵養過程を簡易な表層土壌浸透モデルを用いて表現している。図-2において土壌水分量を $S(t)$ (m)とすると、連続式は式(1)で表せる。

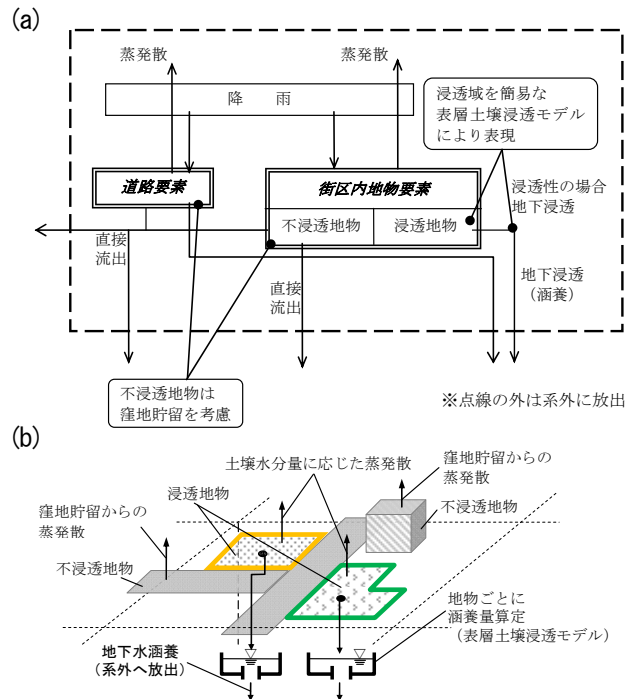


図-1 本論文における蒸発散モデルの概念

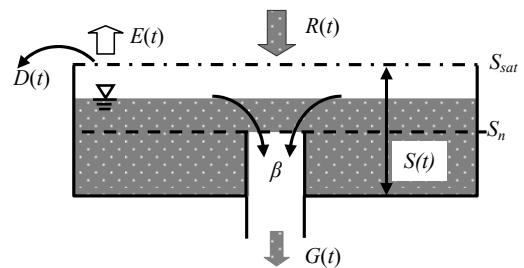


図-2 SMPTモデルを利用した簡易な表層土壌浸透モデル図

$$\frac{dS(t)}{dt} = R(t) - E(t) - G(t) - D(t) \quad (1)$$

ここに、 $R(t)$: 降水量(m/s), $E(t)$: 実蒸発散量(m/s), $G(t)$: 地下水涵養量(浸透量)(m/s), $D(t)$: 浸透域からの直接流出量(m/s)。

$G(t)$ は、 $S(t)$ と地下水涵養定数 β (1/s)から式(2)により算定する。

$$G(t) = \begin{cases} 0 & (0 \leq S(t) \leq S_n) \\ \beta(S(t) - S_n) & (S_n < S(t)) \end{cases} \quad (2)$$

ここに、 S_n : 最小容水量(m)

$D(t)$ は、飽和土壌水分量 S_{sat} (m)と $S(t)$ の関係から式(3)により算定する。ただし、ここでは地表面の流下過程はモデル化せず、 $D(t)$ はモデル系外に放出した。

$$D(t) = \begin{cases} 0 & (0 \leq S(t) \leq S_{sat}) \\ \frac{d(S(t) - S_{sat})}{dt} & (S_{sat} < S(t)) \end{cases} \quad (3)$$

本論文では地物毎の蒸発散量の相対比較を目的としているため、実蒸発散量 $E(t)$ を求めるための日平均可能蒸

発散能 $E_p(t)$ については、計算が容易で、かつ気象データの入手のしやすさからHamon式¹⁾を用いることとする。Hamon式は実験式であるThornthwaite式を改変し飽和絶対湿度の係数を可照時間の2乗で表現した式¹⁾であり式(4)で表される。 $E(t)$ は式(4)により日平均可能蒸発散能 $E_p(t)$ (mm/day)を求め、これに後述の土壤水分量を考慮した蒸発散比式(8)の ETR を乗じて実蒸発散量 $E(t)$ を求めるものとする。

$$E_p(t) = 0.14D_o(t)^2 \cdot P_i(t) \quad (4)$$

$$E(t) = ETR \cdot E_p(t) \quad (5)$$

ここに、 $E_p(t)$ ：日平均可能蒸発散能(mm/day)、 $D_o(t)$ ：可照時間(12hr/day)、 $P_i(t)$ ：日平均気温に対する飽和絶対湿度(g/m^3)。

不浸透地物では、直接流出量 $D(t)$ (m/s)は、表面貯留高 $h(t)$ (m)と窪地貯留などによる直接流出発生高 H_l (m)の関係から式(6)により算定し、 $h(t)$ の変化量は式(7)により算定する(図-3)。

$$D(t) = \begin{cases} 0 & (h(t) \leq H_l) \\ R(t) - E(t) & (h(t) > H_l) \end{cases} \quad (6)$$

$$\frac{dh(t)}{dt} = R(t) - D(t) - E(t) \quad (7)$$

ここに、 $R(t)$ ：時刻 t における降雨強度(m/s)、 $E(t)$ ：実蒸発散量(m/s)、 $h(t)$ ：不浸透地物における表面貯留高(m)、 H_l ：土地利用種別 l の直接流出発生高(m)。なお、不浸透域については窪地貯留分のみが蒸発散可能と考える。土壤水分法による蒸発量は算定せず、式(4)で算定した可能蒸発散能 $E_p(t)$ に補正係数の0.6(鴨下ら⁹⁾を参考に設定)を乗じたものと窪地貯留の水量を比較し、窪地貯留の水量を上限として実蒸発散量 $E(t)$ とした。

次に竹下ら³⁾の手法を参考にHamon式等から求めた可能蒸発散能に土地利用区分毎の蒸発散比の最大値、蒸発散係数、最大保水量に対する土壤水分量を考慮することにより、土地利用の違い、および土壤水分量の違いによる蒸発散量を表現できる蒸発散サブモデル(以下これを「土壤水分法」と呼ぶ)を組み込む。可能蒸発散能と実蒸発散量の比を蒸発散比とし、その蒸発散比を式(8)で算

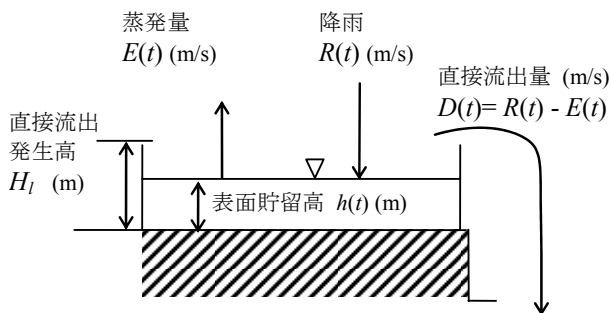


図-3 不浸透地物における直接流出概念図

定して可能蒸発散能に乗ずることにより、流域の乾湿が蒸発散に与える影響を表現している。

$$ETR = PET \left[1 - \frac{2}{1 + \exp(-k \cdot SX)} \right] \quad (8)$$

ここに、 ETR ：蒸発散比、 PET ：蒸発散比の最大値で流域の土地利用条件などに存在するパラメータ、 k ：蒸発散係数、 SX ：土壤水分係数で土壤水分率 SW (飽和土壤水分量 S_{sat} に対する土壤水分量)を用いた次式で与えられる変数。

$$SX = 1 - \frac{1}{(1 - SW)} \quad (9)$$

本論文では、SMPTモデルによる簡易な表層土壤浸透モデルをもとに、飽和土壤水分量 S_{sat} と計算ステップ毎の土壤水分量 $S(t)$ から土壤水分率を算定することにより、可能蒸発散能から実蒸発散量へ変換するための蒸発散比 ETR を算定するモデルとした。また、高度な地物データGISは20の土地利用種別を設定している¹⁰⁾が、浸透域については土地利用種別毎の蒸発散比の最大値、蒸発散係数、飽和土壤水分量を設定することにより、土地利用種別毎の蒸発散量の算定が可能モデルとした。

3. 神田川上流域の土地利用特性

(1) 神田川上流域の概要

本論文で対象とする神田川は流域面積105.0km²、流路延長25.48kmの東京都内の中小河川としては最大規模の一級河川である¹¹⁾。本論文では、図-4に示す神田川の井の頭池から善福寺川合流点までの上流域約11.5km²、流路延長約9kmを対象流域として設定した。

図-5に対象とする神田川上流域の高度な地物データGISを示すが、本流域の全地物を20の土地利用種別に分類している。

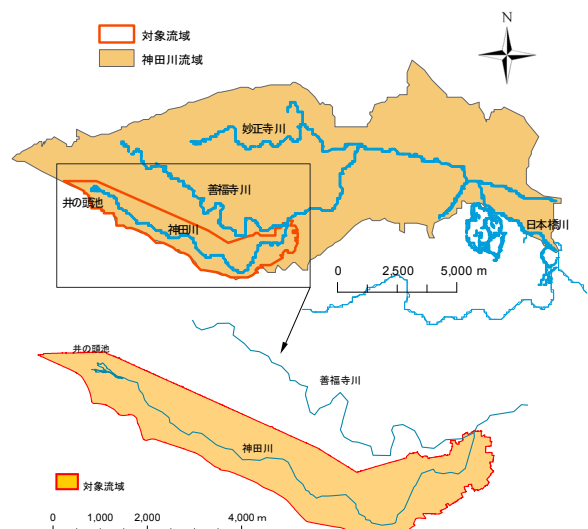


図-4 対象とした神田川上流域位置図

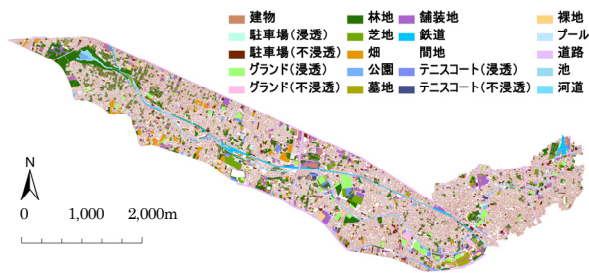


図-5 神田川上流域の高度な地物データGIS

表-1 高度な地物データGISによる要素数および面積率

No	高度な地物データGISによる土地利用種別	要素数	面積 (m ²)	面積率 (%)
1	建物	34,054	3,382,235	29.39
2	駐車場(浸透)	177	60,351	0.52
3	駐車場(不浸透)	635	207,213	1.80
4	グラウンド(浸透)	568	225,656	1.96
5	グラウンド(不浸透)	48	23,288	0.20
6	林地	3,185	1,041,020	9.05
7	芝地	409	171,526	1.49
8	畑	483	188,587	1.64
9	公園	310	104,735	0.91
10	墓地	171	70,392	0.61
11	舗装地	1,157	379,521	3.30
12	鉄道	570	149,388	1.30
13	間地	16,765	3,432,446	29.83
14	テニスコート(浸透)	108	54,613	0.47
15	テニスコート(不浸透)	62	30,383	0.26
16	裸地	117	52,714	0.46
17	プール	27	11,750	0.10
18	道路	45,104	1,785,662	15.52
19	池	85	36,205	0.31
20	河川	307	99,704	0.87
計		104,342	11,507,390	100.00

(2) 地物データGISの特性

表-1に高度な地物データGISによる地物要素数および面積率を示す。表-1より、地物データの要素数は104,342個であり、面積率では間地と建物がそれぞれ約30%を占めており最も多く、次いで道路の約16%の順となっている。図-6には、20の土地利用種別毎の各地物要素の面積に対する累積分布を示している。これより、要素数としては道路が最も多くなり、次いで建物要素が多いことが分かる。また、道路地物は50m²以下の要素が9割以上を占めており、面積が小さな要素が多くなっている事が分かる。

4. 神田川上流域への適用

(1) 計算条件

本論文では、2011年の1月～12月の1年間を対象に、今回提案したモデルを用いて日単位の蒸発散量の解析を行った。日降水量およびHamon式に用いる日平均気温は対象流域近傍の気象庁アメダス「府中」における観測値を用いた。府中観測所の月別の合計日雨量および月平均気温について表-2に示す。

高度な地物データGISでは、表-3に示す通り20の土地利用種別に分類しており、それぞれに浸透域または不浸透域の設定を行っている。なお間地の浸透特性については50%浸透と設定しているため、残り50%の面積は不浸透域として扱った。

表-2 府中雨量・気温観測値 (2011年)

月	降水量 (mm)		気温 (°C)		
	合計	日最大	平均		
			日平均	日最高	日最低
1	1.0	1.0	3.3	9.2	-2.5
2	123.0	51.5	5.8	11.3	0.6
3	75.5	29.5	6.9	12.5	1.3
4	54.5	26.0	13.5	19.4	7.7
5	248.5	91.0	17.7	22.5	13.0
6	117.5	27.0	22.2	26.6	18.5
7	94.0	34.0	26.8	31.6	23.1
8	156.5	41.0	26.8	31.7	23.2
9	281.5	157.0	24.1	28.8	20.2
10	135.0	53.5	18.1	22.6	14.2
11	74.5	41.0	13.0	17.7	8.3
12	66.0	48.5	5.6	10.7	0.4
合計	1,427.5	-	-	-	-

表-3 土地利用種別毎の蒸発散パラメータ

No	土地利用種別	浸透特性	飽和土壌水分量 (mm)	最小容水量 (mm)	地下水涵養定数 (1/s)	初期水量 (mm)	最大蒸発散比	蒸発散係数	定数が同値の区分※
1	建物	不浸透	-	-	-	-	-	-	区分5
2	駐車場(浸透)	浸透	92	74	0.8	64	1.0	0.34	区分3
3	駐車場(不浸透)	不浸透	-	-	-	-	-	-	区分5
4	グラウンド(浸透)	浸透	92	74	0.8	64	1.0	0.34	区分3
5	グラウンド(不浸透)	不浸透	-	-	-	-	-	-	区分5
6	林地	浸透	138	110	0.8	97	1.2	4.38	区分1
7	芝地	浸透	92	74	0.8	64	1.0	0.34	区分3
8	畑	浸透	104	83	0.8	73	1.0	0.55	区分2
9	公園	浸透	92	74	0.8	64	1.0	0.34	区分3
10	墓地	浸透	92	74	0.8	64	1.0	0.34	区分3
11	舗装地	不浸透	-	-	-	-	-	-	区分5
12	鉄道	不浸透	-	-	-	-	-	-	区分5
13	間地	50%浸透	92	74	0.8	64	1.0	0.34	区分3
14	テニスコート(浸透)	浸透	92	74	0.8	64	1.0	0.34	区分3
15	テニスコート(不浸透)	不浸透	-	-	-	-	-	-	区分5
16	裸地	浸透	80	64	0.8	56	1.0	0.13	区分4
17	プール	不浸透	-	-	-	-	-	-	区分5
18	道路	不浸透	-	-	-	-	-	-	区分5
19	池	不浸透	-	-	-	-	-	-	区分5
20	河川	不浸透	-	-	-	-	-	-	区分5

※区分5は不浸透域で、直接流出開始高を2mmに設定

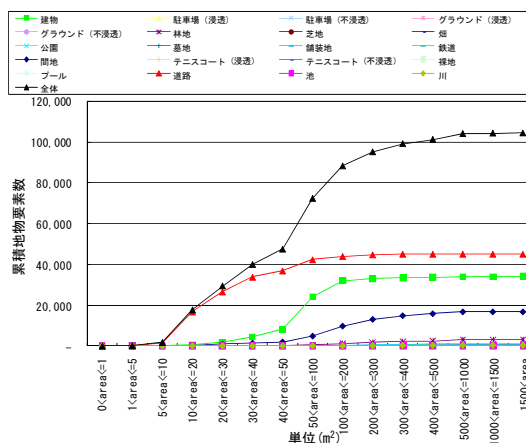


図-6 土地利用種別の個別面積累加曲線

透域として扱った。これらの土地利用種別において、土壌水分法による蒸発散モデル適用のために蒸発散比の最大値PET、蒸発散係数k、飽和土壌水分量S_{sat}を設定する必要がある。浸透域についての上記パラメータについては、土地利用種別毎の実測蒸発散量を用いたキャリブレーションにより設定することが望ましいが、ここでは流域全体の蒸発散量が妥当なものとなるように竹下ら³⁾、藤田ら¹²⁾および荒木ら¹³⁾の値を参考として、20の土地利用種別のうち浸透域である10種の土地利用種別についてパラメータを設定した。なお、土地利用種別は10種存在するが大きくは4区分され、それぞれの区分内の土地利用種別ごとのパラメータは同様とした。区分1は林地のみ、区分2は畑のみ、区分3は駐車場(浸透)、グラウンド

(浸透), 芝地, 公園, 墓地, テニスコート(浸透), 間地の50%面積, 区分4は裸地とした. また, 不浸透域である建物, 駐車場(不浸透), グラウンド(不浸透), 舗装地, 鉄道, 間地の50%面積, テニスコート(不浸透), プール, 道路, 池, 河道については区分5とし, 直接流出発生高(窪地貯留高)は一般的な値¹⁴⁾を採用し2mmと設定した.

(2) 計算結果

上記の計算条件をもとに, 対象流域である神田川上流域において2011年の1年間の日計算による地物毎の蒸発散量の算定を行った結果を図-7に示す. 図-7には, 入力条件として与えた府中観測所の日雨量, 日平均気温の時系列変化を示している. 浸透域については蒸発散モデルパラメータが同値であれば同様の蒸発散量であるため, 図-7には浸透域4区分のそれぞれの代表土地利用種別として林地(区分1), 畑(区分2), 芝地(区分3), 裸地(区分4)の4種と不浸透域の代表土地利用として建物(区分5)の5土地利用種別の蒸発散量時系列を示している. また, Hamon式より算定される可能蒸発散能についても併記している. 府中観測所の日平均気温は, 7月~8月が約30°Cとピークであり, Hamon式より算定される可能蒸発散能は気温の変動傾向とほぼ同じ変動傾向を示し, 最大で約6mm/dayである. 図-7より林地の蒸発散量は可能蒸発散能を上回っており, その他の土地利用は可能蒸発散能を下回っている. これは林地の蒸発散パラメータである最大蒸発散比PETについて, 林地の植生種類や植物の成長段階においては葉面からの蒸散が多くなる場合があることから, これを表現するために1.2と設定しており, 土壤水分量がある程度存在する状態では可能蒸発散能より大きくなるためである. 不浸透域である建物については, 窪地貯留高が2mmでありそれ以上の降雨が発生した場合は直接流出となるため, 最大蒸発散量は2mm/dayとなっている. 年間の総蒸発散量は, 可能蒸発散能が868mm/yearであるのに対し, 林地890mm/year, 畑528mm/year, 芝地415mm/year, 裸地202mm/year, 建物172mm/yearとなっており, 不浸透地物が最も小さい.

図-8には, 土地利用種別毎の蒸発散ボリュームの累加図を示す. 単位面積当たりの蒸発散量が同値でも土地利用種別毎に対象流域における面積が異なっているため, それに伴い蒸発散ボリュームは変化することとなる. ここでは, 蒸発散ボリュームが大きい間地, 道路, 林地, 建物の4種の土地利用種別とその他16種別は合計とし計5種を示している. 間地, 道路, 林地, 建物の4土地利用で, 全地物の合計蒸発散ボリュームの84%を占めており, その内訳はそれぞれ間地(30%), 道路(9%), 林地(27%), 建物(17%)となっている. 道路および建物は不浸透域であり単位面積あたりの年間蒸発量は172mm/yearと小さいが, それぞれの面積率が道路(16%), 建物(29%)と大きいいため結果として蒸発散ボリュームが大きくなっている. 間地についても単位面積あたりの年間蒸発散量

293mm/yearであるが面積率が30%と大きくこのような結果となっている. 一方, 林地については面積率は9%と小さいが, 単位面積あたりの年間蒸発散量が890mm/yearと大きいため結果として蒸発散ボリュームが大きな割合を占めることとなっている.

(3) 考察

以上の結果より, 本モデルで算定した蒸発散量の妥当性について確認してみる. まずは林地の蒸発散量についてであるが日本の森林の一般的な蒸発散量は500~1,000mm/year¹⁵⁾のオーダーであるのに対し, 本モデルで算定した林地の蒸発散量は890mm/yearであり, 概ね妥当な結果が得られていると考えられる. 次に神田川上流域の全体の水収支の観点から推定を試みる. 府中の2011年の年間総雨量は1,428mmであり, 流域全体の総雨量ボリュームに換算すると16,825千m³である. これに対し, 本モデルで得られた全地物からの年間総蒸発散ボリュームは3,378千m³であるため蒸発散比は約20%となる. 一方, 神田川全流域の流域平均雨量と年間蒸発散量は1,512mm/yearおよび231mm/year程度¹⁶⁾, 東京都全域の年間雨量と蒸発散量は1,405mm/yearおよび412mm/year程度¹⁷⁾となっており, 雨量に対する蒸発散比は15%および29%程度のオーダーであると考えられ, 本モデルで得られた蒸発散比20%は妥当な値となっている. これより, 本モデルでは従来評価されていなかった土地利用毎の浸

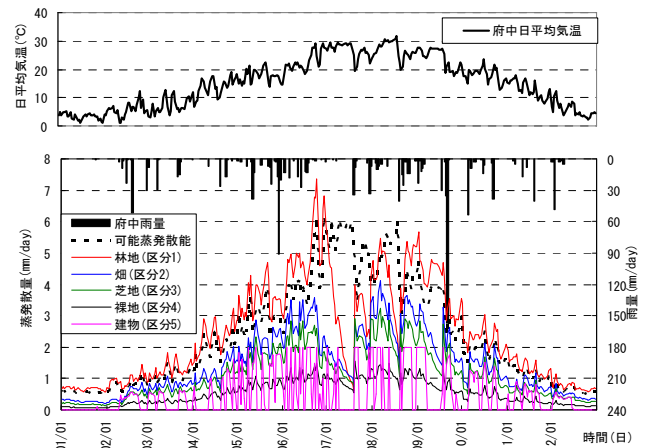


図-7 土地利用種別毎の蒸発散量

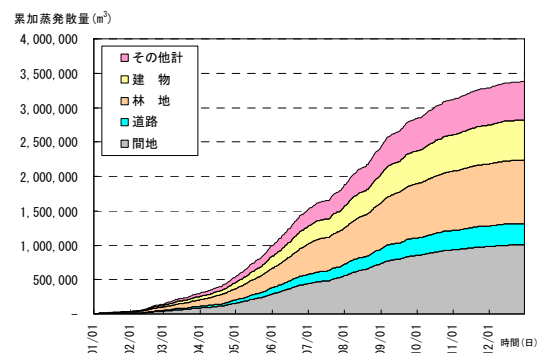


図-8 土地利用種別毎の蒸発散ボリューム累加図

透特性および土壌水分量を考慮した蒸発散量の推定が可能となると考えられる。以上の結果は表-3に示す蒸発散モデルパラメータによる結果であり妥当な蒸発散量が算定されているが、より詳細な地物毎の蒸発散モデルパラメータについては実測蒸発散量とのキャリブレーションが必要である。

蒸発散モデルの蒸発散比等のパラメータの感度について考察するため、試算として表-3に示す個別の土地利用毎に設定している蒸発散パラメータを一律の値(藤田ら¹²⁾、荒木ら¹³⁾の設定値)とした場合の年間蒸発散比を算出し、表-3に示す値を用いた場合の年間蒸発散比と比較を行った。具体的に与えたパラメータは表-3の裸地の蒸発散パラメータを浸透域である10土地利用種別全てに与えることとした。その結果、一律とした場合は年間総蒸発散ボリュームが1,682千 m^3 (蒸発散比約12%)となり、表-3の設定値により得られた年間総蒸発散ボリューム3,378千 m^3 (蒸発散比約20%)と比較して蒸発散比で8%の差が生じることとなるため、土地利用毎の蒸発散パラメータが蒸発散量の算定結果に大きな影響を与えることが分かる。

5. むすび

本論文は、都市流域において非常に複雑に形成された個々の建物、道路などの不浸透域、および公園、畑地などの浸透域を正確に表現できる高度な地物データGISを活用し、土地利用種別浸透特性の違いによる土壌水分量の変化を詳細にモデル化することによって、各地物の土地利用状況の違いを反映することが出来る蒸発散モデルを構築したものである。次いで、そのモデルを神田川上流域に適用し、10万以上の各地物毎に土壌水分法による蒸発散量の算定を行った。また、蒸発散モデルのパラメータ変更による蒸発散量への影響度合いについて検討を行った。その結果、最大の蒸発散量となる土地利用種別は林地であり、最小の蒸発散量は建物等の不浸透域地物であることを示した。また、水収支の観点から本モデルにより算定した蒸発散量の妥当性確認を行い、本論文で構築した蒸発散モデルは流域単位での土地利用地物毎の蒸発散量を推定する上で妥当であることを示した。

本論文では推定した蒸発散量は熱収支的側面を考慮しておらず、街路樹については地物区分を行っていない。また、本論文では地物は平面的に扱っている。都市流域における蒸発散量を精度良く推定するためには、街路樹等の詳細な地物区分の影響評価や建物壁面の遮断蒸発等についての反映が必要不可欠であり今後の課題である。また、今後は蒸発散推定モデルに熱収支的側面も考慮して検討を行う予定である。

謝辞：本研究を遂行するにあたって、東京都アジア高度研究「アジア都市圏における水問題解決のための適応策

に関する研究」(代表：河村明)の補助を受けました。ここに記して深謝申し上げます。

参考文献

- 1) Hamon,W.R. : Estimating Potential Evapotranspiration, ASCE, HY3, paper 2817, 1961
- 2) Thornthwaite,C.W. : An approach toward a rational classification of climate, Geographical Review, Vol. 38, pp. 55-94, 1948.
- 3) 竹下伸一・高瀬恵次：蒸発散サブモデルを導入した長期間流出モデルの開発，水文・水資源学会誌, Vol.16, No.1, pp. 23-32, 2003.
- 4) 天口英雄，河村明，高崎忠勝：地物データGISを用いた新たな地物指向分布型都市洪水流出解析モデルの提案，土木学会論文集, Vol.63, No.3, pp. 206-223, 2007.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 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
- 8) 安藤義久・虫明功臣・高橋裕：丘陵地の水循環機構とそれに対する都市化の影響，第25回水理講演会論文集, pp.197-208, 1981.
- 9) 鴨下泰典，藤村和正，高崎忠勝：井の頭池における水文観測地下水位解析：土木学会年次学術講演会講演概要集，第63巻, No.02, pp.11-12, 2008.
- 10) 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.
- 11) 健全な水循環系構築に関する関係省庁連絡会議：神田川流域水循環系再生構想検討報告, p.2, 2003.
- 12) 藤田光一・伊藤弘之・小路剛志・安間智之：国土技術政策総合研究所資料第299号 水物質循環モデルを活用した水環境政策評価～霞ヶ浦とその流域を対象として～, p.34, 2006.
- 13) 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.
- 14) 「都市小流域における雨水浸透，流出機構の定量的解明」研究会：都市域における水循環系の定量化手法－水循環系の再生に向けて－, 第二編 技術解説, p.58, 2000.
- 15) 近藤純正：地表面に近い大気科学, p.139, 2000.
- 16) 11)に同じ, p.5, 2003.
- 17) 東京都都市計画局都市づくり政策部広域調整課：東京都水循環マスタープランの概要, p.2.

(2012. 9. 30受付)