

地物データGISを用いた
都市流域の蒸発散モデルとその適用に関する研究

2015年3月

古賀達也

首都大学東京

地物データ GIS を用いた 都市流域の蒸発散モデルとその適用に関する研究

目 次

第 1 章 序 論

1-1 研究の背景	1
1-2 既往の研究	3
1-2-1 メッシュ土地利用区分の浸透面積率	3
1-2-2 蒸発散モデルおよびヒートアイランド緩和策評価	4
1-3 高度な地物データ GIS を用いたこれまでの研究	5
1-3-1 高度な地物データ GIS の構築	5
1-3-2 地物データ GIS を用いた都市流域分布型洪水流出モデル	10
1-4 本研究の目的と構成	13
1-4-1 本研究の目的	13
1-4-2 本論文の構成	15

第 2 章 メッシュ土地利用区分の正確な浸透面積率の推定

2-1 緒言	19
2-2 水文解析に利用される土地利用情報	20
2-2-1 グリッド型土地利用情報	20
2-2-2 地物データ GIS	23
2-3 神田川上流域の土地利用特性	24
2-3-1 神田川上流域の概要	24
2-3-2 高度な地物データ GIS の作成	25
2-3-3 高度な地物データ GIS の特性	33
2-4 100m メッシュ土地利用区分の浸透面積率の推定	35
2-4-1 浸透面積率の推定	35
2-4-2 集計結果と考察	41
2-5 10m メッシュ土地利用区分の浸透面積率の推定	43
2-5-1 浸透面積率の推定	43
2-5-2 浸透面積率度数分布	55
2-5-3 浸透面積率の空間分布特性	56
2-6 結語	61

第3章 熱収支および土壌水分を考慮した蒸発散モデルの構築	
3-1 緒言	63
3-2 蒸発散モデル (TET モデル) の概要	64
3-3 熱収支による潜熱, 顕熱評価モデル	66
3-4 SMPT モデルによる土壌水分量評価	69
3-5 蒸発散モデルの構築	71
3-5-1 浸透域	71
3-5-2 不浸透域	74
3-6 結語	75
第4章 TET モデルの神田川上流域への適用	
4-1 緒言	77
4-2 METROS データ	78
4-2-1 METROS データの概要	78
4-2-2 神田川上流域周辺の METROS データ	79
4-3 蒸発散量の推定	82
4-3-1 計算条件	82
4-3-2 計算結果とその考察	84
4-3-3 推定結果の妥当性の検証	91
4-4 結語	92
第5章 ヒートアイランド緩和策に対するシミュレーション評価	
5-1 緒言	94
5-2 ヒートアイランド緩和策シナリオの想定	95
5-3 ヒートアイランド緩和策評価	96
5-3-1 計算条件	96
5-3-2 シミュレーション結果の評価	97
5-4 結語	101
第6章 結 論	103
謝 辞	107

図 表 目 次

図 1-1	天口らによる高度な地物データ GIS の構成要素	7
図 1-2	天口らによる高度な地物データ GIS の構築	8
図 1-3	天口らによる高度な地物データ GIS を用いた都市流域のモデル化	11
図 1-4	天口らによる都市流域分布型洪水流出モデルの計算フロー	12
図 1-5	地物データ GIS を用いた都市流域の蒸発散モデルとその適用のワークフロー	14
表 1-1	天口らによる高度な地物データ GIS 作成の基礎データ	9
図 2-1	グリッド型土地利用の例 (10m メッシュ土地利用区分)	21
図 2-2	10m メッシュ, 100m メッシュおよび地物データとの関係	21
図 2-3	対象とした神田川上流域位置図	24
図 2-4	神田川上流域において作成した基礎的地物データ GIS の例	26
図 2-5	神田川上流域における街区内地物の土地利用抽出のための 1/2500 地形図の例	27
図 2-6	神田川上流域における街区内地物要素の土地利用抽出のための空中写真の例	28
図 2-7	神田川上流域における街区内地物要素の例	28
図 2-8	神田川上流域における道路要素の例	29
図 2-9	神田川上流域における河道要素の例	29
図 2-10	神田川上流域における高度な地物データ GIS の構築例	30
図 2-11	完成した神田川上流域の高度な地物データ GIS	31
図 2-12	土地利用種別毎の個別面積累加曲線	34
図 2-13	神田川上流域の(a)高度な地物データ GIS, および(b)100m メッシュ土地利用区分	37
図 2-14	神田川上流域の(a)高度な地物データ GIS, および(b)10m メッシュ土地利用区分	43
図 2-15	浸透面積率度数分布	55
図 2-16	(a)高度な地物データ GIS, (b)高度な地物データ GIS より求めた 10m メッ	

	シユ土地利用区分毎, (c)海老川(都市流域)での設定値および(d)谷田川(山地・農地流域)での設定値の浸透面積率分布	57
図 2-17	18 流域分割図	58
図 2-18	流域別浸透面積率	60
表 2-1	土地利用区分一覧表	22
表 2-2	神田川上流域の地物データ GIS の作成に必要な基礎データ	25
表 2-3	構築した神田川上流域の地物データ GIS の要素数, 面積および浸透特性	32
表 2-4	高度な地物データ GIS による要素数および面積率	33
表 2-5	土地利用区分毎の集計結果	38
表 2-6	高度な地物データ GIS による浸透面積率	42
表 2-7	土地利用区分毎の集計結果	45
表 2-8	高度な地物データ GIS による浸透面積率	53
図 3-1	本研究における蒸発散モデル (TET モデル) の概念	65
図 3-2	SMPT モデルを利用した簡易な表層土壌浸透モデル図	70
図 3-3	土壌水分率 λ_w と蒸発効果 β の関係	72
図 3-4	不浸透地物における直接流出概念図	74
図 4-1	対象流域周辺の METROS 設置位置	79
図 4-2	日平均気温 (2004 年)	81
図 4-3	土地利用グループ毎の蒸発散量 (St.5 の気温を与えた領域)	85
図 4-4	土地利用種別毎の累積蒸発散量	88
図 4-5	地表面温度分布図 (7 月 21 日)	90
表 4-1	年平均および月平均気温	81
表 4-2	土地利用種別毎蒸発散パラメータ	83
表 4-3	土地利用グループ毎の年間蒸発散, 年平均気温	86
図 5-1	最高気温日 (7 月 21 日) の地表面地物要素毎の地表面温度と観測気温の差	98
図 5-2	蒸発散量最大日 (7 月 1 日) の地表面地物要素毎の地表面温度と観測気温の差	99
表 5-1	ヒートアイランド緩和策シナリオの想定ケース	95
表 5-2	流域平均地表面温度(日および年平均)と年間総蒸発散量	100

第 1 章 序 論

第1章 序 論

1-1 研究の背景

都市部において周辺部より高温域になるヒートアイランド現象は世界の大都市部での喫緊の課題であり、東京都においても過去 100 年の間に約 3.0℃の気温上昇が観測¹⁾されている。ヒートアイランド緩和策の推進は急務であり、東京都の「東京における自然の保護と回復に関する条例」では 1,000m²以上の敷地における新築時は屋上緑化計画の義務づけを実施するなど、ヒートアイランド緩和策を推進している。これらのヒートアイランド緩和策を推進していくためには、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を実施する必要がある。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による評価が重要である。

これまで提案されている都市流域の流出モデル^{2)~9)}は、集中型あるいは分布型であるが、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詳細にシミュレーションするには一般的に分布型モデルが用いられる。既往の分布型流出モデルでは、地表面の形状表現にはグリッド型が多用され、都市河川のピーク流量に影響を与える不浸透域および地下水涵養量に大きな影響を与える浸透域に関する情報として、1980年代から依然として流出率あるいは不浸透面積率が利用されている¹⁰⁾。しかし、流出率あるいは不浸透面積率を用いて建物、道路、駐車場等の地物を個別に表現することはできないので、既往の手法では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を検証するなど現実的な政策評価を詳細かつ精度よく行うことは容易ではない。

他方で、ヒートアイランド緩和策を推進していくためには、行政部局による屋上緑化等のヒートアイランド対策の施策評価を実施する必要がある。しかしながら、個々の土地利用状況の改変による気温抑制効果を評価するためには、グリッド単位の代表土地利用による表現では無く、個々の地物の土地利用改変を表現できるモデルが必要であるが、我々が知る限り、個別の土地利用種別の特性を表現した地表面地物要素毎のヒートアイ

ランド緩和策評価とこれらの流域単位へのヒートアイランド緩和効果を同時に評価した事例は見あたらない。

こうした背景のもと、道路や建物の建設状況など、具体的な都市化の進展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が切望されている。

1-2 既往の研究

1-2-1 メッシュ土地利用区分の浸透面積率

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詳細にシミュレーションするには一般的にグリッド型の分布型モデルが用いられており、これらのモデルでは、各グリッドに対し1つの土地利用を設定し、浸透面積率等の各種パラメータを設定することになるが、その土地利用データのベースとして、国土地理院作成の1/10細分区画と呼ばれていた100mメッシュの国土数値情報土地利用細分メッシュによる土地利用区分（以下これを、「100mメッシュ土地利用区分」と呼ぶ）および10mメッシュの土地利用である細密数値情報（以下これを、「10mメッシュ土地利用区分」と呼ぶ）が用いられている。10mメッシュの細密情報は整備範囲が首都圏、中部圏、近畿圏に限られており、その他の地域では100mメッシュによる土地利用区分を用いてグリッド型モデルの土地利用を設定することが多い^{11),12),13)}。しかし、都市流域では最小単位であるグリッド内においても複数の土地利用が混在しているのが実態である。メッシュ土地利用区分毎の浸透面積率をグリッド型モデルに適用する場合、通常その代表土地利用に相当する浸透面積率をサンプリングにより設定するため、土地利用区分の正確な浸透面積率が反映されず、流出解析結果に大きな影響を与える可能性がある。しかしながら、グリッド型の分布型水循環モデルにおいて用いられる10mメッシュ土地利用区分および100mメッシュ土地利用区分の浸透面積率について検証を行い、その妥当性を示した論文は見当たらない。メッシュ土地利用区分毎の浸透面積率はグリッド型分布型モデルにおいて、流出ピークや地下水涵養量に大きな影響を与えるため、その正確な浸透面積率の推定が課題となっている。

1-2-2 蒸発散モデルおよびヒートアイランド緩和策評価

流域全体を評価する分布型モデルにおける蒸発散量の推定には一般的に *Hamon* 式¹⁴⁾, *Thorntwaite* 式¹⁵⁾等が用いられている。しかしながら, *Hamon* 式, *Thorntwaite* 式等を用いた手法は, 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。これらの課題に対し, 竹下と高瀬¹⁶⁾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, これまで流域全体を評価するモデルにおいて, 個別の地表面地物要素毎の土地利用状況を反映した蒸発散量の違いを表現できるモデルは見あたらない。また, *Hamon* 式等は熱収支的側面についても考慮しておらず, ヒートアイランド緩和策評価を行う上では, 熱収支式を用いて求まる潜熱・顕熱により蒸発散量の推定を行う必要がある。

ヒートアイランド緩和策に対するシミュレーション評価はこれまで多く行われているが, その多くはグリッド型の土地利用情報を用いた広域での緩和策評価 (たとえば神足ら¹⁷⁾, *Ashie and Kono*¹⁸⁾) や詳細な街区単位の緩和策評価 (たとえば田村ら¹⁹⁾), または実証実験による局所的な評価等である。個別の土地利用種別の特性を表現した地表面地物要素毎のヒートアイランド緩和策評価とこれらの流域単位へのヒートアイランド緩和効果を同時に評価した事例は見あたらない。

これらの現状を踏まえると, 個別の土地利用種別の特性を表現した地表面地物要素毎のヒートアイランド緩和策評価とこれらの流域単位へのヒートアイランド緩和効果を同時に評価するためには, 個別地物の土地利用種別により異なる蒸発散量を土壌水分と熱収支を踏まえ表現できるモデルが不可欠であり, かつその評価を流域全体で行うことができるモデルが必要である。

1-3 高度な地物データ GIS を用いたこれまでの研究

1-3-1 高度な地物データ GIS の構築

都市流域の流出現象を把握するために、これまで様々なモデルが提案されてきたが、一般的な方法は、流域をグリッド状に分割し、グリッド内の物理特性（標高、浸透特性等）により構築したグリッド型の分布型モデルによるものである^{6),7),8)}。グリッド内の流出量を算定するには、浸透・不浸透域特性に関する土地利用データが必要となるが、グリッド内の特性値を表す指標として、浸透域・不浸透域の面積率が用いられ¹⁰⁾、グリッド内に存在する具体的な家屋、道路といった固有の地物を特定することは困難である。

天口ら²⁰⁾は、都市を形成している土地利用を浸透・不浸透特性に従い家屋、道路、緑地、河川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」として定義し、その構築方法を述べている。

まず、「高度な地物データ GIS」として、**図 1-1**に示す街区内土地利用地物要素、地表面地物要素（街区要素、道路地物要素、河道地物要素）および雨水・下水道管路地物要素に関する GIS のデータベースを構築している。街区内土地利用地物要素を、浸透・不浸透特性を基準に、建物、舗装地、緑地、グラウンドなど、対象流域の特性に合わせて作成し、どの程度の直接流出量が発生するかを算定するために用いている。地表面地物要素を街区要素、道路地物要素および河道地物要素から構成し、地表面の雨水流出および河道の流れに用いている。道路地物要素および河道地物要素は街区内土地利用要素と同様に、どの程度の直接流出が発生するかを算定するにも用いられている。そして、雨水・下水道管路地物要素をマンホール要素と管路要素で構成し、下水道管路内の流れを解析するために利用している。

構築した GIS データベースを基に、高度な地物データ GIS は**図 1-2**の手順に従い、**表 1-1**に示す様々な基礎データを利用して作成する。基礎的地物データ GIS は、土地利用地物要素を構成する街区内土地利用地物要素および地表面地物要素を作成するための基礎となる GIS データであり、「数値地図 2500（空間データ基盤）」²¹⁾および「東京都縮尺 2,500 分の 1 地形図標準データファイル」により作成する。前者は 1/2,500 の都市計画図を原資料として作成されたもので、道路や河川など地表面の地物形状を二次元の座標値

によりデジタル化したものである。後者は、東京都計画局により作成されたもので、前者の数値地図 2500 に含まれている GIS データに加え、建物や等高線などの地形情報についてもデジタル化されている。本研究では、建物などの精緻な土地利用情報を流出解析モデルの入力データとして利用するため、「東京都縮尺 2500 分の 1 地形図標準データファイル」を利用することを前提とする。

高度な地物データ GIS の構築手順は、次のようになる。まず、ポリゴン型基礎的地物データ GIS から街区内土地利用地物要素および地表面地物要素（道路地物要素、河道地物要素）の作成を行う。街区内土地利用要素は、ポリゴン型基礎的地物データ GIS から抽出した街区要素に対し、1/2,500 地形図等を参考に浸透・不浸透に関する地物情報を新たに追加する。地表面地物要素のうち、道路地物要素については、流出解析の目的に合わせて微小要素への分割し、河道地物要素については、収集した河川に関する図面をもとに、河道の横断特性を与える位置で地物要素に分割する。また、雨水・下水道管路地物要素は下水道台帳を参照して作成を行う。最後に全ての地物要素を合成して高度な地物データ GIS の構築を行う。

なお本研究においても、上記手順に従い対象流域の高度な地物データ GIS を作成している。

(a) 街区内土地利用地物要素



(b) 地表面地物要素
(街区要素, 道路地物要素,
河道地物要素)



(c) 雨水・下水道管路地物要素



図 1-1 天口ら²⁰⁾による高度な地物データ GIS の構成要素

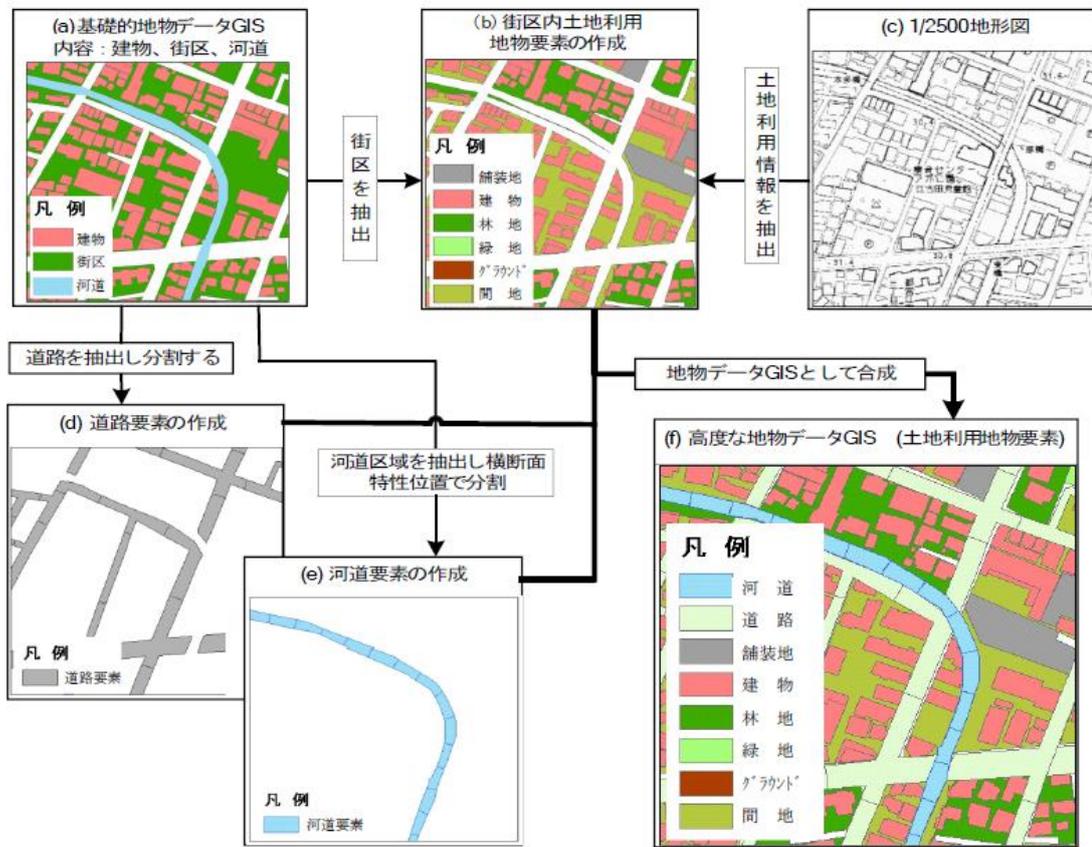


図 1-2 天口ら²⁰⁾による高度な地物データ GIS の構築

表 1-1 天口ら²⁰⁾による高度な地物データ GIS 作成の基礎データ

	データ名	地物データ GIS	説明
空間ベクトルデータ	数値地図 2500 (空間データ基盤) (作成：国土地理院)	街区要素 道路要素 河道要素	縮尺 1/2500 都市計画基図を原資料とした図に表示されている行政区域・海岸線・道路中心線・鉄道・内水面・公共建物等の項目に基準点データを加えてデジタル化したもの。
	東京都縮尺 2500 分の 1 地形図標準データ ファイル (作成：東京都)	街区要素 道路要素 街区要素 街区土地利用要素	上記の数値地図 2500 のデータに加え、等高線や家屋の形状がベクトルデータとして利用可能である。
土地利用	国土画像情報 (カラー航空写真) (作成:国土地理院)	街区土地利用地物要素の判別	「国土画像情報 (カラー空中写真)」は、昭和 49 年度から平成 2 年度にかけて、国土の全域で延べ約 40 万枚の写真を整備したもの (撮影は国土地理院)。撮影縮尺は 1/8000 から 1/15000。
	東京都縮尺 1/2500 都市計画図(紙) (作成：東京都)	街区土地利用地物要素の判別	東京都都市計画図の白地図を印刷して発行されたもので、地図内の凡例から浸透域・不浸透域を区別することが可能。
地盤高	数値地図 5m メッシュ(標高) (作成:国土地理院)	街区要素および道路地物要素の地盤高	1 ファイルに 1/2500 国土基本図を縦横に 5m 間隔に区切ったメッシュの中心標高値が、10cm 単位で格納されている。標高値は航空レーザスキャナ計測により直接得られた標高データから、建物や橋梁等の人工構造物、樹木等の部分を除去したデータをもとに、内挿補間して求めたデータである。
下水道	東京都公共下水道台帳 (作成：東京都等)	雨水・下水道管路地物要素	下水道の詳細な管路敷設図 マンホール、雨水・下水道管路位置と水理解析に必要となる属性情報
河道	縦断図 平面図 横断図 (作成：東京都等)	河道地物要素および河道要素の横断特性	河道の河床、左右岸堤防高、左右岸地盤高 横断測量の測点位置 測点位置の横断形状

1-3-2 地物データ GIS を用いた都市流域分布型洪水流出モデル

天口ら²⁰⁾は、前項で構築した高度な地物データ GIS を用いて、洪水時の都市流域の流出過程をモデル化している。

まず、図 1-3 に示すとおり、構築した高度な地物データ GIS を基に、街区内土地利用地物要素から流出先である道路要素への接続関係、および道路要素から雨水・下水管理要素と河道要素への接続関係を設定することにより都市流域のモデルを行っている。次いで、街区内土地利用地物要素と道路要素における直接流出量、街区内土地利用地物要素から道路要素への流れ、各地物要素間の雨水の流れ、雨水・下水管路の流れ、および河道の流れの各算定式を定め、図 1-4 に示す計算フローによる都市流域分布型洪水流出モデルを構築している。

なお天口ら²⁰⁾の研究では、地物データ GIS を用いた都市流域分布型洪水流出モデルに対する総合的な概念を提示し、まずその全体モデルを具体的に提案・構築・評価することを主な目的としている。そのため、そこで用いている個々の水文・水理モデルについては、とりあえず既存の簡便で標準的と考えられるモデルを採用しており、より高度な水文・水理モデルを組み込んで改良していくことは容易であるとしている。

本研究では、この地物データ GIS を用いた都市流域分布型洪水流出モデルの蒸発散モデル部分を基礎として、浸透特性と土壌水分量の違いを熱収支を考慮して表現可能な蒸発散モデルを構築することとした。



図 1-3 天口ら²⁰⁾による高度な地物データ GIS を用いた都市流域のモデル化

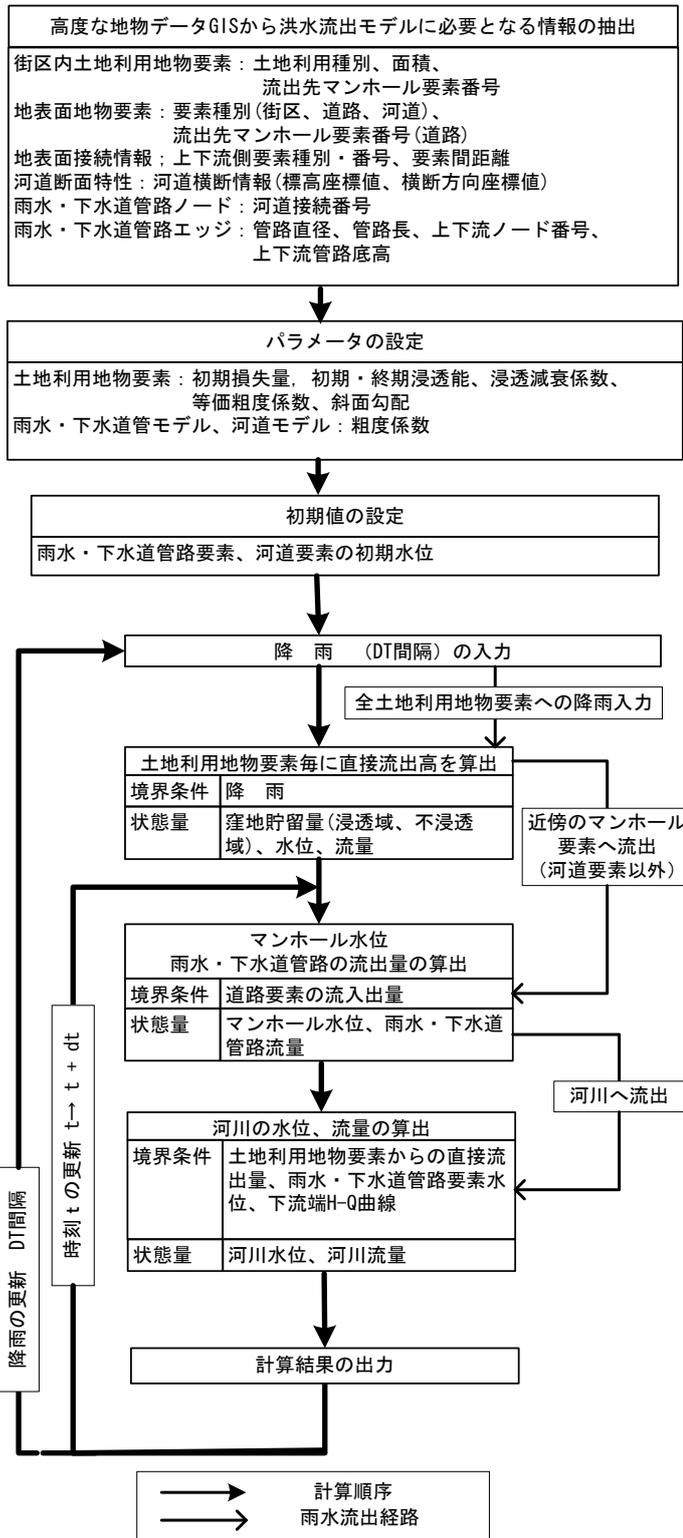


図 1-4 天口ら²⁰⁾による都市流域分布型洪水流出モデルの計算フロー

1-4 本研究の目的と構成

1-4-1 本研究の目的

本研究のワークフローを図 1-5 に示す。本研究は、都市流域において非常に複雑に形成された、個々の建物、駐車場、道路などの不浸透域、および公園、グラウンドなどの浸透域を正確に抽出できる地物データ GIS（地理情報システム）を用いて、地表面地物要素毎の土地利用および土壌水分量の違いを表現可能な蒸発散モデルを構築し東京都内の実流域に適用することによりその有用性を示すとともに、都市流域の地表面地物要素への種々のヒートアイランド緩和策をシミュレーション評価することを目的としている。

これまでヒートアイランド緩和策に対するシミュレーション評価は多く行われているが、その多くはグリッド型の土地利用情報を用いた広域での緩和策評価^{17),18)}や詳細な街区単位の緩和策評価¹⁹⁾、または実証実験による局所的な評価等である。一方、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は、個別地区での効果や施策単位での評価のほか、流域単位での評価など様々な視点で行う必要があるが、個別の土地利用種別の特性を表現した地表面地物要素毎のヒートアイランド緩和策評価とこれらの流域単位へのヒートアイランド緩和効果を同時に評価した事例は見あたらない。そこで本研究では、図 1-5 に示すように、蒸発散に大きく関係する土地利用種別情報を有した高度な地物データ GIS を対象流域全体において構築し、土地利用種別の違いによる土壌水分と蒸発散量および気温抑制効果を表現可能な蒸発散モデルを提案する。そして、提案したモデルを東京都内の実流域に適用し、ヒートアイランド緩和策シナリオにもとづきシミュレーション評価を行うことにより、地表面地物要素毎のヒートアイランド緩和策評価とこれらの流域単位へのヒートアイランド緩和効果を同時に評価する。

さらに、高度な地物データ GIS が有している個々の地表面地物要素毎の浸透・不浸透特性を活用することにより、従前からグリッド型分布型モデルのパラメータとして用いられており流出ピークや地下水涵養量に大きな影響を与えるがその妥当性について検証が行われていない土地利用区分毎の浸透面積率について、その正確な浸透面積率の推定を目的としている。

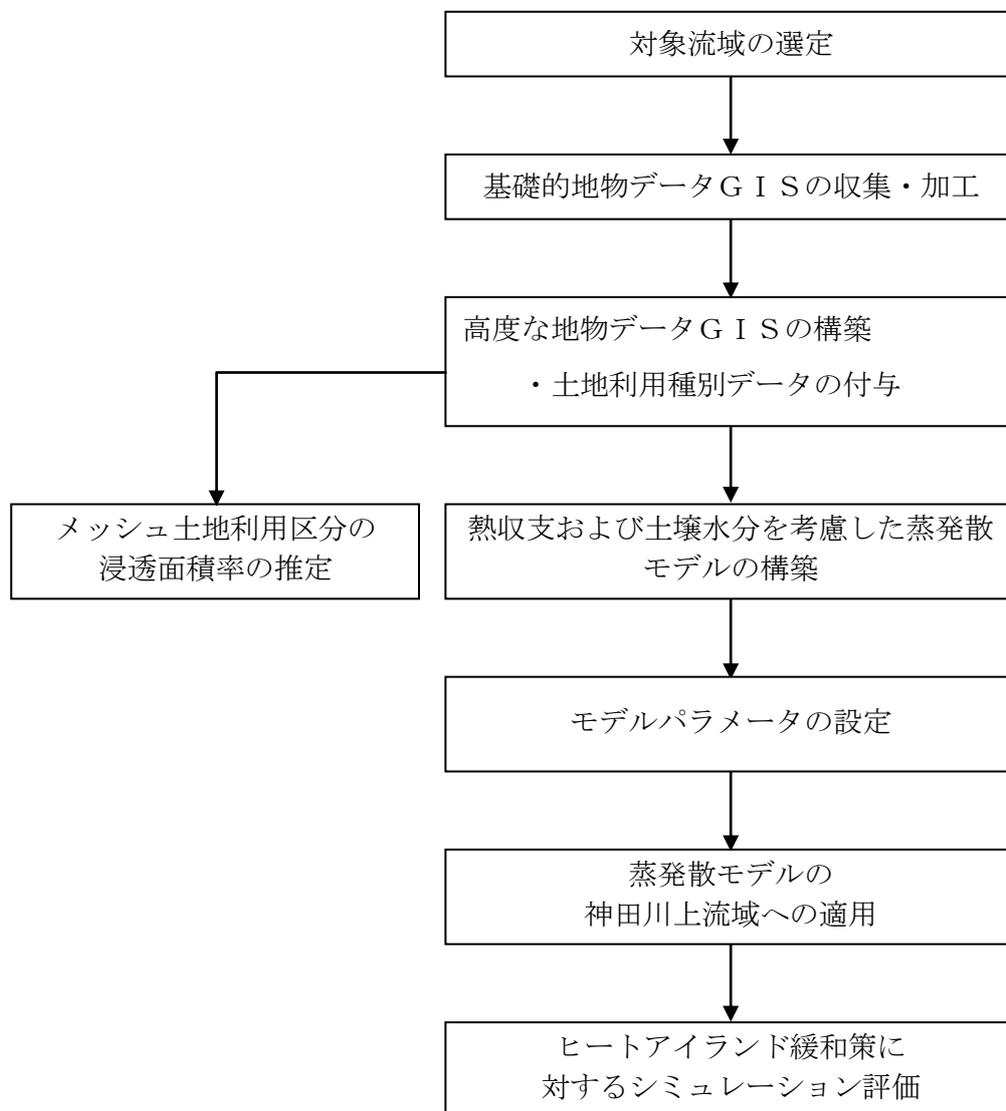


図 1-5 地物データ GIS を用いた都市流域の蒸発散モデルとその適用のワークフロー

1-4-2 本論文の構成

本論文は、全6章で構成されており、各章の概要は以下のとおりである。

第1章は序論であり、本研究の背景および目的について述べ、本論文の構成を示している。

第2章では、神田川上流域を対象として、建物道路、公園などの土地利用情報および浸透特性を付与した高度な地物データ GIS を活用することにより、100m および 10m グリッドデータの全メッシュに対し浸透面積率を正確に算定し、土地利用区分毎の浸透面積率を推定するとともに、これらを従前の浸透面積率の設定値と比較・検討する。また、土地利用区分毎の浸透面積率の度数分布特性および空間分布特性を明らかにする。

第3章では、高度な地物データ GIS を用いて地表面を浸透地物と不浸透地物に分類し、浸透特性と土壤水分量の違いを熱収支を考慮して表現可能な蒸発散モデル (Tokyo Evapotranspiration Model : 以下、「TET モデル」という) を提案する。浸透域に対しては、地表面地物要素毎の土地利用の違いおよび土壤水分量の状態を考慮し、バルク式による熱収支式を用いて潜熱・顕熱を算定できるモデルとする。不浸透域では、窪地貯留分の水量の蒸発を表現するモデルとし、本モデルにより算定された潜熱・顕熱を用いて、地表面地物要素毎の蒸発散量時系列と同時に地表面温度変化を表現可能なモデルを構築する。

第4章では、第3章で構築した TET モデルを、東京都内で密な観測値を有する METROS データを用いて神田川上流域 (約 11.5km²) に適用することにより、地表面地物要素毎の蒸発散量を推定し、その妥当性を検証する。また、対象流域での気温および土地利用の違いが蒸発散量および地物表面温度の空間分布に及ぼす影響について評価する。これらの結果より、地表面地物要素毎の潜熱、顕熱および蒸発散量を推定できることを確認し、その推定値の妥当性を評価するとともに、神田川上流域での蒸発散量および地物表面温度分布を明らかにする。

第5章では、神田川上流域において建物の屋上緑化および道路の保水性舗装化のヒートアイランド緩和策を実施したシナリオを想定し、土地利用種別の改変による地表面温度変化および流域平均気温の変化を算定するとともに、これらのヒートアイランド緩和策をシミュレーション評価する。その結果から、様々なシナリオによる個別地物に対するヒートアイランド緩和策の気温抑制効果についてシミュレーション評価が可能であることを示し、本蒸発散モデルの有用性を示す。

最後に第6章は結論であり，本研究で得られた知見をまとめるとともに，今後の課題について述べる．

【参考文献】

- 1) 東京都環境局：ヒートアイランド対策ガイドライン, p.2, 2005.
- 2) 與田敏昭, 鈴木浩生, 陳活雄, 村岡浩爾：大阪平野地下水涵養モデルを用いた涵養機構の検討, 地盤工学研究発表会 発表講演集, Vol.JGS39, pp.1167-1168, 2004.
- 3) 国分邦紀：東京の台地における地下水・湧水の特徴と変動の一事例, 水文・水資源学会2004年研究発表会要旨集, Vol.17, pp.92-93, 2004.
- 4) 古米弘明, H.K.P.K.Jinadasa, 村上道夫, 中島典之, 肱岡靖明：分布型モデルを用いた都市域雨水浸透施設の流出抑制効果の検討, 水文・水資源学会2004年研究発表会要旨集, Vol.17, pp.160-161, 2004.
- 5) 片桐由希子, 山下英也, 石川幹子：流域の水循環に視点をおいた小流域の緑地環境の変化に関する研究, ランドスケープ研究, Vol.68, No.5, pp. 913-918, 2005.
- 6) 賈仰文, 倪广恒, 河原能久, 末次忠司：都市流域の水循環解析と雨水浸透施設の効果の評価, 水工学論文集, 第44巻, pp.151-156, 2000.
- 7) 天口英雄, 安藤義久：SMPTモデルを用いた分布型水循環モデルの改良について, 水工学論文集, 第46巻, pp.265-270, 2002.
- 8) 中村茂：グリッド型水循環系解析モデルの開発～海老川流域を対象として～, 水工学論文集, 第45巻, pp.103-108, 2001.
- 9) 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.151-165, 2009.
- 10) 「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, pp.64-65, 2000.
- 11) 木内豪, 渡辺康実：地質・土壌・土地利用の空間分布を考慮した水循環解析手法の検討, 水工学論文集 第55巻, pp.25~30, 2011.
- 12) 建設省土木研究所河川部都市河川研究室：土木研究所資料第3713号 都市河川流域における水・熱循環の統合解析モデルの開発, p.51, 2000.
- 13) 独立行政法人土木研究所水工研究グループ水理水文チーム：WEPモデル解説書(試用版), p.31, 2002.
- 14) Hamon, W.R. : Estimating Potential Evapotranspiration, ASCE, HY3, paper 2817, 1961.
- 15) Thornthwaite, C.W. : An approach toward a rational classification of climate, Geographical

Review, Vol. 38, pp. 55-94, 1948.

- 16) 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.
- 17) 神足洋輔, 村上和男, 伊藤一正: 気象モデルWRFを用いた関東平野における土地利用が夏期の都市気象に与える影響, 水工学論文集, 第52巻, pp.229-234, 2008.
- 18) Ashie Y., Kono T.: Urban-scale CFD analysis in support of a climate-sensitive design for the Tokyo Bay area, International Journal of Climatology, Vol. 31, pp.174-188, 2011.
- 19) 田村英俊, 平口博丸: 都市街区内の部分緑化による地上気温低減効果に関する数値実験, No. 804, VII-37, pp.804_51-804_63, 2005.
- 20) 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.
- 21) 国土地理院: 基盤地図情報ダウンロードサービス, 2008, < <http://sdf.gsi.go.jp/> > (2008年6月10日)

第 2 章

メッシュ土地利用区分の正確な浸透面積率の推定

第2章 メッシュ土地利用区分の正確な浸透面積率の推定

2-1 緒言

これまで、都市域における水循環機構の解明を目的としたグリッド型の分布型水循環モデルが数多く提案されている¹⁾。そのグリッドサイズは細密の場合でも10mで、通常25～100mを用いて実流域に適用されている。分布型水循環モデルでは、各グリッドに対し1つの土地利用を設定し、浸透面積率等の各種パラメータを設定することになるが、その土地利用データのベースとして、国土地理院作成の1/10細分区画と呼ばれていた100mメッシュの国土数値情報土地利用細分メッシュによる土地利用区分（以下これを、「100mメッシュ土地利用区分」と呼ぶ）および10mメッシュの土地利用である細密数値情報（以下これを、「10mメッシュ土地利用区分」と呼ぶ）が用いられている。10mメッシュの細密情報は整備範囲が首都圏、中部圏、近畿圏に限られており、その他の地域では100mメッシュによる土地利用区分を用いてグリッド型モデルの土地利用を設定することが多い。しかし、都市流域では最小単位である10mグリッド内においても複数の土地利用が混在しているのが実態である。100mメッシュ土地利用区分または10mメッシュ土地利用区分により算定した浸透面積率をグリッド型モデルに適用する場合、通常その代表土地利用に相当する浸透面積率をサンプリングにより設定するため、土地利用区分の正確な浸透面積率が反映されず、流出解析結果に大きな影響を与える可能性がある。

本章では、天口ら²⁾が提案した高度な地物データGISを活用することにより、まず個別の10mメッシュおよび100mメッシュの正確な浸透面積率を推定した。次に、個別のメッシュ浸透面積率を同様の土地利用区分毎に累積することにより10mメッシュおよび100mメッシュ土地利用区分毎の平均的な浸透面積率を算定するとともに、これを従前の他河川の解析に用いられていた土地利用区分毎の浸透面積率の設定値と比較検討する。さらに、10mメッシュ土地利用については、各10mメッシュの正確な浸透面積率を基に、10mメッシュ土地利用区分毎の度数分布特性や空間分布特性を明らかにしている。

2-2 水文解析に利用される土地利用情報

2-2-1 グリッド型土地利用情報

1 章で述べたように都市流域の流出現象を把握するための一般的な手法は、グリッド内の物理特性（標高，浸透特性等）により構築したグリッド型の分布型モデルを用いたものである^{3).4).5)}。グリッド内の流出量を算定するには，浸透・不浸透域特性に関する土地利用データが必要となるが，グリッド内の特性値を表す指標として，代表土地利用毎に設定された浸透域・不浸透域の面積率が用いられ⁶⁾，グリッド内に存在する具体的な家屋，道路といった固有の浸透特性に基づく地物を特定することは困難である。これは，**図 2-1** に示す例のように，グリッド型の土地利用データは各グリッドの代表的な土地利用を表現しており，個別の土地利用地物を表現していないためである。

グリッド型の土地利用特性に利用できるデータとして，前述の 100m メッシュ土地利用区分および 10m メッシュ土地利用区分がある。100m メッシュ土地利用区分は標準地域メッシュ・コードにもとづく緯度・経度を基にした第 3 次地域区画(1/25000 地形図 1 図葉の区画に対応する第 2 次地域区画の緯度・経度方向 10 等分)を緯度・経度方向に 10 等分した図画の土地利用データであり，1 辺の長さは緯度・経度方向で異なり，100m とはならない。一方，10m メッシュ土地利用区分は平面直交座標系における 10m×10m 区画の土地利用データである。それぞれのグリッドサイズのイメージは**図 2-2** に示すとおりであり，**図中**にはそれらと地物データの関係も併記している。

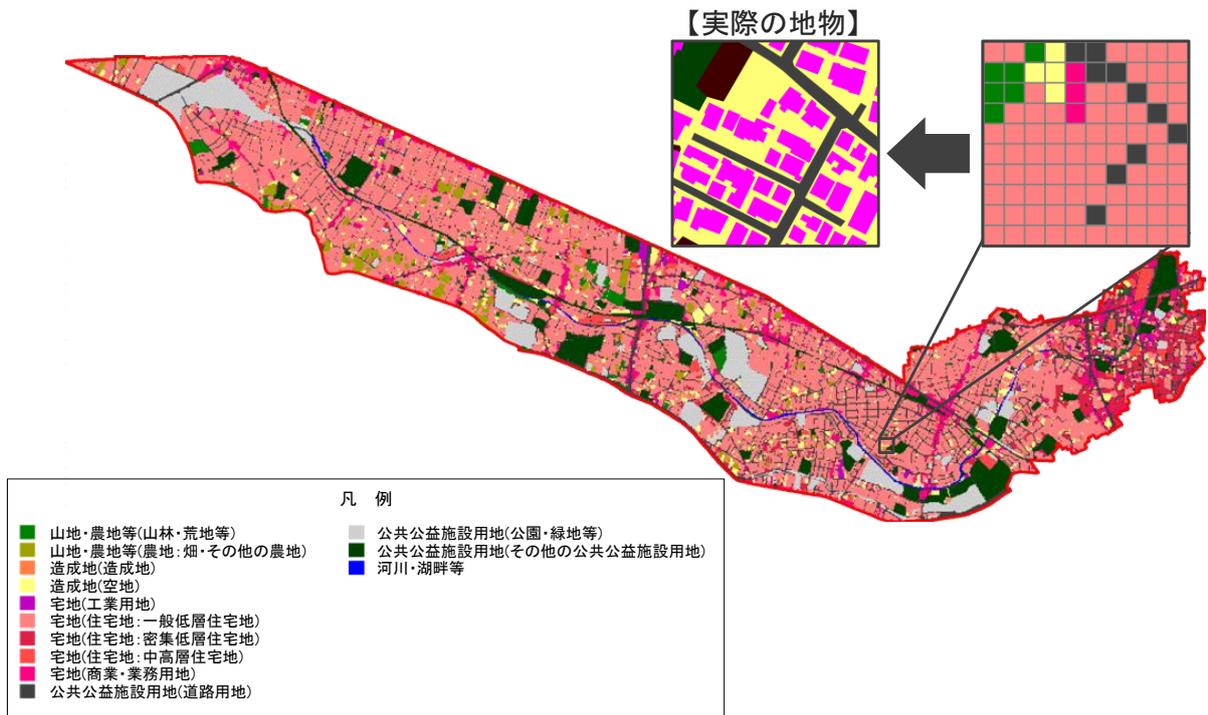


図 2-1 グリッド型土地利用の例 (10m メッシュ土地利用区分)

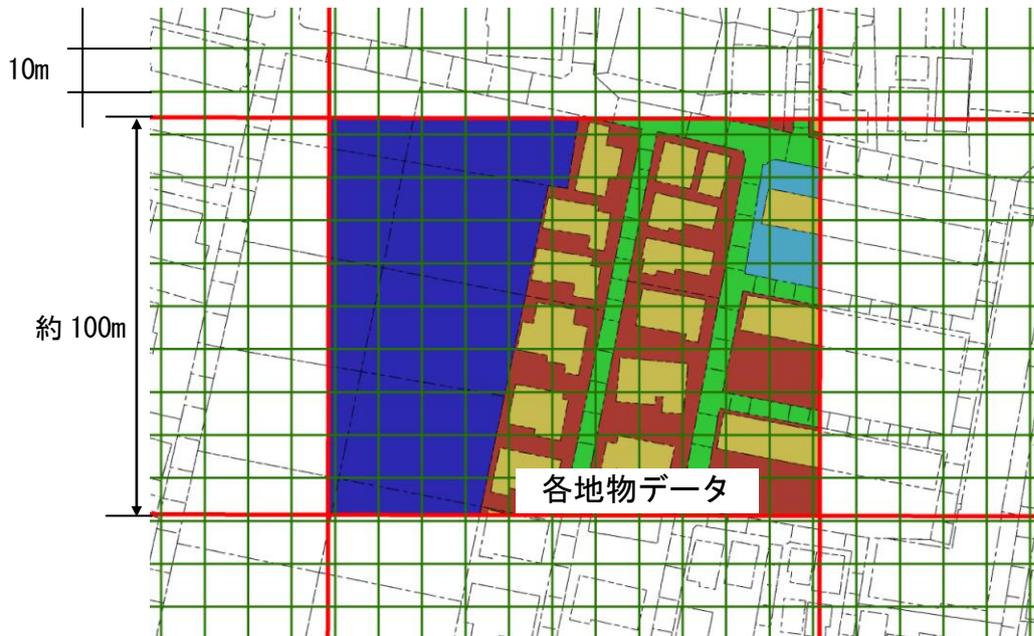


図 2-2 10m メッシュ, 100m メッシュおよび地物データとの関係

表 2-1 に 10m メッシュ土地利用区分と 100m メッシュ土地利用区分で用いられている土地利用区分の定義を示す。100m メッシュ土地利用区分は全国で整備されたデータであるため、グリッド型モデルの土地利用データとして一般的に用いられている。一方、首都圏、中部圏、近畿圏ではより詳細な 10m メッシュ土地利用区分が整備されており、これらの地域では 10m メッシュ土地利用データが使われるが、この詳細な 10m メッシュ土地利用区分でも図 2-1 に示すように個別の土地利用は表現できていない。100m メッシュ土地利用区分では 11 区分、10m メッシュ土地利用区分では 17 区分の土地利用区分となっている。これらの土地利用データは、例えば 10m メッシュ土地利用区分については、データ整備の当初の目的は都市圏の主要部を対象に宅地関連政策の総合的展開に必要な基礎資料を得るため、宅地利用動向調査をもとに作成された土地利用データである。つまり、土地利用区分毎の浸透率の違いを念頭に整備されたデータではないため、例えば 10m メッシュ土地利用区分の土地利用区分データを用いて土地利用区分毎の浸透面積率の設定を行う場合は、土地利用区分の浸透特性に応じて土地利用区分を統合する等、十分に留意して設定する必要がある。

表 2-1 土地利用区分一覧表

10mメッシュ土地利用区分				100mメッシュ土地利用区分	
コード	土地利用区分			コード	土地利用区分
	大分類	中分類	小分類		
1	山地・農地等	山林・荒地等		1	田
2	山地・農地等	農地	田	2	その他の農用地
3	山地・農地等	農地	畑・その他の農地	3	-
4	造成地	造成地		4	-
5	造成地	空地		5	森林
6	宅地	工業用地		6	荒地
7	宅地	住宅地	一般低層住宅地	7	建物用地
8	宅地	住宅地	密集低層住宅地	8	-
9	宅地	住宅地	中高層住宅地	9	幹線交通用地
10	宅地	商業・業務用地		A	その他の用地
11	公共公益施設用地	道路用地		B	河川地及び湖畔
12	公共公益施設用地	公園・緑地等		C	-
13	公共公益施設用地	その他の公共公益施設用地		D	-
14	河川・湖沼等			E	海浜
15	その他			F	海水域
16	海			G	ゴルフ場
17	対象地域外				-

：平成3年以降は他の土地利用区分と統合され、使用されていない土地利用区分

2-2-2 地物データ GIS

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。建物や道路などの地物を的確に表現出来る多角形（ポリゴン形状）のベクター型¹⁾を用いた地物データの作成が行われている。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、特定の建物、道路といった詳細な空間情報を抽出することが可能となった²⁾。しかし、現在利用可能な基礎的地物データ GIS には、直接流出量の算定に必要な浸透特性にもとづいた林地、緑地、グラウンドおよび畑地などの土地利用種別の情報が含まれていない。これらの地物要素の微小要素への分割には、1/2500 地形図や航空写真を基に個々の土地利用種別の判別を行い、手作業により各地物の浸透特性等を設定していく必要がある。このように、基礎的地物データ GIS に様々な手を加えることで洪水流出解析モデルに適用可能な高度な地物データ GIS を構築する必要がある。

2-3 神田川上流域の土地利用特性

2-3-1 神田川上流域の概要

本研究で対象とする神田川は、東京都三鷹市の井の頭恩賜公園内にある井の頭池にその源を発し、杉並区南部を東に流れ、中野区の区境付近で善福寺池を水源とする善福寺川と合流し、新宿区に流入する。流域面積 105.0km^2 、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⁸⁾。本研究では、図 2-3 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 11.5km^2 、流路延長約 9km を対象流域として設定した。

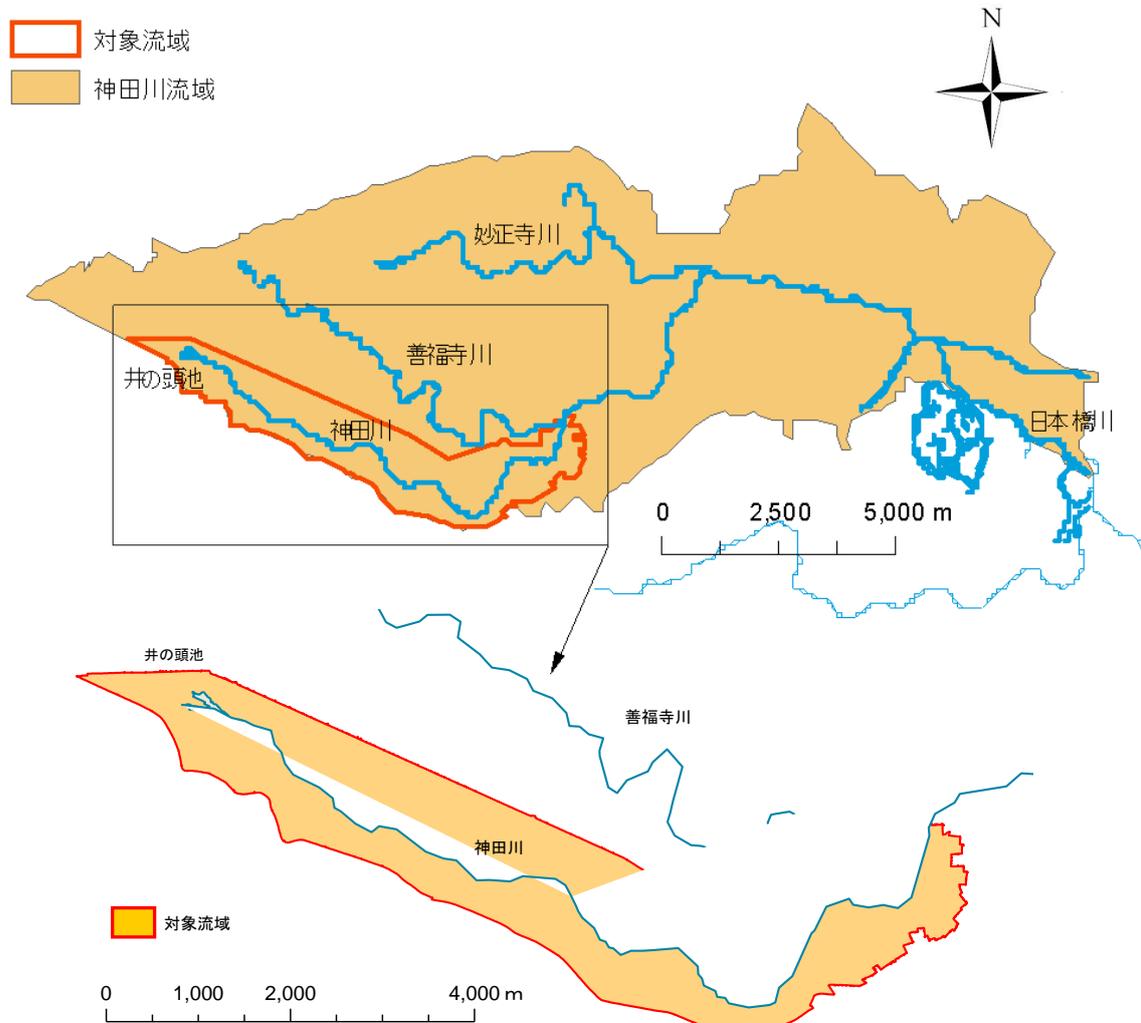


図 2-3 対象とした神田川上流域位置図

2-3-2 高度な地物データ GIS の作成

(1) 地物データ GIS 作成のためのデータ収集および加工

神田川上流域のモデル化のために収集した基礎データの一覧を表 2-2 に示す。本研究では、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（ここでは東京都が作成し都市計画図等に利用している電子地図データ）から、GIS ソフトウェア ArcGIS を用いて図 2-4 に示すポリゴン型の地物データ GIS に加工する。例えば、街区領域では街区と道路の境界線から二次元閉領域で表現されるポリゴン型データに変換する。建物および河道の境界線を表す線データも同様に、ポリゴン型データに変換する。ただし、河道要素については橋の部分河道領域とするなどの修正を手作業で行い、河道要素を連続領域として表現する。このように、境界線として表されるデータから建物、街区そして河道の領域を表すポリゴン形式データへの加工を行うことで、図 2-4 に示す基礎的地物データ GIS の作成を行う。

表 2-2 神田川上流域の地物データ GIS の作成に必要な基礎データ

基礎データ	抽出するデータ
東京都基礎的地物データ GIS	建物、街区、河道形状（ポリラインデータ）
東京都地形図 1/2,500 空中写真	街区内土地利用
国土地理院 5m メッシュ（標高）	街区要素、道路要素の地盤高

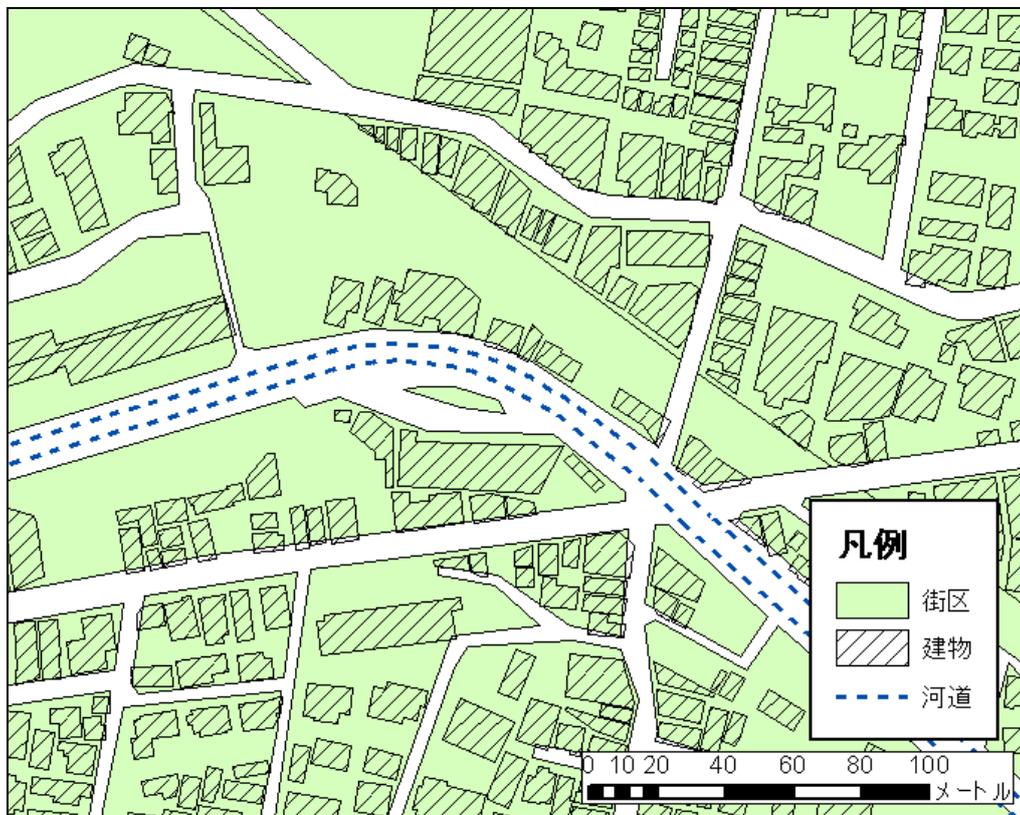


図 2-4 神田川上流域において作成した基礎的地物データ GIS の例

(2) 街区内地物要素の作成

図 2-4 に示すポリゴン型基礎的地物データ GIS で表現される各街区要素を対象として、図 2-5 に示す 1/2500 地形図と図 2-6 に示す空中写真を参考に、街区内の駐車場、グラウンド、林地などの土地利用種別に関する情報を一つひとつ手作業で新たに付加し、図 2-7 に示すような街区内地物要素を作成する。土地利用種別に応じて各地物要素の浸透・不浸透特性を設定する。

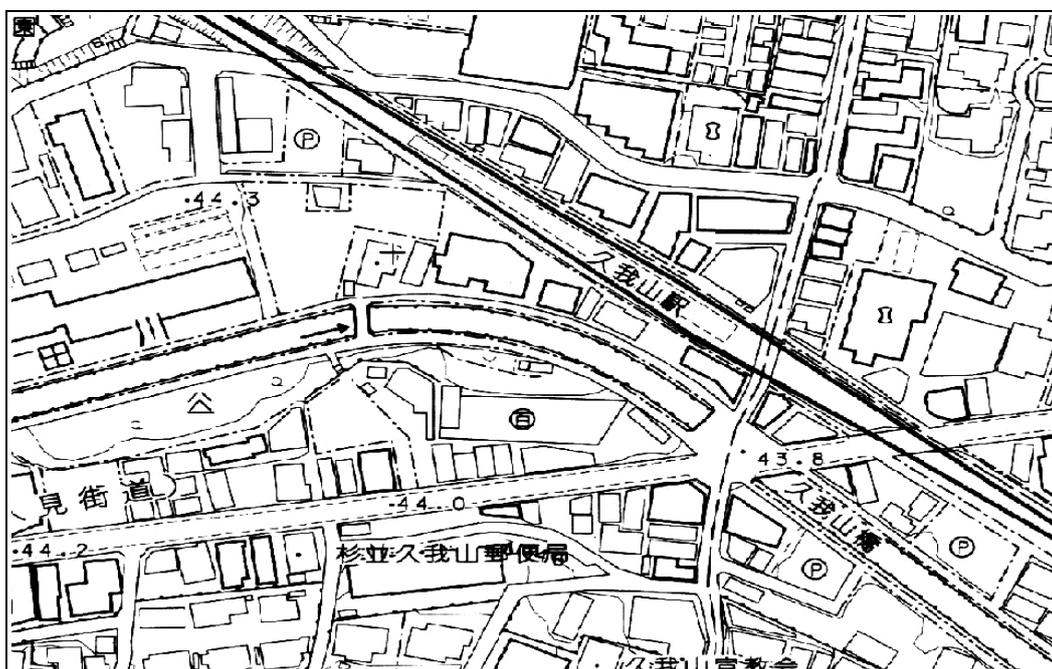


図 2-5 神田川上流域における街区内地物の土地利用抽出のための 1/2500 地形図の例



図 2-6 神田川上流域における街区内地物要素の土地利用抽出のための空中写真の例



図 2-7 神田川上流域における街区内地物要素の例

(3) 道路要素および河道要素の作成

図 2-4 に示すポリゴン型基礎的地物データ GIS には、道路に関するデータは含まれていないが、流域界を表すポリゴンデータから街区要素領域と河道要素領域を除外することにより道路要素領域を表すポリゴンデータを作成できる (図 2-8)。しかし、作成される道路要素データは連続した一要素のデータとして表現されているため、微小道路要素への分割を行う。道路要素を分割することにより、保水性舗装道路とそうでない道路といった浸透性の違いを表現できる。また、河道要素も道路要素と同様に図 2-9 のように微小河道要素への分割を行う。

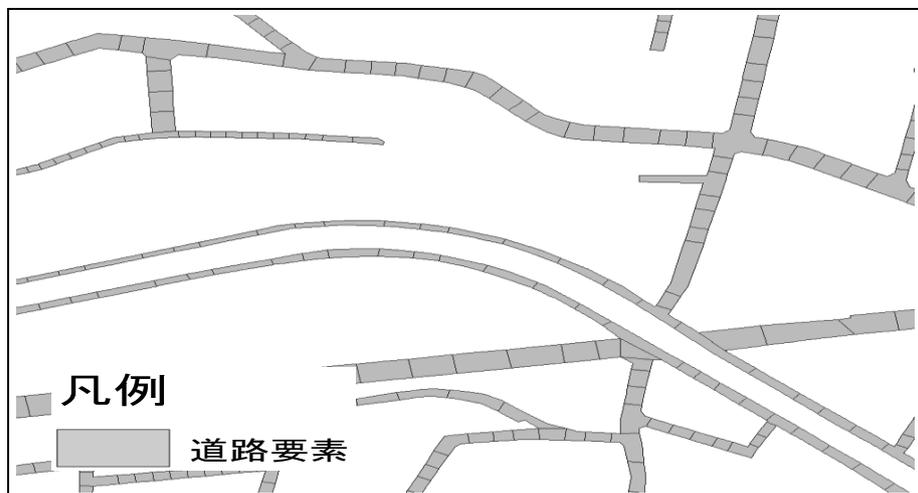


図 2-8 神田川上流域における道路要素の例

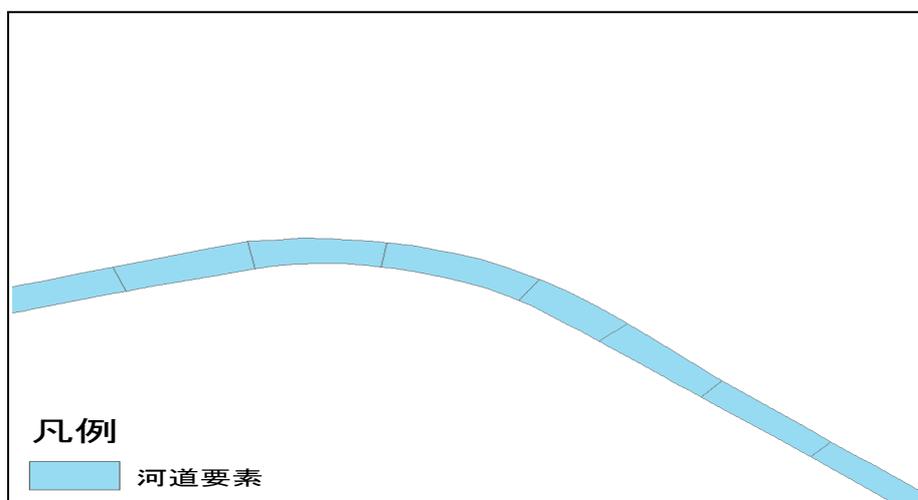


図 2-9 神田川上流域における河道要素の例

(4) 高度な地物 GIS の構築

上記の街区内地物要素，道路要素，河道要素を合成することにより図 2-10 に示すような高度な地物データ GIS を作成する．対象流域全体に適用した高度な地物データ GIS を図 2-11 に示す．

作成した地物データ GIS による各地物の要素数および面積を表 2-3 に示す．対象流域内における地物要素の総数は 104,342 個である．本研究では，地物の種別ごとに浸透域・不浸透域を表 2-3 のように浸透特性 f_i として浸透域であれば $f_i=1.0$ ，不浸透域であれば $f_i=0.0$ として区別したが，住宅地の庭などの間地については，一つの間地内で駐車場などの不浸透面と裸地などの浸透面を個別に区別することは困難である．そこで，本研究ではいくつかの住宅地を調べたところ，不浸透面と浸透面の面積比率がおおよそ半々であったことから，浸透面と不浸透面の面積比率は 50%と想定した．以上より，対象流域内の浸透面積は約 3.7km^2 となり，流域全体における浸透面積率は 32.0%となった．

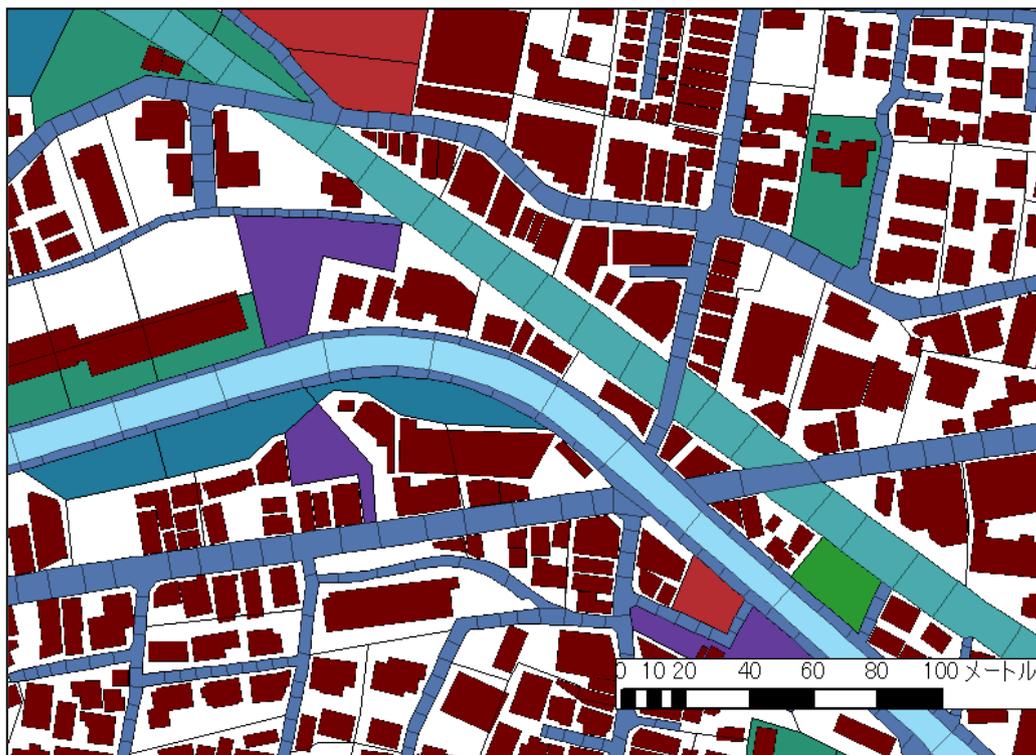


図 2-10 神田川上流域における高度な地物データ GIS の構築例

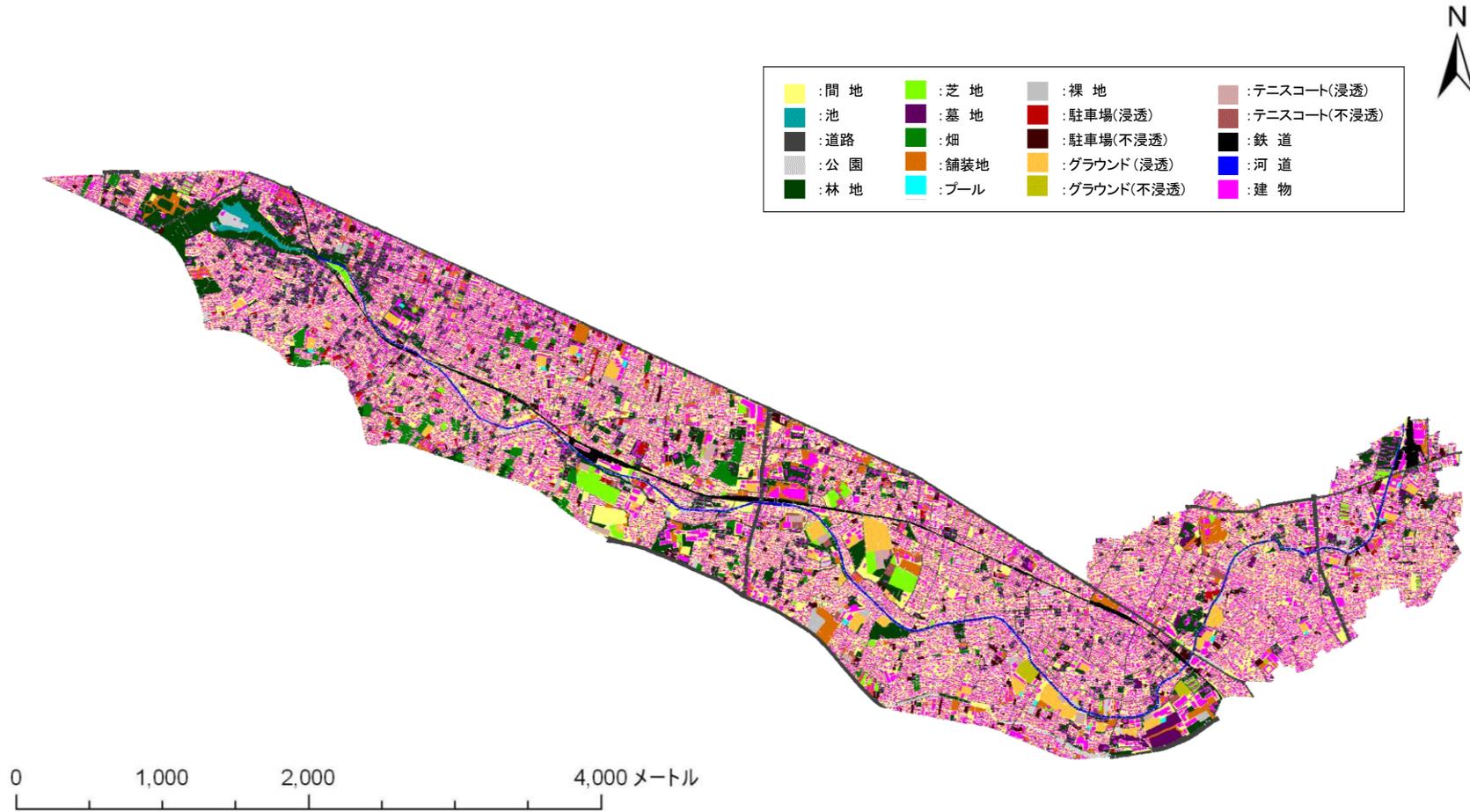


図 2-11 完成した神田川上流域の高度な地物データ GIS

表 2-3 構築した神田川上流域の地物データ GIS の要素数, 面積および浸透特性

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)	浸透特性 f_t
1	建物	34,054	3,382,235	0.0
2	駐車場	177	60,351	1.0
3	駐車場	635	207,213	0.0
4	グラウンド	568	225,656	1.0
5	グラウンド	48	23,288	0.0
6	林地	3,185	1,041,020	1.0
7	芝地	409	171,526	1.0
8	畑	483	188,587	1.0
9	公園	310	104,735	1.0
10	墓地	171	70,392	1.0
11	舗装地	1,157	379,521	0.0
12	鉄道	570	149,388	0.0
13	間地	16,765	3,432,446	0.5
14	テニスコート	108	54,613	1.0
15	テニスコート	62	30,383	0.0
16	裸地	117	52,714	1.0
17	プール	27	11,750	0.0
18	道路	45,104	1,785,662	0.0
19	池	85	36,205	0.0
20	河川	307	99,704	0.0
計		104,342	11,507,390	

2-3-3 高度な地物データ GIS の特性

表 2-4 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 2-4 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。

表 2-4 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%

図 2-12 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わかる。また、道路地物は 50m^2 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わかる。

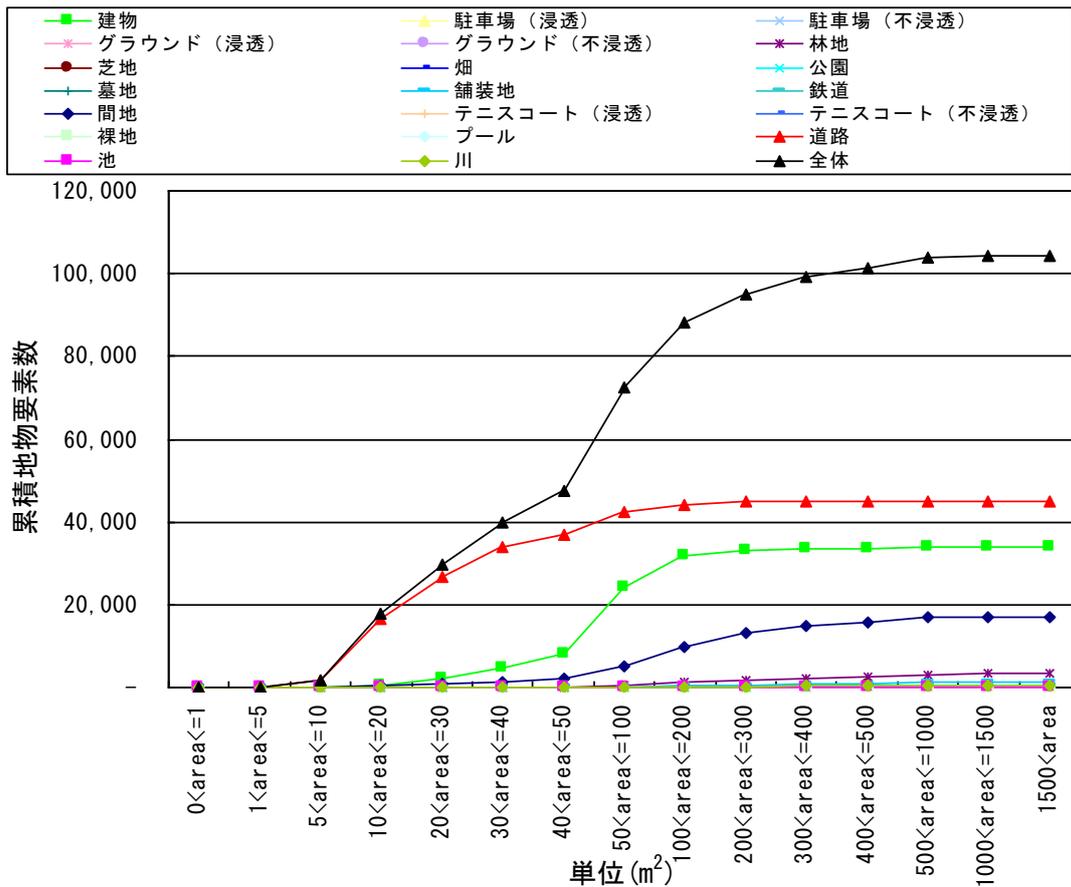


図 2-12 土地利用種別毎の個別面積累加曲線

2-4 100m メッシュ土地利用区分の浸透面積率の推定

2-4-1 浸透面積率の推定

図 2-13 (a)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. 図 2-13 (b)には神田川上流域における平成 18 年の 100m メッシュ土地利用区分を示している.

100m メッシュ土地利用区分の浸透面積率の算定は次のように行った.

神田川上流域全体の浸透面積率(P)と土地利用区分毎の浸透面積率(P_c)を算出するために, まず, 高度な地物データ GIS を用いて式(2-1)により任意の 1 メッシュ i ($i=1\sim N$; N は対象域全体のメッシュ数を示す) の浸透面積率 p_i (%)を算出した.

$$p_i = \sum_{t=1}^{n_i} \frac{a_{it}}{a_i} f_t \times 100 \quad (2-1)$$

ここに n_i : 高度な地物データ GIS による土地利用種別 (表 2-3 に示す 20 土地利用種別), f_t : 土地利用種別 t 毎の浸透特性 (表 2-3), a_{it} (m^2): 高度な地物データ GIS より算出した任意の 1 メッシュ i 内の土地利用種別 t 毎の面積, a_i (m^2): 任意の 1 メッシュ i の面積.

a_i は式(2-2)より a_{it} を用いて算出する.

$$a_i = \sum_{t=1}^{n_i} a_{it} \quad (2-2)$$

メッシュ土地利用区分 c ($c = 1\sim n_c$; n_c は 100m メッシュ土地利用区分では 11 区分) 毎の浸透面積率 P_c (%)は式(2-3)より算出する.

$$P_c = \frac{1}{N_c} \sum_{i=1}^{N_c} p_i \times 100 \quad (2-3)$$

ここに N_c : メッシュ土地利用区分 c 毎の全メッシュ数.

最後に、対象流域全体の浸透面積率 P (%)は式 (2-4)で算出する。

$$P = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N p_i = \sum_{c=1}^{n_c} \frac{A_c}{A} P_c \quad (2-4)$$

ここに A_c (m^2) : メッシュ土地利用区分 c 毎の面積, A (m^2) : 対象流域全体の全メッシュ面積.

A_c と A はそれぞれ式 (2-5)と式(2-6)により算出される。

$$A_c = a_i \times N_c \quad (2-5)$$

$$A = \sum_{c=1}^{n_c} A_c \quad (2-6)$$

なお、全メッシュ数 N は以下の式より N_c により表現される。

$$N = \sum_{c=1}^{n_c} N_c \quad (2-7)$$

表 2-5 に土地利用区分毎の浸透面積率を示す。なお、神田川上流域では 100m メッシュ土地利用区分における 11 区分中、「田」「荒地」「海浜」「海水域」「ゴルフ場」の 5 つの土地利用区分は無いため、「その他の農用地」「森林」「建物用地」「幹線交通用地」「その他の用地」「河川地及び湖畔」を示している。

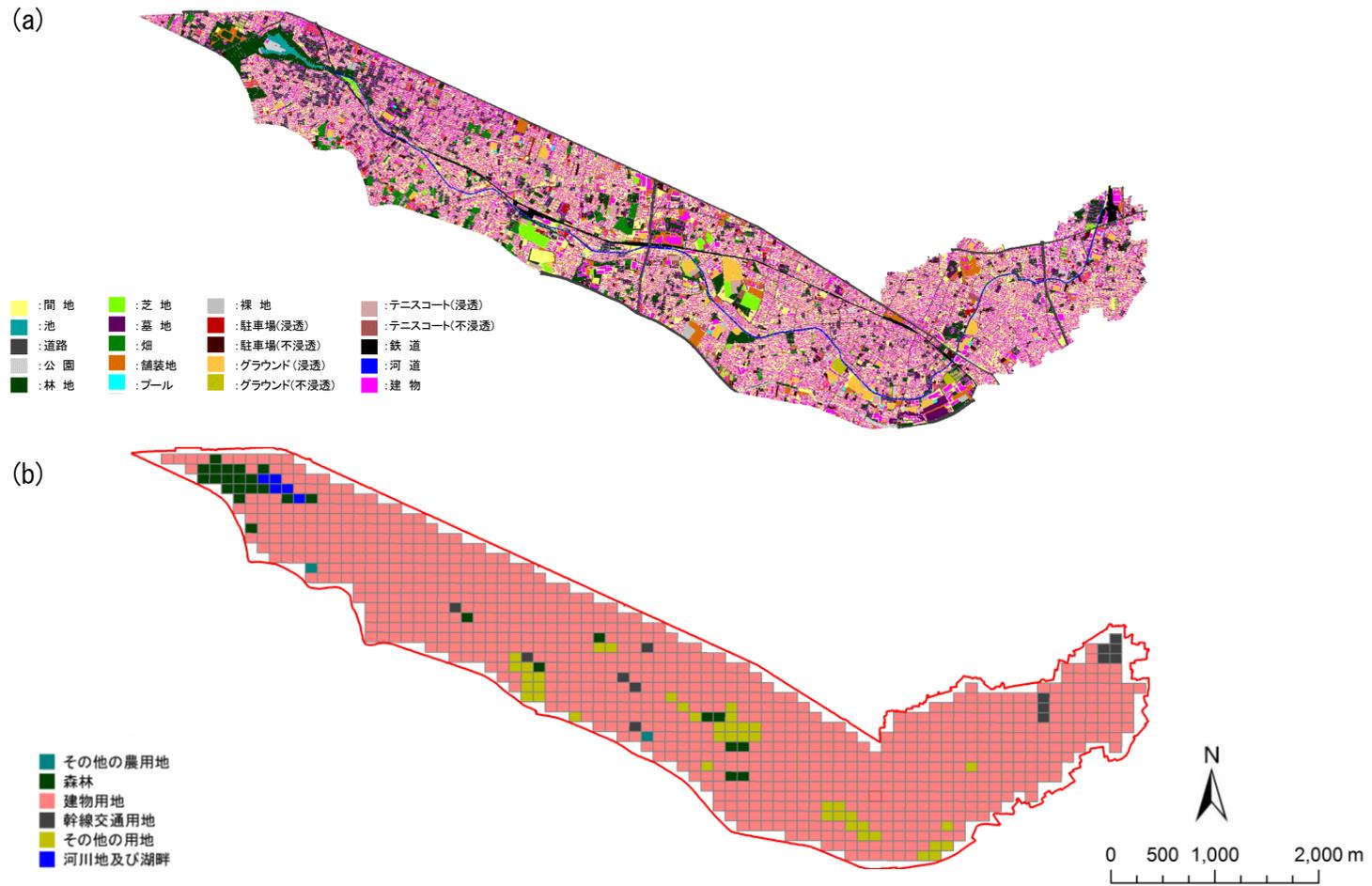


図 2-13 神田川上流域の(a)高度な地物データ GIS, および(b)100m メッシュ土地利用区分

表 2-5 (1) 土地利用区分毎の集計結果(その他の農用地(2 メッシュ))

No	土地利用種別	浸透特性 f_t	面積 (m^2)	面積率 (%)	浸透 面積率 (%)
1	建 物	0.0	4,225	20.2	0.0
2	駐車場(浸透)	1.0	0	0.0	0.0
3	駐車場(不浸透)	0.0	0	0.0	0.0
4	グラウンド(浸透)	1.0	0	0.0	0.0
5	グラウンド(不浸透)	0.0	0	0.0	0.0
6	林 地	1.0	4,617	22.1	22.1
7	芝 地	1.0	0	0.0	0.0
8	畑	1.0	4,082	19.5	19.5
9	公 園	1.0	0	0.0	0.0
10	墓 地	1.0	0	0.0	0.0
11	舗装地	0.0	323	1.5	0.0
12	鉄 道	0.0	0	0.0	0.0
13	間 地	0.5	6,152	29.4	14.7
14	テニスコート(浸透)	1.0	0	0.0	0.0
15	テニスコート(不浸透)	0.0	0	0.0	0.0
16	裸 地	1.0	0	0.0	0.0
17	プ ール	0.0	0	0.0	0.0
18	道路	0.0	1,520	7.3	0.0
19	池	0.0	0	0.0	0.0
20	河道	0.0	0	0.0	0.0
		-	20,920	100.00	$P_c = 56.29$

表 2-5 (2) 土地利用区分毎の集計結果(森林(28 メッシュ))

No	土地利用種別	浸透特性 f_t	面積 (m^2)	面積率 (%)	浸透 面積率 (%)
1	建 物	0.0	27,263	9.3	0.0
2	駐車場(浸透)	1.0	1,865	0.6	0.6
3	駐車場(不浸透)	0.0	3,474	1.2	0.0
4	グラウンド(浸透)	1.0	8,757	3.0	3.0
5	グラウンド(不浸透)	0.0	0	0.0	0.0
6	林 地	1.0	74,519	25.4	25.4
7	芝 地	1.0	5,028	1.7	1.7
8	畑	1.0	1,577	0.5	0.5
9	公 園	1.0	93,307	31.9	31.9
10	墓 地	1.0	0	0.0	0.0
11	舗装地	0.0	18,456	6.3	0.0
12	鉄 道	0.0	58	0.0	0.0
13	間 地	0.5	27,645	9.4	4.7
14	テニスコート(浸透)	1.0	0	0.0	0.0
15	テニスコート(不浸透)	0.0	815	0.3	0.0
16	裸 地	1.0	768	0.3	0.3
17	プ ール	0.0	0	0.0	0.0
18	道路	0.0	19,792	6.8	0.0
19	池	0.0	7,214	2.5	0.0
20	河道	0.0	2,313	0.8	0.0
		-	292,851	100.00	$P_c = 68.17$

表 2-5 (3) 土地利用区分毎の集計結果(建物用地(865 メッシュ))

No	土地利用種別	浸透特性 f_i	面積 (m^2)	面積率 (%)	浸透 面積率 (%)
1	建 物	0.0	2,832,535	31.3	0.0
2	駐車場(浸透)	1.0	52,997	0.6	0.6
3	駐車場(不浸透)	0.0	171,505	1.9	0.0
4	グラウンド(浸透)	1.0	146,621	1.6	1.6
5	グラウンド(不浸透)	0.0	8,652	0.1	0.0
6	林 地	1.0	668,025	7.4	7.4
7	芝 地	1.0	97,980	1.1	1.1
8	畑	1.0	148,946	1.6	1.6
9	公 園	1.0	118,162	1.3	1.3
10	墓 地	1.0	39,983	0.4	0.4
11	舗装地	0.0	267,836	3.0	0.0
12	鉄 道	0.0	109,326	1.2	0.0
13	間 地	0.5	2,895,401	32.0	16.0
14	テニスコート(浸透)	1.0	19,196	0.2	0.2
15	テニスコート(不浸透)	0.0	11,370	0.1	0.0
16	裸 地	1.0	44,133	0.5	0.5
17	プ ール	0.0	9,174	0.1	0.0
18	道 路	0.0	1,316,770	14.6	0.0
19	池	0.0	3,482	0.0	0.0
20	河道	0.0	86,039	1.0	0.0
計		-	9,048,134	100.00	$P_c=30.77$

表 2-5 (4) 土地利用区分毎の集計結果(幹線交通用地(14 メッシュ))

No	土地利用種別	浸透特性 f_i	面積 (m^2)	面積率 (%)	浸透 面積率 (%)
1	建 物	0.0	32,388	22.1	0.0
2	駐車場(浸透)	1.0	0	0.0	0.0
3	駐車場(不浸透)	0.0	1,493	1.0	0.0
4	グラウンド(浸透)	1.0	0	0.0	0.0
5	グラウンド(不浸透)	0.0	0	0.0	0.0
6	林 地	1.0	7,306	5.0	5.0
7	芝 地	1.0	2,957	2.0	2.0
8	畑	1.0	1,369	0.9	0.9
9	公 園	1.0	0	0.0	0.0
10	墓 地	1.0	0	0.0	0.0
11	舗装地	0.0	3,216	2.2	0.0
12	鉄 道	0.0	31,858	21.8	0.0
13	間 地	0.5	32,188	22.0	11.0
14	テニスコート(浸透)	1.0	903	0.6	0.6
15	テニスコート(不浸透)	0.0	1,303	0.9	0.0
16	裸 地	1.0	0	0.0	0.0
17	プ ール	0.0	0	0.0	0.0
18	道 路	0.0	26,182	17.9	0.0
19	池	0.0	0	0.0	0.0
20	河道	0.0	5,279	3.6	0.0
		-	146,442	100.00	$P_c=19.55$

表 2-5 (5) 土地利用区分毎の集計結果(その他の用地(41 メッシュ))

No	土地利用種別	浸透特性 f_t	面積 (m^2)	面積率 (%)	浸透 面積率 (%)
1	建 物	0.0	42,989	10.0	0.0
2	駐車場(浸透)	1.0	315	0.1	0.1
3	駐車場(不浸透)	0.0	3,052	0.7	0.0
4	グラウンド(浸透)	1.0	68,488	16.0	16.0
5	グラウンド(不浸透)	0.0	14,625	3.4	0.0
6	林 地	1.0	35,856	8.4	8.4
7	芝 地	1.0	57,461	13.4	13.4
8	畑	1.0	5,612	1.3	1.3
9	公 園	1.0	1,095	0.3	0.3
10	墓 地	1.0	25,329	5.9	5.9
11	舗装地	0.0	24,323	5.7	0.0
12	鉄 道	0.0	67	0.0	0.0
13	間 地	0.5	74,953	17.5	8.7
14	テニスコート(浸透)	1.0	27,108	6.3	6.3
15	テニスコート(不浸透)	0.0	15,687	3.7	0.0
16	裸 地	1.0	1,081	0.3	0.3
17	プ ール	0.0	1,562	0.4	0.0
18	道 路	0.0	24,512	5.7	0.0
19	池	0.0	0	0.0	0.0
20	河道	0.0	4,793	1.1	0.0
		-	428,907	100.00	$P_c = 60.58$

表 2-5 (6) 土地利用区分毎の集計結果(河川地及び湖畔(5 メッシュ))

No	土地利用種別	浸透特性 f_t	面積 (m^2)	面積率 (%)	浸透 面積率 (%)
1	建 物	0.0	1,352	2.6	0.0
2	駐車場(浸透)	1.0	0	0.0	0.0
3	駐車場(不浸透)	0.0	0	0.0	0.0
4	グラウンド(浸透)	1.0	0	0.0	0.0
5	グラウンド(不浸透)	0.0	0	0.0	0.0
6	林 地	1.0	179	0.3	0.3
7	芝 地	1.0	0	0.0	0.0
8	畑	1.0	0	0.0	0.0
9	公 園	1.0	25,241	48.3	48.3
10	墓 地	1.0	0	0.0	0.0
11	舗装地	0.0	0	0.0	0.0
12	鉄 道	0.0	0	0.0	0.0
13	間 地	0.5	68	0.1	0.1
14	テニスコート(浸透)	1.0	0	0.0	0.0
15	テニスコート(不浸透)	0.0	0	0.0	0.0
16	裸 地	1.0	0	0.0	0.0
17	プ ール	0.0	0	0.0	0.0
18	道 路	0.0	10	0.0	0.0
19	池	0.0	25,441	48.7	0.0
20	河道	0.0	0	0.0	0.0
		-	52,291	100.00	$P_c = 48.68$

2-4-2 集計結果と考察

表 2-6 に対象流域の 100m メッシュ土地利用区分毎のメッシュ数、面積、面積率および、高度な地物データ GIS を活用し算定した浸透面積、浸透面積率を示す。なお、備考には、他河川における土地利用区分毎の浸透面積率の設定値例（阿武隈川流域）⁹⁾を P' として示した。神田川上流域では 100m メッシュ土地利用区分における 11 区分中、「田」「荒地」「海浜」「海水域」「ゴルフ場」の 5 つの土地利用区分は無いため、「その他の農用地」「森林」「建物用地」「幹線交通用地」「その他の用地」「河川地及び湖畔」の計 6 土地利用区分を対象に浸透面積率を算定した。100m メッシュ土地利用区分の割合は、建物用地区分が約 91%、次にその他の用地区分（運動競技場、野球場等の空地）が約 4% でこの 2 つの土地利用で 95% を占めている。高度な地物データ GIS による 20 の土地利用種別の浸透特性より算定した 100m メッシュ土地利用区分毎の正確な浸透面積率は、建物用地区分が 30.77%、森林区分が最大で 68.17%、幹線交通用地区分が最小 19.55% であり、浸透面積率が 100% および 0% となる土地利用区分は無い結果となった。

100m×100m で設定されている 100m メッシュ土地利用区分は単一の土地利用で定義されており、本研究の対象流域において約 91% を占める建物用地区分のメッシュは、100m メッシュ土地利用区分を用いてグリッド型モデルの土地利用を想定する場合、全ての面積が建物用地区分であると見なすこととなる。しかし表 2-5(3) より、建物用地区分における正確な建物面積は約 31% しか存在せず、20 の土地利用種別全てが混在し林地や間地等の浸透域も多く含まれていることがわかる。他の土地利用区分においても 20 の土地利用種別が混在し、通常 100% と設定される森林区分の正確な浸透面積率は表 2-6 より約 68% となることが示された。なお、表 2-6 の備考には分布型流出モデルにおける土地利用区分毎の浸透面積率設定例を示しているが、対象流域が異なるために単純に比較することはできないが、土地利用区分毎に浸透面積率が設定されてはいるものの、本研究で算定した土地利用区分毎の浸透面積率と大きく異なることがわかる。

表 2-6 高度な地物データ GIS による浸透面積率

100mメッシュ土地利用区分					高度な地物データGIS による集計結果		備考
コード	土地利用区分	メッシュ数 N_c	面積 (m^2)	面積率 (%)	浸透面積 (m^2)	浸透面積率 (%) P_c	参考文献9)における 浸透面積率 P'_c
1	田	0	0	0.00	0	-	100.00
2	その他の農用地	2	20,920	0.21	11,775	56.29	100.00
5	森林	28	292,851	2.93	199,643	68.17	100.00
6	荒地	0	0	0.00	0	-	設定無し
7	建物用地	865	9,048,134	90.58	2,783,743	30.77	40.00
9	幹線交通用地	14	146,442	1.47	28,629	19.55	0.00
A	その他の用地	41	428,907	4.29	259,821	60.58	90.00
B	河川地及び湖畔	5	52,291	0.52	25,454	48.68	100.00
E	海浜	0	0	0.00	0	-	設定無し
F	海水域	0	0	0.00	0	-	設定無し
G	ゴルフ場	0	0	0.00	0	-	設定無し
計		$N= 955$	9,989,544	100.00	3,309,066	$P= 33.13$	$P'= 43.76$

■ : 対象流域内で100mメッシュ土地利用区分が無い区分

2-5 10m メッシュ土地利用区分の浸透面積率の推定

2-5-1 浸透面積率の推定

次いで、10m メッシュ土地利用区分の浸透面積率の推定を行う。

図 2-14(a) 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。また、図 2-14(b) には神田川上流域における 1994 年の 10m メッシュ土地利用区分を示している。

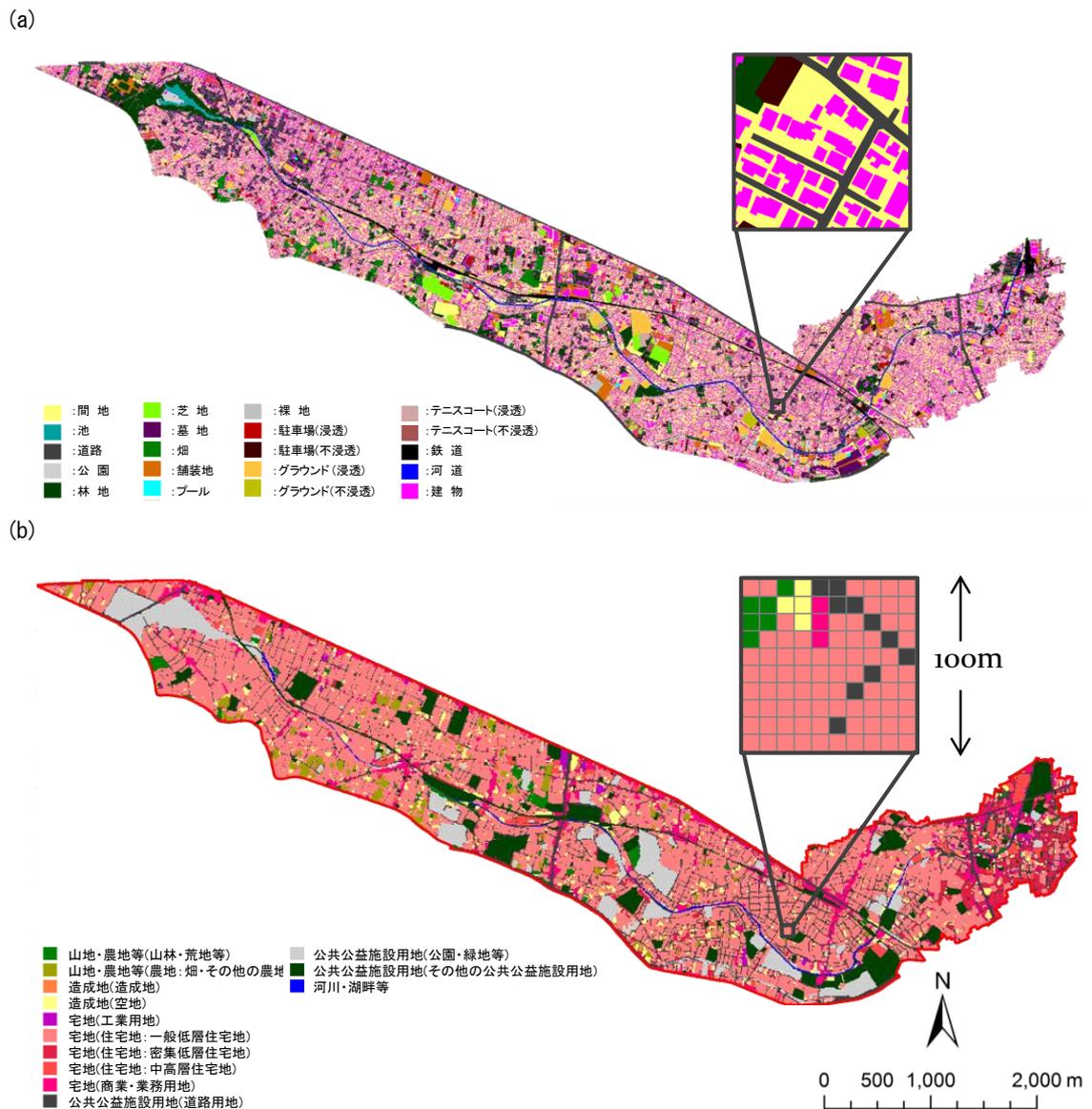


図 2-14 神田川上流域の(a)高度な地物データ GIS, および(b)10m メッシュ土地利用区分

10m メッシュ土地利用区分の浸透面積率の算定は 2-4-1 で示した手法により行った。表 2-7 に 10m メッシュ土地利用区分毎の浸透面積率を示す。なお、神田川上流域では 10m メッシュ土地利用区分における 17 区分中、表 2-1 のコード 2 (田)、コード 15 (その他)、コード 16 (海)、コード 17 (対象地域外) の 4 つの土地利用区分は無いため、これらを除いた他の 13 土地利用区分を示している。

10m×10m で設定されている 10m メッシュ土地利用区分は単一の土地利用で定義されており、一般低層住宅地区分のメッシュは、10m メッシュ土地利用区分を用いてグリッド型モデルの土地利用を想定する場合、全ての面積が一般低層住宅地区分であると見なすこととなる。しかし表 2-7 (6)より、一般低層住宅地区分における正確な建物面積は約 38%しか存在せず、池以外の 19 の土地利用種別全てが混在し林地や間地等の浸透域も多く含まれていることがわかる。また、表 2-7(1)による山林・荒地等区分においても正確な林地面積は約 5 割であり、道路等の不浸透域の土地利用種別がかなり含まれていることがわかる。

表 2-7 (1) 土地利用区分毎の集計結果(山林・荒地等(1,522 メッシュ))

コード	高度な地物 データGISによる 土地利用種別	浸透特性 f_i	面積 (m^2)	面積率 (%)	浸透 面積率
1	建 物	0.0	13,380	8.79	0.00
2	駐車場(浸透)	1.0	706	0.46	0.46
3	駐車場(不浸透)	0.0	3,036	1.99	0.00
4	グラウンド(浸透)	1.0	655	0.43	0.43
5	グラウンド(不浸透)	0.0	0	0.00	0.00
6	林 地	1.0	76,449	50.23	50.23
7	芝 地	1.0	2,415	1.59	1.59
8	畑	1.0	18,430	12.11	12.11
9	公 園	1.0	804	0.53	0.53
10	墓 地	1.0	3	0.00	0.00
11	舗装地	0.0	4,485	2.95	0.00
12	鉄 道	0.0	221	0.15	0.00
13	間 地	0.5	17,352	11.40	5.70
14	テニスコート(浸透)	1.0	470	0.31	0.31
15	テニスコート(不浸透)	0.0	0	0.00	0.00
16	裸 地	1.0	3,326	2.18	2.18
17	プ ール	0.0	0	0.00	0.00
18	道 路	0.0	9,517	6.25	0.00
19	池	0.0	0	0.00	0.00
20	河道	0.0	950	0.62	0.00
計		-	152,198	100.00	$P_c=73.54$

表 2-7 (2) 土地利用区分毎の集計結果(畑・その他の農地(2,477 メッシュ))

コード	高度な地物 データGISによる 土地利用種別	浸透特性 f_i	面積 (m^2)	面積率 (%)	浸透 面積率
1	建 物	0.0	23,999	9.69	0.00
2	駐車場(浸透)	1.0	1,441	0.58	0.58
3	駐車場(不浸透)	0.0	6,163	2.49	0.00
4	グラウンド(浸透)	1.0	192	0.08	0.08
5	グラウンド(不浸透)	0.0	0	0.00	0.00
6	林 地	1.0	14,852	6.00	6.00
7	芝 地	1.0	6,134	2.48	2.48
8	畑	1.0	124,769	50.37	50.37
9	公 園	1.0	2,159	0.87	0.87
10	墓 地	1.0	0	0.00	0.00
11	舗装地	0.0	5,111	2.06	0.00
12	鉄 道	0.0	0	0.00	0.00
13	間 地	0.5	38,700	15.62	7.81
14	テニスコート(浸透)	1.0	133	0.05	0.05
15	テニスコート(不浸透)	0.0	0	0.00	0.00
16	裸 地	1.0	4,198	1.69	1.69
17	プ ール	0.0	0	0.00	0.00
18	道 路	0.0	19,743	7.97	0.00
19	池	0.0	0	0.00	0.00
20	河道	0.0	103	0.04	0.00
計		-	247,698	100.00	$P_c=69.94$

表 2-7 (3) 土地利用区分毎の集計結果(造成地(27 メッシュ))

コード	高度な地物 データGISによる 土地利用種別	浸透特性 f_i	面積 (m^2)	面積率 (%)	浸透 面積率
1	建 物	0.0	791	29.29	0.00
2	駐車場(浸透)	1.0	0	0.00	0.00
3	駐車場(不浸透)	0.0	202	7.48	0.00
4	グラウンド(浸透)	1.0	0	0.00	0.00
5	グラウンド(不浸透)	0.0	0	0.00	0.00
6	林 地	1.0	40	1.49	1.49
7	芝 地	1.0	0	0.00	0.00
8	畑	1.0	0	0.00	0.00
9	公 園	1.0	0	0.00	0.00
10	墓 地	1.0	0	0.00	0.00
11	舗装地	0.0	112	4.15	0.00
12	鉄 道	0.0	0	0.00	0.00
13	間 地	0.5	442	16.35	8.18
14	テニスコート(浸透)	1.0	0	0.00	0.00
15	テニスコート(不浸透)	0.0	0	0.00	0.00
16	裸 地	1.0	739	27.36	27.36
17	プ ール	0.0	0	0.00	0.00
18	道 路	0.0	229	8.46	0.00
19	池	0.0	0	0.00	0.00
20	河道	0.0	146	5.41	0.00
計		-	2,700	100.00	$P_c = 37.03$

表 2-7 (4) 土地利用区分毎の集計結果(空地(4,731 メッシュ))

コード	高度な地物 データGISによる 土地利用種別	浸透特性 f_i	面積 (m^2)	面積率 (%)	浸透 面積率
1	建 物	0.0	84,523	17.87	0.00
2	駐車場(浸透)	1.0	26,494	5.60	5.60
3	駐車場(不浸透)	0.0	86,643	18.31	0.00
4	グラウンド(浸透)	1.0	2,705	0.57	0.57
5	グラウンド(不浸透)	0.0	15	0.00	0.00
6	林 地	1.0	21,029	4.44	4.44
7	芝 地	1.0	17,604	3.72	3.72
8	畑	1.0	9,570	2.02	2.02
9	公 園	1.0	5,394	1.14	1.14
10	墓 地	1.0	54	0.01	0.01
11	舗装地	0.0	25,700	5.43	0.00
12	鉄 道	0.0	749	0.16	0.00
13	間 地	0.5	137,844	29.14	14.57
14	テニスコート(浸透)	1.0	306	0.06	0.06
15	テニスコート(不浸透)	0.0	5,175	1.09	0.00
16	裸 地	1.0	3,977	0.84	0.84
17	プ ール	0.0	17	0.00	0.00
18	道 路	0.0	44,112	9.32	0.00
19	池	0.0	0	0.00	0.00
20	河道	0.0	1,183	0.25	0.00
計		-	473,094	100.00	$P_c = 32.99$

表 2-7 (5) 土地利用区分毎の集計結果(工業用地(695 メッシュ))

コード	高度な地物 データGISによる 土地利用種別	浸透特性 f_i	面積 (m^2)	面積率 (%)	浸透 面積率
1	建 物	0.0	30,558	43.97	0.00
2	駐車場(浸透)	1.0	0	0.00	0.00
3	駐車場(不浸透)	0.0	2,526	3.63	0.00
4	グラウンド(浸透)	1.0	0	0.00	0.00
5	グラウンド(不浸透)	0.0	0	0.00	0.00
6	林 地	1.0	171	0.25	0.25
7	芝 地	1.0	200	0.29	0.29
8	畑	1.0	67	0.10	0.10
9	公 園	1.0	178	0.26	0.26
10	墓 地	1.0	24	0.03	0.03
11	舗装地	0.0	10,791	15.53	0.00
12	鉄 道	0.0	51	0.07	0.00
13	間 地	0.5	17,340	24.95	12.47
14	テニスコート(浸透)	1.0	0	0.00	0.00
15	テニスコート(不浸透)	0.0	319	0.46	0.00
16	裸 地	1.0	0	0.00	0.00
17	プ ール	0.0	0	0.00	0.00
18	道 路	0.0	7,189	10.34	0.00
19	池	0.0	0	0.00	0.00
20	河 道	0.0	86	0.12	0.00
計		-	69,499	100.00	$P_c = 13.40$

表 2-7 (6) 土地利用区分毎の集計結果(一般低層住宅地(57,445 メッシュ))

コード	高度な地物 データGISによる 土地利用種別	浸透特性 f_i	面積 (m^2)	面積率 (%)	浸透 面積率
1	建 物	0.0	2,190,177	38.13	0.00
2	駐車場(浸透)	1.0	19,954	0.35	0.35
3	駐車場(不浸透)	0.0	55,036	0.96	0.00
4	グラウンド(浸透)	1.0	4,032	0.07	0.07
5	グラウンド(不浸透)	0.0	503	0.01	0.00
6	林 地	1.0	402,335	7.00	7.00
7	芝 地	1.0	27,550	0.48	0.48
8	畑	1.0	21,831	0.38	0.38
9	公 園	1.0	12,985	0.23	0.23
10	墓 地	1.0	1,671	0.03	0.03
11	舗装地	0.0	103,527	1.80	0.00
12	鉄 道	0.0	12,144	0.21	0.00
13	間 地	0.5	2,200,893	38.31	19.16
14	テニスコート(浸透)	1.0	497	0.01	0.01
15	テニスコート(不浸透)	0.0	3,428	0.06	0.00
16	裸 地	1.0	8,929	0.16	0.16
17	プ ール	0.0	594	0.01	0.00
18	道 路	0.0	667,854	11.63	0.00
19	池	0.0	0	0.00	0.00
20	河 道	0.0	10,461	0.18	0.00
計		-	5,744,402	100.00	$P_c = 27.86$

表 2-7 (7) 土地利用区分毎の集計結果(密集低層住宅地(2,908 メッシュ))

コード	高度な地物 データGISによる 土地利用種別	浸透特性 f_i	面積 (m^2)	面積率 (%)	浸透 面積率
1	建 物	0.0	128,974	44.35	0.00
2	駐車場(浸透)	1.0	178	0.06	0.06
3	駐車場(不浸透)	0.0	1,459	0.50	0.00
4	グラウンド(浸透)	1.0	134	0.05	0.05
5	グラウンド(不浸透)	0.0	0	0.00	0.00
6	林 地	1.0	4,070	1.40	1.40
7	芝 地	1.0	802	0.28	0.28
8	畑	1.0	52	0.02	0.02
9	公 園	1.0	756	0.26	0.26
10	墓 地	1.0	177	0.06	0.06
11	舗装地	0.0	355	0.12	0.00
12	鉄 道	0.0	890	0.31	0.00
13	間 地	0.5	113,565	39.05	19.53
14	テニスコート(浸透)	1.0	99	0.03	0.03
15	テニスコート(不浸透)	0.0	17	0.01	0.00
16	裸 地	1.0	241	0.08	0.08
17	プ ール	0.0	7	0.00	0.00
18	道 路	0.0	38,247	13.15	0.00
19	池	0.0	0	0.00	0.00
20	河 道	0.0	773	0.27	0.00
計		-	290,795	100.00	$P_c = 21.76$

表 2-7 (8) 土地利用区分毎の集計結果(中高層住宅地(2,635 メッシュ))

コード	高度な地物 データGISによる 土地利用種別	浸透特性 f_i	面積 (m^2)	面積率 (%)	浸透 面積率
1	建 物	0.0	87,812	33.33	0.00
2	駐車場(浸透)	1.0	1,084	0.41	0.41
3	駐車場(不浸透)	0.0	2,708	1.03	0.00
4	グラウンド(浸透)	1.0	0	0.00	0.00
5	グラウンド(不浸透)	0.0	272	0.10	0.00
6	林 地	1.0	40,619	15.42	15.42
7	芝 地	1.0	13,670	5.19	5.19
8	畑	1.0	373	0.14	0.14
9	公 園	1.0	3,484	1.32	1.32
10	墓 地	1.0	5	0.00	0.00
11	舗装地	0.0	13,320	5.06	0.00
12	鉄 道	0.0	345	0.13	0.00
13	間 地	0.5	65,417	24.83	12.41
14	テニスコート(浸透)	1.0	5	0.00	0.00
15	テニスコート(不浸透)	0.0	0	0.00	0.00
16	裸 地	1.0	1,506	0.57	0.57
17	プ ール	0.0	0	0.00	0.00
18	道 路	0.0	30,384	11.53	0.00
19	池	0.0	0	0.00	0.00
20	河 道	0.0	2,491	0.95	0.00
計		-	263,496	100.00	$P_c = 35.47$

表 2-7 (9) 土地利用区分毎の集計結果(商業・業務用地(7,068 メッシュ))

コード	高度な地物 データGISによる 土地利用種別	浸透特性 f_i	面積 (m^2)	面積率 (%)	浸透 面積率
1	建 物	0.0	285,782	40.43	0.00
2	駐車場(浸透)	1.0	1,650	0.23	0.23
3	駐車場(不浸透)	0.0	22,682	3.21	0.00
4	グラウンド(浸透)	1.0	1,169	0.17	0.17
5	グラウンド(不浸透)	0.0	0	0.00	0.00
6	林 地	1.0	18,945	2.68	2.68
7	芝 地	1.0	1,015	0.14	0.14
8	畑	1.0	5,435	0.77	0.77
9	公 園	1.0	2,250	0.32	0.32
10	墓 地	1.0	684	0.10	0.10
11	舗装地	0.0	41,675	5.90	0.00
12	鉄 道	0.0	3,837	0.54	0.00
13	間 地	0.5	208,565	29.51	14.75
14	テニスコート(浸透)	1.0	293	0.04	0.04
15	テニスコート(不浸透)	0.0	87	0.01	0.00
16	裸 地	1.0	1,460	0.21	0.21
17	プ ール	0.0	20	0.00	0.00
18	道路	0.0	109,294	15.46	0.00
19	池	0.0	0	0.00	0.00
20	河道	0.0	1,949	0.28	0.00
計		-	706,790	100.00	$P_c = 19.41$

表 2-7 (10) 土地利用区分毎の集計結果(道路用地(13,989 メッシュ))

コード	高度な地物 データGISによる 土地利用種別	浸透特性 f_i	面積 (m^2)	面積率 (%)	浸透 面積率
1	建 物	0.0	211,148	15.09	0.00
2	駐車場(浸透)	1.0	3,310	0.24	0.24
3	駐車場(不浸透)	0.0	13,626	0.97	0.00
4	グラウンド(浸透)	1.0	6,893	0.49	0.49
5	グラウンド(不浸透)	0.0	423	0.03	0.00
6	林 地	1.0	81,050	5.79	5.79
7	芝 地	1.0	8,365	0.60	0.60
8	畑	1.0	5,880	0.42	0.42
9	公 園	1.0	11,764	0.84	0.84
10	墓 地	1.0	4,370	0.31	0.31
11	舗装地	0.0	20,773	1.48	0.00
12	鉄 道	0.0	10,790	0.77	0.00
13	間 地	0.5	332,299	23.76	11.88
14	テニスコート(浸透)	1.0	1,358	0.10	0.10
15	テニスコート(不浸透)	0.0	1,032	0.07	0.00
16	裸 地	1.0	1,872	0.13	0.13
17	プ ール	0.0	645	0.05	0.00
18	道路	0.0	650,189	46.48	0.00
19	池	0.0	0	0.00	0.00
20	河道	0.0	33,072	2.36	0.00
計		-	1,398,859	100.00	$P_c = 20.80$

表 2-7 (11) 土地利用区分毎の集計結果(公園・緑地等(9,673 メッシュ))

コード	高度な地物 データGISによる 土地利用種別	浸透特性 f_i	面積 (m^2)	面積率 (%)	浸透 面積率
1	建 物	0.0	55,178	5.70	0.00
2	駐車場(浸透)	1.0	502	0.05	0.05
3	駐車場(不浸透)	0.0	2,920	0.30	0.00
4	グラウンド(浸透)	1.0	101,342	10.48	10.48
5	グラウンド(不浸透)	0.0	13,273	1.37	0.00
6	林 地	1.0	282,001	29.15	29.15
7	芝 地	1.0	81,938	8.47	8.47
8	畑	1.0	208	0.02	0.02
9	公 園	1.0	59,547	6.16	6.16
10	墓 地	1.0	62,909	6.50	6.50
11	舗装地	0.0	59,857	6.19	0.00
12	鉄 道	0.0	437	0.05	0.00
13	間 地	0.5	100,053	10.34	5.17
14	テニスコート(浸透)	1.0	41,422	4.28	4.28
15	テニスコート(不浸透)	0.0	14,367	1.49	0.00
16	裸 地	1.0	13,413	1.39	1.39
17	プ ール	0.0	1,124	0.12	0.00
18	道 路	0.0	37,703	3.90	0.00
19	池	0.0	36,205	3.74	0.00
20	河道	0.0	2,888	0.30	0.00
計		-	967,288	100.00	$P_c = 71.68$

表 2-7 (12) 土地利用区分毎の集計結果(その他の公共公益施設用地(9,568 メッシュ))

コード	高度な地物 データGISによる 土地利用種別	浸透特性 f_i	面積 (m^2)	面積率 (%)	浸透 面積率
1	建 物	0.0	250,533	26.18	0.00
2	駐車場(浸透)	1.0	4,564	0.48	0.48
3	駐車場(不浸透)	0.0	9,166	0.96	0.00
4	グラウンド(浸透)	1.0	108,513	11.34	11.34
5	グラウンド(不浸透)	0.0	8,720	0.91	0.00
6	林 地	1.0	90,968	9.51	9.51
7	芝 地	1.0	11,395	1.19	1.19
8	畑	1.0	432	0.05	0.05
9	公 園	1.0	4,487	0.47	0.47
10	墓 地	1.0	495	0.05	0.05
11	舗装地	0.0	92,234	9.64	0.00
12	鉄 道	0.0	119,512	12.49	0.00
13	間 地	0.5	168,373	17.60	8.80
14	テニスコート(浸透)	1.0	10,008	1.05	1.05
15	テニスコート(不浸透)	0.0	5,957	0.62	0.00
16	裸 地	1.0	12,927	1.35	1.35
17	プ ール	0.0	9,343	0.98	0.00
18	道 路	0.0	44,459	4.65	0.00
19	池	0.0	0	0.00	0.00
20	河道	0.0	4,701	0.49	0.00
計		-	956,788	100.00	$P_c = 34.28$

表 2-7 (13) 土地利用区分毎の集計結果(河川・湖沼等(656 メッシュ))

コード	高度な地物 データGISによる 土地利用種別	浸透特性 f_i	面積 (m^2)	面積率 (%)	浸透 面積率
1	建 物	0.0	1,194	1.82	0.00
2	駐車場(浸透)	1.0	440	0.67	0.67
3	駐車場(不浸透)	0.0	361	0.55	0.00
4	グラウンド(浸透)	1.0	19	0.03	0.03
5	グラウンド(不浸透)	0.0	81	0.12	0.00
6	林 地	1.0	1,829	2.79	2.79
7	芝 地	1.0	419	0.64	0.64
8	畑	1.0	0	0.00	0.00
9	公 園	1.0	117	0.18	0.18
10	墓 地	1.0	0	0.00	0.00
11	舗装地	0.0	589	0.90	0.00
12	鉄 道	0.0	26	0.04	0.00
13	間 地	0.5	2,976	4.54	2.27
14	テニスコート(浸透)	1.0	23	0.03	0.03
15	テニスコート(不浸透)	0.0	2	0.00	0.00
16	裸 地	1.0	127	0.19	0.19
17	プ ール	0.0	0	0.00	0.00
18	道 路	0.0	16,519	25.18	0.00
19	池	0.0	0	0.00	0.00
20	河 道	0.0	40,878	62.31	0.00
計		-	65,599	100.00	$P_r = 6.80$

表 2-8 に、対象流域の 10m メッシュ土地利用区分毎のメッシュ数、面積、面積率とともに、高度な地物データ GIS による 20 の土地利用種別の浸透特性より算定した 10m メッシュ土地利用区分毎の正確な浸透面積、浸透面積率を示す。なお、備考には、都市流域である海老川流域¹⁰⁾および山地・農地流域である谷田川流域¹¹⁾において設定された土地利用区分毎の浸透面積率を参考として示した。神田川上流域では 10m メッシュ土地利用区分における 17 区分中、表 2-1 のコード 2 (田)、コード 15 (その他)、コード 16 (海)、コード 17 (対象地域外) の 4 つの土地利用区分は無いため、これらを除いた他の 13 土地利用区分を対象に浸透面積率を算定した。表 2-8 よりコード 7 の一般低層住宅地区分が約 51%を占めており、その浸透面積率は約 28%となる。最大の浸透面積率となるのはコード 1 の山林・荒地等区分で約 74%であり、最小はコード 14 の河川・湖畔等区分の約 7%となる。そして、流域全体の浸透面積率は約 32%であることが得られた。浸透面積率が 100%および 0%となる土地利用区分は無い。

次に、他河川での浸透面積率をそのまま用いて対象流域の浸透面積率を計算した結果を表 2-8 の備考の計に示す。これより、都市流域である海老川および山地・農地流域である谷田川での浸透面積率設定値を用いた場合の神田川上流域での浸透面積はそれぞれ、約 25%、約 47%となり、これは正確な浸透面積率と比べると、海老川 (都市流域) では約 7%の過小評価、谷田川 (山地・農地流域) では約 15%の過大評価となった。

表 2-8 高度な地物データ GIS による浸透面積率

10mメッシュ土地利用区分					高度な地物データGIS による集計結果		備考	
コード	土地利用区分	メッシュ数 N_c	面積 (m^2)	面積率 (%)	浸透面積 (m^2)	浸透面積率 (%) P_c	参考文献10) 海老川における 浸透面積率(%) P'_c	参考文献11) 谷田川における 浸透面積率(%) P'_c
1	山林・荒地等	1,522	152,198	1.34	111,933	73.54	100	100
2	田	0	0	0.00	0	-	100	100
3	畑・その他の農地	2,477	247,698	2.18	173,228	69.94	100	100
4	造成地	27	2,700	0.02	1,000	37.03	25	40
5	空地	4,731	473,094	4.17	156,055	32.99	100	100
6	工業用地	695	69,499	0.61	9,310	13.40	20	40
7	一般低層住宅地	57,445	5,744,402	50.66	1,600,231	27.86	15	40
8	密集低層住宅地	2,908	290,795	2.56	63,291	21.76	10	40
9	中高層住宅地	2,635	263,496	2.32	93,454	35.47	20	40
10	商業・業務用地	7,068	706,790	6.23	137,182	19.41	5	40
11	道路用地	13,989	1,398,859	12.34	291,012	20.80	0	0
12	公園・緑地等	9,673	967,288	8.53	693,309	71.68	80	100
13	その他の公共公益施設用地	9,568	956,788	8.44	327,976	34.28	15	70
14	河川・湖沼等	656	65,599	0.58	4,462	6.80	50	50
15	その他	0	0	0.00	0	-	70	70
16	海	0	0	0.00	0	-	設定無し	設定無し
17	対象地域外	0	0	0.00	0	-	設定無し	設定無し
計		$N= 113,394$	11,339,205	100.00	3,662,442	$P= 32.30$	$P'= 24.84$	$P'= 47.39$

■ : 対象流域内で10mメッシュ土地利用区分が無い区分

以上の結果について、年間浸透量への換算を試みる。流域近傍である気象庁アメダス「府中」における 2000 年から 2007 年までの 8 年間の年平均観測雨量 1,597mm/年¹²⁾を用いて浸透量に換算すると、高度な地物データ GIS による浸透面積率では 516mm/年の浸透量となるのに対し、海老川（都市流域）での設定値を用いれば 397mm/年、谷田川（山地・農地流域）での設定値を用いれば 757mm/年の浸透量となり、100mm/年以上の差となって表れた。

2-5-2 浸透面積率度数分布

図 2-15 に対象流域における各 10m メッシュの浸透面積率の度数分布を示す。また、同図にはそのうち 5 割を占める一般低層住宅地区分となるメッシュの度数分布を併記している。流域全体平均の浸透面積率では表 2-8 に示す約 32%であるが、ピークは 15%～20%に分布しており、50%～95%の浸透面積率となるメッシュは少ない。また、浸透面積率が 0%および 100%となるメッシュがそれぞれ 9,000 ものメッシュが存在することが分かった。この理由としては、浸透面積率が 0%の 10m メッシュ内には、コード 11 の「道路用地区分」が 1,811 メッシュ、コード 13 の「その他の公共公益施設用地区分」が 2,488 メッシュと多く、高度な地物 GIS データで不浸透と設定している建物および道路等の地物が多くを占めるからである。浸透面積率が 100%の 10m メッシュ内には、コード 12 の「公園・緑地等区分」が 4,588 メッシュ存在し、浸透域として設定している地物である林地やグラウンド等の地物が多くを占めているためである。図 2-15 の一般低層住宅地区分の度数分布より、5%～50%の浸透面積率となるメッシュが多く、ピークは流域全体平均と同程度であるものの、一般低層住宅地区分の平均浸透面積率は約 28%であり、浸透面積率が 0%や 100%となるメッシュは多くない。

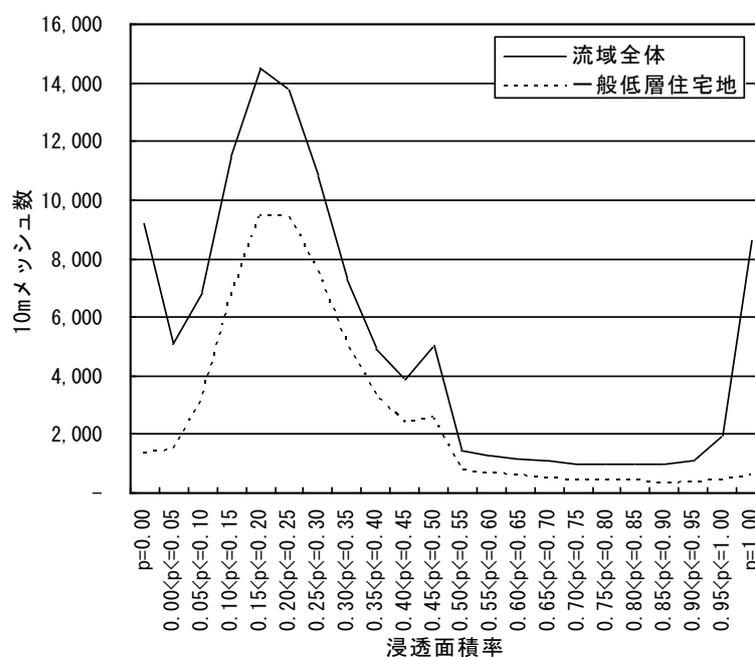


図 2-15 浸透面積率度数分布

2-5-3 浸透面積率の空間分布特性

図 2-16 (a) に各 10m メッシュの浸透面積率の空間分布を示す。図 2-16 (b) には図 2-14 (b) に示した 13 土地利用区分の分布に表 2-5 の高度な地物データ GIS により求められた浸透面積率を適用した場合の浸透面積率分布を示している。図 2-16 (c) および図 2-16 (d) にはそれぞれ、海老川（都市流域）および谷田川（山地・農地流域）で採用されている浸透面積率を適用した場合の浸透面積率分布を示している。これより、図 2-16 (a) では、林地や公園等の浸透域が多い地域は浸透面積率が 100%程度、舗装地や道路等の不浸透域が多い地域は浸透面積率が 0%程度となる箇所が多くなる。10m メッシュ毎の浸透面積率は、図 2-16 (a) に示す各メッシュにおいて異なる浸透面積率を設定することが本来望ましいが、従前行われているように 10m メッシュ土地利用区分毎に浸透面積率を設定した場合は、図 2-16 (b) に示す分布を示し概ね 20%から 40%の範囲の浸透面積率の分布となり、0%や 100%の浸透面積率となるメッシュを表現できないこととなる。

さらに、図 2-16 (c) に示す海老川（都市流域）での浸透面積率設定値を適用した場合は図 2-16 (b) の高度な地物データ GIS より算定した浸透面積率の分布に比べ流域全体で過小な浸透面積率の分布となっており、図 2-16 (d) に示す谷田川（山地・農地流域）での浸透面積率設定値を適用した場合は過大な浸透面積率の分布となっていることがわかる。

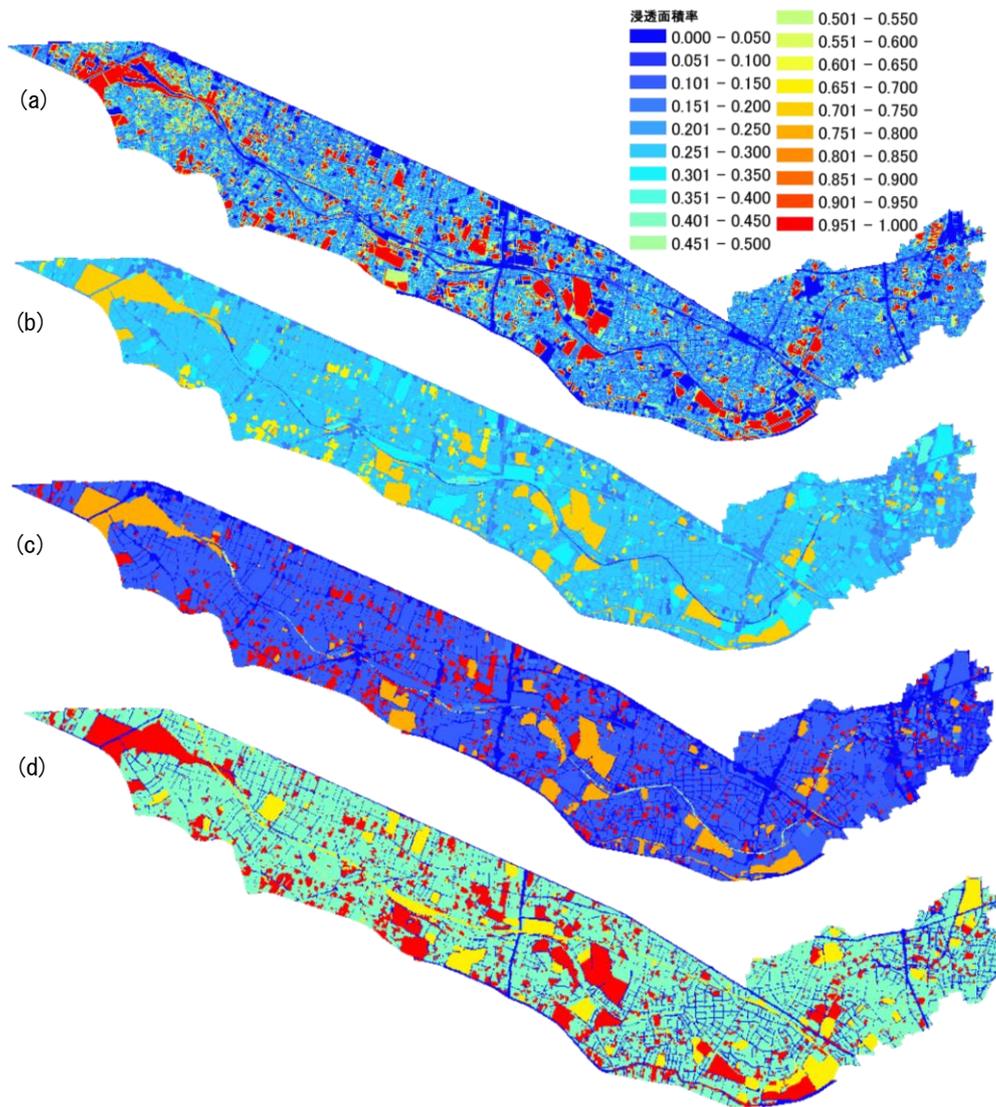


図 2-16 (a)高度な地物データ GIS, (b)高度な地物データ GIS より求めた 10m メッシュ土地利用区分毎, (c)海老川(都市流域)での設定値および(d)谷田川(山地・農地流域)での設定値の浸透面積率分布

次に対象としている流域内での上流域から下流域への浸透面積率の地域特性を把握するため、図 2-17 に示すように対象流域を横断する主要道路で 18 流域に分割し、流域毎にその浸透面積特性の把握を試みる。

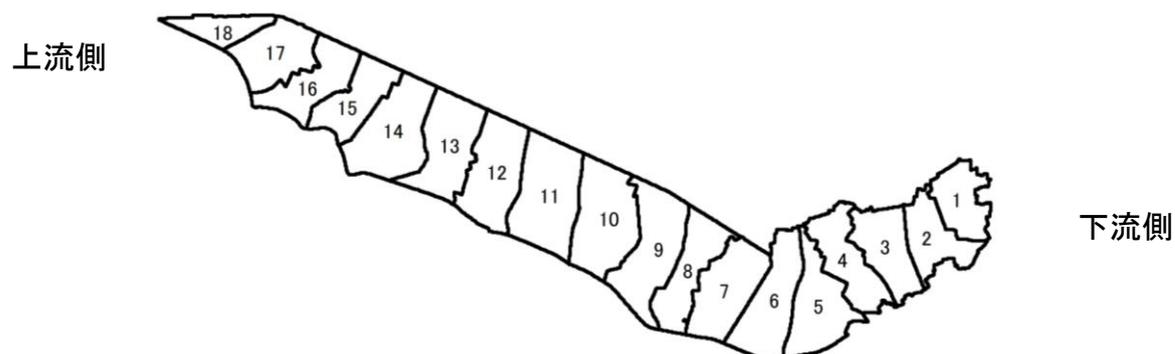


図 2-17 18 流域分割図

図 2-18 には分割した流域毎に、高度な地物データ GIS より算定した浸透面積率（赤丸実線）、高度な地物データ GIS より設定した 10m メッシュ土地利用毎の浸透面積率を用いて算定した浸透面積率（赤丸点線）、海老川（都市流域）での浸透面積率設定値を採用して算定した浸透面積率（緑色点線）および谷田川（山地・農地流域）での浸透面積率設定値を採用して算定した浸透面積率（黄色点線）の 4 種を示している。また、図中には各ケースの流域全体での浸透面積率も併せて示している。最も正確と思われる図 2-18 の赤丸実線より、全流域での平均的な浸透面積率と比べ上流域において平均値より大きく、下流域において平均値より小さい傾向にあることがわかる。これは、下流域では比較的小さな浸透面積率が設定される密集低層住宅地区区分等の土地利用比率が大きくなり、浸透面施率が小さく算定され、上流域では大きめの浸透面施率が設定される公園・緑地等区分等が増えるため、浸透面積率が大きくなるものと推察される。最も浸透面積率が小さい流域 7（浸透面積率約 24%）と最も浸透面積率が大きい流域 17（浸透面積率約 48%）では 24%程度の差が生じている。

また、赤丸点線（高度な地物データ GIS より算定した 10m メッシュ土地利用毎浸透面積率）と赤丸実線は大きく異なることがわかる。海老川（都市流域）および谷田川（山地・農地流域）での設定値を採用した場合でも下流域と上流域の全流域平均の浸透面積率との乖離傾向は同様に見られ、その流域毎のばらつきの傾向は同じである。

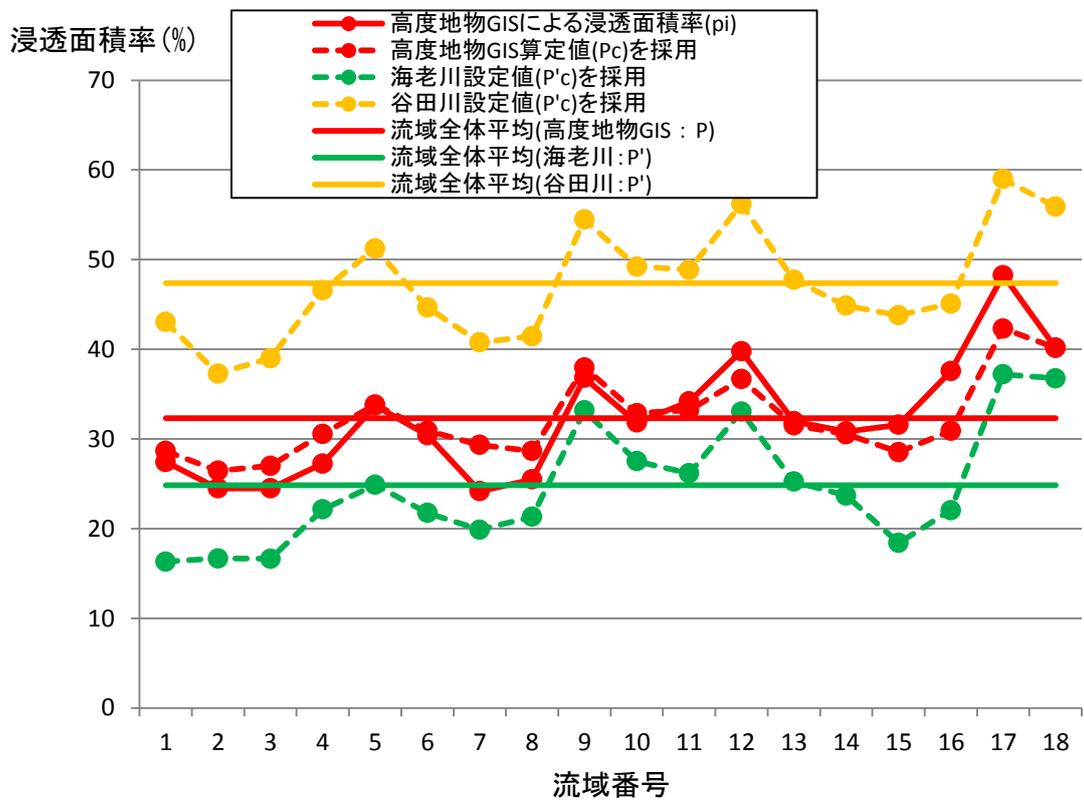


图 2-18 流域別浸透面積率

2-6 結語

本章では都市流域における流出過程のモデル化においては、都市流域を形成する複雑な土地利用毎の浸透面積率を精緻に表現することが重要であるとの認識に立ち、天口ら²⁾が提案した高度な地物データ GIS を活用して、100m および 10m メッシュ土地利用区分の正確な浸透面積率の推定を行った。

まず、都市流域である神田川上流域を対象として高度な地物データ GIS を活用することにより、100m メッシュ土地利用区分毎の正確な浸透面積率を推定した。その結果、各土地利用区分には多くの土地利用種別が混在し、例えば対象流域の約 9 割を占める建物用地区分における正確な建物面積率は約 31%であった。また、土地利用区分毎の浸透面積率は建物用地区分で約 31%、森林区分では約 68%であり、流域全体では約 33%であることを示した。

次に、10m メッシュ土地利用区分に対して、同様に全 10m メッシュの正確な浸透面積率を算定し、それをもとに 10m メッシュ土地利用区分毎の浸透面積率を算定するとともに、各 10m メッシュの浸透面積率度数分布や浸透面積率の空間分布特性について詳細に検討を行った。また、流域内を 18 流域に分割して地域特性を把握した。その結果、各土地利用区分には多くの土地利用種別が混在し、例えば対象流域の約 5 割を占める一般低層住宅地区分における正確な建物面積率は約 38%であることを示した。今回、高度な地物データ GIS を活用することにより、初めて 10m メッシュ土地利用区分毎の浸透面積率についてその具体値を示すことができ、例えば一般低層住宅地区分で約 28%、山林・荒地等区分では約 74%、流域全体では約 32%であることを示した。さらに、各 10m メッシュの正確な浸透面積率が 0%や 100%となるメッシュが多く存在することがわかった。流域全体の浸透面積率について、他河川での設定値を用いて神田川上流域の浸透面積率を算定した場合、高度な地物データ GIS を用いて算定した正確な浸透面積率（約 32%）に比べ、谷田川（山地・農地流域）の値では 15%過大、海老川（都市流域）の値では 7%過小となることが判明した。浸透面積率の空間分布特性より、上流域では全流域の浸透面積率に比べ浸透面積率が大きくなり、下流域では小さくなることが示された。

これらの結果より、本章を通じて、各土地利用区分には実際には多くの土地利用種別が混在していることを示し、今回初めてメッシュ土地利用区分毎の浸透面積率の具体値を示すことができたと考える。

【参考文献】

- 1) 忌部正博, 屋井裕幸, 高祖成一: 都市域の健全な水循環系構築のための雨水浸透施設の効果と評価について, 日本水文科学会誌 第38巻 第2号, pp.43~54, 2008.
- 2) 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.
- 3) 賈仰文, 倪广恒, 河原能久, 末次忠司: 都市河川流域の水循環解析と雨水浸透施設の効果の評価, 水工学論文集, 第44巻, pp.151-156, 2000.
- 4) 天口英雄, 安藤義久: SMPTモデルを用いた分布型水循環モデルの改良について, 水工学論文集, 第46巻, pp.265-270, 2002.
- 5) 中村茂: グリッド型水循環系解析モデルの開発～海老川流域を対象として～, 水工学論文集, 第45巻, pp.103-108, 2001.
- 6) 「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, pp.64-65, 2000.
- 7) 高坂宏行: 地理情報技術ハンドブック, pp.4-16, 2002.
- 8) 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.
- 9) 木内豪, 渡辺康実: 地質・土壌・土地利用の空間分布を考慮した水循環解析手法の検討, 水工学論文集 第55巻, pp.25~30, 2011.
- 10) 建設省土木研究所河川部都市河川研究室: 土木研究所資料第3713号 都市河川流域における水・熱循環の統合解析モデルの開発, p.51, 2000.
- 11) 独立行政法人土木研究所水工研究グループ水理水文チーム: WEPモデル解説書(試用版), p.31, 2002.
- 12) 荒木千博, 天口英雄, 河村明, 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.

第 3 章

熱収支および土壌水分を考慮した蒸発散モデルの構築

第3章 熱収支および土壌水分を考慮した蒸発散モデルの構築

3-1 緒言

浸透域において蒸発散量は明らかに土壌水分の影響を受けるが、蒸発散量の計算に一般的に用いられる *Hamon* 式¹⁾、*Thornthwaite* 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、蒸発散に土壌水分は考慮されていない。また土壌水分は流出にも影響を及ぼすため、これらの相互関係を十分に考慮した上で蒸発散量が推定される必要があるが、上記の式では土地利用の浸透・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。これに対し竹下と高瀬は、集中型モデルを用いて土地利用を考慮した *Hamon* 式による蒸発散モデルの構築を行っている³⁾が、これまで地表面地物要素毎の土地利用状況を反映した蒸発散量の違いを表現できるモデルは見あたらない。また、*Hamon* 式などは熱収支的側面についても考慮しておらず、地表面温度の算定を精度良く行うためには、熱収支式を用いて求まる潜熱・顕熱により蒸発散量の推定を行う必要がある⁴⁾。

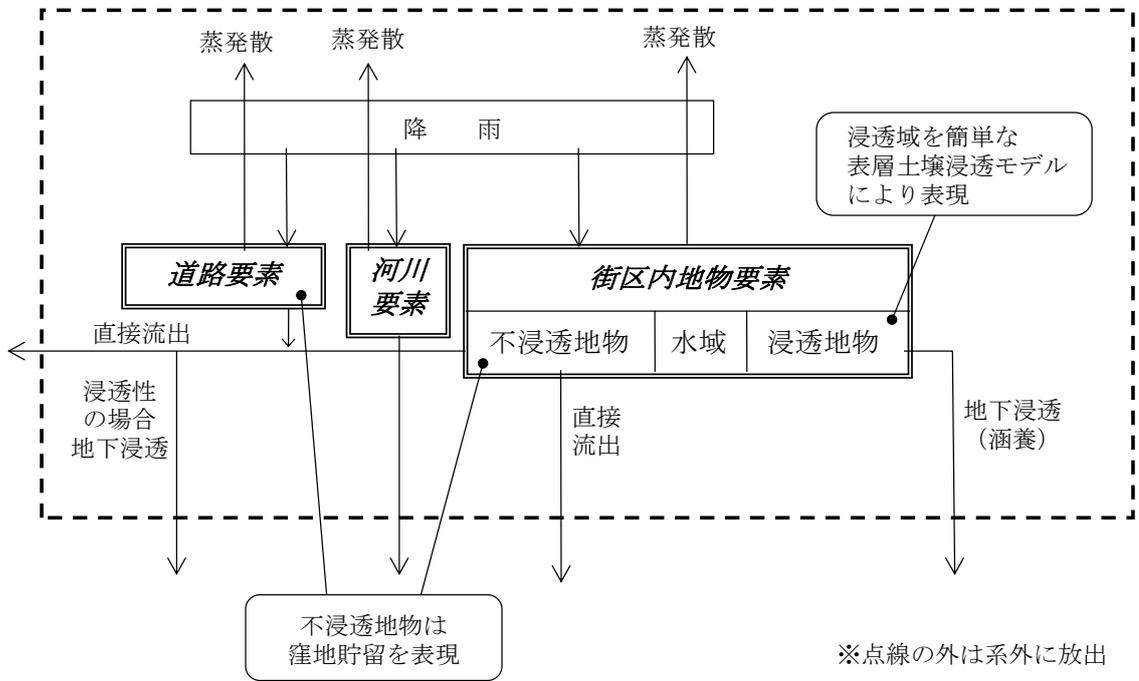
本章では、高度な地物データ GIS を用いて地表面を浸透域と不浸透域に分類し、地表面地物要素毎の浸透特性と土壌水分量の違いによる蒸発散量を熱収支を考慮して表現できる蒸発散モデルを構築した。以下、本モデルを TET (Tokyo Evapotranspiration) モデルと呼ぶ。

3-2 蒸発散モデル（TET モデル）の概要

本研究で提案した蒸発散モデル（TET モデル）の概念図を図 3-1 に示す。

TET モデルの構築にあたり，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（Soil Moisture Parameter Tank Model）⁵⁾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した．浸透域に対しては，地表面地物要素毎の土地利用の違いおよび土壌水分量の状態を考慮し，バルク式による熱収支式を用いて潜熱・顕熱を算定できるモデルとした．さらに，算定された潜熱・顕熱を用いて地表面地物要素毎の蒸発散量時系列と同時に地表面温度変化を表現できるモデルとした．

(a)



(b)

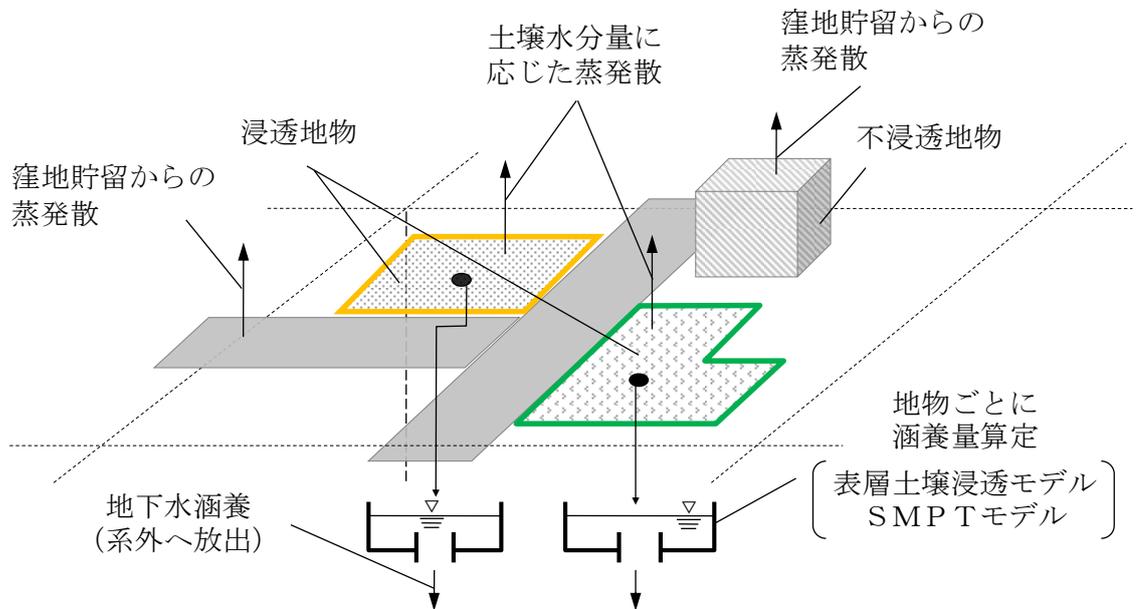


図 3-1 本研究における蒸発散モデル (TET モデル) の概念

3-3 熱収支による潜熱、顕熱評価モデル

地表面の熱収支式の基礎方程式である式(3-1)を用いて、熱収支式により潜熱、顕熱を評価し、求められた潜熱より蒸発散量の推定を行う⁶⁾。

$$R_n = H + \ell E + G \quad (3-1)$$

ここで、 R_n ：正味放射量(W/m²)、 ℓE ：潜熱伝達量(W/m²)、 H ：顕熱伝達量(W/m²)、 G ：地中熱伝達量(W/m²)である。また R_n は 放射収支では以下の式で表される。

$$R_n = (1 - \alpha)R_{glob} + L_{sky} - L_{soil} \quad (3-2)$$

ここで、 α ：地表面の反射率(アルベド)、 R_{glob} ：地表面での全天日射量(W/m²)、 L_{sky} ：大気放射量(W/m²)、 L_{soil} ：地表面放射量(W/m²)である。 R_{glob} は大気圏外日射量 R_{out} と日照時間 n 、可照時間 N とから以下のように求められる。

$$R_{glob} = R_{out}(0.25 + 0.5n/N) \quad (3-3)$$

ここで、 R_{out} ：大気圏外日射量(W/m²)、 n ：日照時間(h)、 N ：可照時間(h)である。 N は測定地点の緯度、計算する日の積算日数(1月1日から積算した日数)等から計算される。

地表面放射 L_{soil} はステファン・ボルツマンの法則に従い、地表面温度 T_s から計算される。

$$L_{soil} = \varepsilon \sigma T_s^4 \quad (3-4)$$

ここで、 σ ：ステファン・ボルツマン定数(5.67×10⁻⁸ W/m²・k²)、 T_s ：地表面温度(K：ケルビン)、 ε ：射出率(地表面ではほぼ 1.0)である。

式(3-4)より L_{soil} は地表面温度が 10°C 変化すると $50\text{W}/\text{m}^2$ 程度異なるため、それに伴い R_n は近傍であってもおよそ $50\text{W}/\text{m}^2$ 程度の差が生じる。 R_n は通常各所で観測されていないため、式(3-3)の代わりに入力放射 $R (=R_n+L_{soil})$ を用いた熱収支式(3-5)を使う。

$$R = (1 - \alpha) R_{glob} + L_{sky} \quad (3-5)$$

一方 R は熱収支式(3-1)に式(3-4)を考慮すると式(3-6)となる。

$$R = \varepsilon \sigma T_s^4 + H + \ell E + G \quad (3-6)$$

R と L_{sky} は数 m~数 km の範囲なら場所によって大きく変化しないため、熱収支式としては式(3-6)が通常用いられている⁷⁾。式(3-6)の左辺 R は観測値であるため既知である。右辺の H , ℓE についてはバルク式により(3-7)および(3-8)で与えられる。

$$H = c_p \rho C_H U (T_s - T) \quad (3-7)$$

$$\ell E = \ell \rho \beta C_H U (q_{SAT} - q) \quad (3-8)$$

ここに、 c_p : 空気の定圧比熱($1005\text{J}/\text{kg}/\text{K}$)、 ρ : 空気密度(kg/m^3)、 C_H : 顕熱輸送のバルク係数(無次元)、 U : 観測地点の風速、 T : 大気気温(K)、 ℓ : 水の気化潜熱($2.50 \times 10^6\text{J}/\text{kg}$)、 β : 蒸発効率(無次元)、 q_{SAT} : T_s に対する飽和比湿(無次元)、 q : 大気の比湿(無次元)である。 ρ については次式より求める⁸⁾。

$$\rho = 1.293 \frac{273.15}{273.15 + T} \times \frac{p}{1013.25} \left(1 - 0.378 \frac{e}{p} \right) \quad (3-9)$$

ここに、 p : 気圧(hPa)、 e : 水蒸気圧(hPa)である。なお、式(3-9)での大気気温 T の単位は($^{\circ}\text{C}$)である。 p については観測される値であり、 T の時の e は観測値の湿度と T より算定可能な飽和水蒸気圧より算定できる。

$C_H U$ は顕熱輸送の交換速度と呼ばれ、風速 U と安定度の関数であり、観測地点の高度および風速を用いて算定され、土地利用毎に算定時の定数が設定されている⁹⁾。 β は地表面の蒸発のしやすさを表す蒸発効率（湿潤度と呼ぶこともある）であり0~1の値をもつものであり、この β を後述の地表面地物要素毎の土地利用と土壤水分量から逐次設定することにより、潜熱および顕熱に地表面地物要素毎の土地利用と土壤水分量を考慮するものとした。土地利用状況によって異なる変数としては上記の他、 α についてである。まとめると顕熱輸送の交換速度 $C_H U$ 、蒸発効率 β およびアルベド α が土地利用の違いを表現する変数となる。

q_{SAT} は T_S の関数である飽和水蒸気圧 e_{SAT} を用いて式(3-10)で与えられる¹⁰⁾。

$$q_{SAT} = 0.622e_{SAT} / (p - 0.378e_{SAT}) \quad (3-10)$$

ここに e_{SAT} : T_S の時の飽和水蒸気圧である。 e_{SAT} については *Tetens* の式(3-11)¹¹⁾を用いて算定した。定数については水上を想定した定数を用いた。なお、式(3-11)での地表面温度 T_S の単位は(°C)である。

$$e_{SAT} = 6.11 \times 10^3 \frac{7.5T_S}{(T_S + 237.3)} \quad (3-11)$$

これらより、式(3-8)の q_{SAT} は T_S の関数となる。以上まとめると式(3-6)の左辺は式(3-5)より既知であり、式(3-7),(3-8)は全て T_S だけの関数となり、 T_S について解くことにより潜熱伝達量 lE と顕熱伝達量 H について求めることとなる。

G は陸地面において毎日同じような気象条件が続いている場合は日中・夜間でプラス・マイナスとなる。本研究では日平均状態を対象とするため、 G については0としている。

3-4 SMPT モデルによる土壌水分量評価

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⁵⁾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、本研究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 3-2)。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。

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 3-2 において土壌水分量を $S(t)$ (m) とすると、連続式は式(3-12)で表せる。

$$\frac{dS(t)}{dt} = R(t) - E(t) - P(t) - D(t) \quad (3-12)$$

ここに、 $R(t)$: 降水量(m/s), $E(t)$: 実蒸発散量(m/s), $P(t)$: 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).

$P(t)$ は、 $S(t)$ と地下水涵養定数 θ (1/s)から式(3-13)により算定する。

$$P(t) = \begin{cases} 0 & (0 \leq S(t) \leq S_n) \\ \theta(S(t) - S_n) & (S_n < S(t)) \end{cases} \quad (3-13)$$

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(3-14)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。

$$D(t) = \begin{cases} 0 & (0 \leq S(t) \leq S_{sat}) \\ \frac{d(S(t) - S_{sat})}{dt} & (S_{sat} < S(t)) \end{cases} \quad (3-14)$$

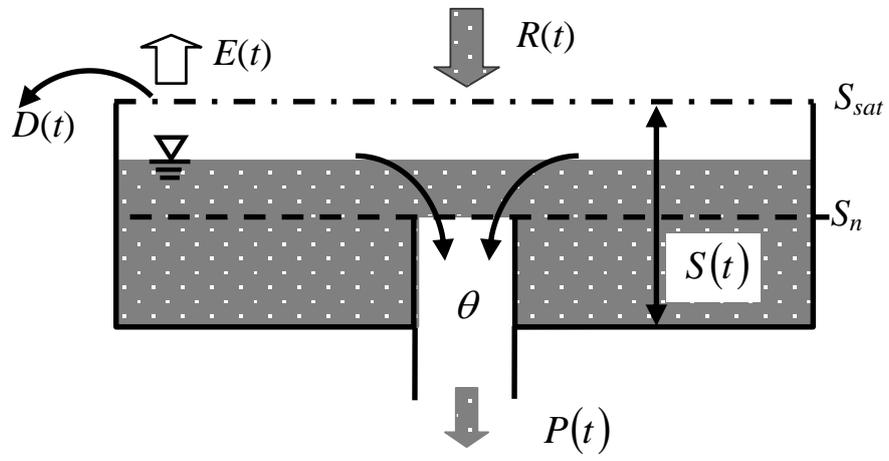


図 3-2 SMPT モデルを利用した簡易な表層土壌浸透モデル図

3-5 蒸発散モデルの構築

3-5-1 浸透域

浸透域では土地利用毎の蒸発散係数，土壤水分量からバルク式における蒸発のしやすさを表す蒸発効率 β を算定し，これを用いて潜熱，顕熱を算定することにより土地利用区分の違いによる土壤水分を考慮した蒸発散量の推定を行うモデルを構築する．

式(3-8)における蒸発効率 β は可能蒸発散能と実蒸発散量の比として定義されるが，その β について竹下らが提案している可能蒸発散能と実蒸発散量の比である蒸発散比 ETR^3 を β とみなし， β について土壤水分量の関数(0~1)とし，土壤水分率 $\lambda_w=0$ のとき $\beta=0$ ， $\lambda_w=1$ のとき $\beta=1$ となる式(3-15)で表現する．この β を用いて土地利用区分毎の蒸発散係数，最大保水量に対する土壤水分量を考慮することにより，土地利用種別の違いおよび土壤水分量の違いによる蒸発散量を β により表現する蒸発散モデルとした．

$$\beta = 1 - \frac{2}{1 + \exp(-k \times \lambda_x)} \quad (3-15)$$

ここに， k ：土地利用種別毎に設定する蒸発散係数(無次元)， λ_x ：土壤水分係数である．土壤水分係数 λ_x は土壤水分率 λ_w を用いて以下の式で表現する．

$$\lambda_x = 1 - \frac{1}{(1 - \lambda_w)} \quad (3-16)$$

ここに， λ_w ：土壤水分率（飽和土壤水分量 S_{sat} に対する土壤水分量：無次元）である．

土壌水分率 λ_w と蒸発効率 β の関数は、蒸発散係数 k の値により図 3-3 のとおりとなる。

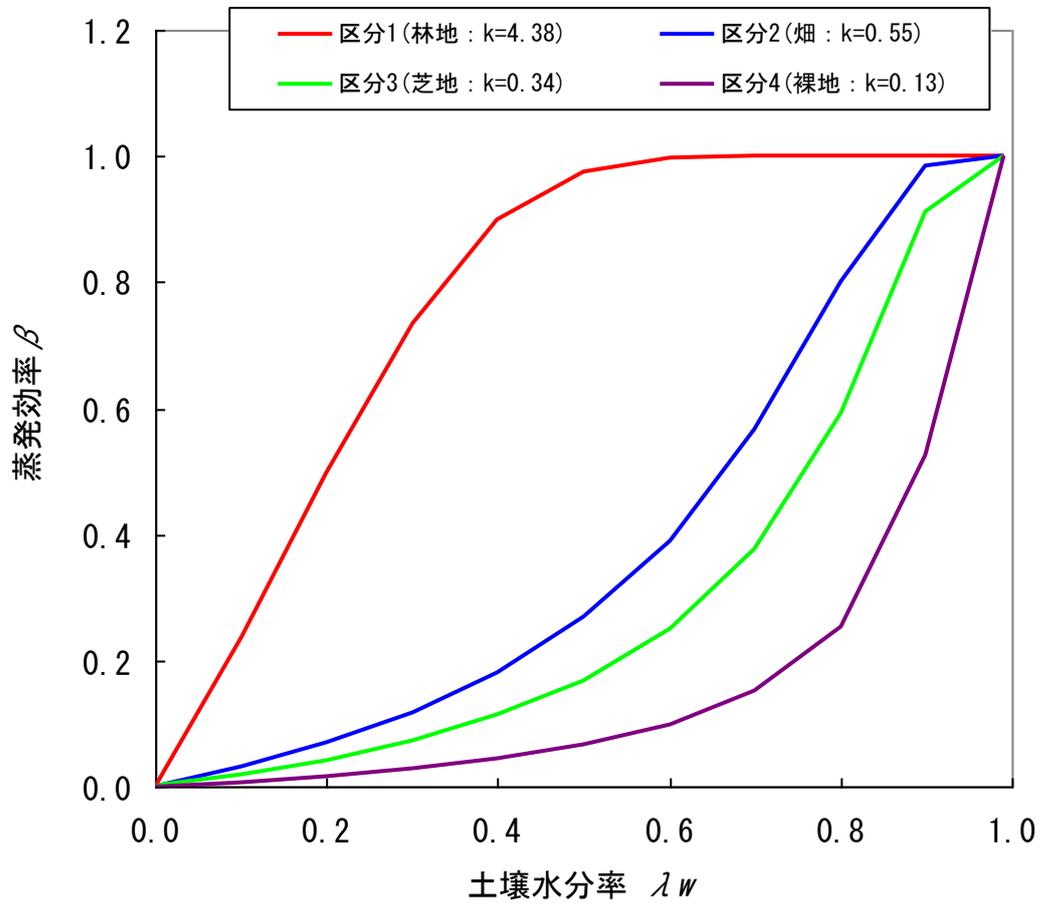


図 3-3 土壌水分率 λ_w と蒸発効果 β の関係

本研究では、SMPT モデルによる簡易な表層土壌浸透モデルをもとに、飽和土壌水分量 S_{sat} と計算ステップ毎の土壌水分量 $S(t)$ から土壌水分率 λ_w を算定することにより、蒸発効率 β を算定するモデルとした。また、対象流域内では高度な地物データ GIS を 20 の土地利用種別に分類しているが¹²⁾、浸透域については土地利用種別毎の蒸発散係数 k 、飽和土壌水分量 S_{sat} 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なモデルとした。

3-5-2 不浸透域

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(3-17)により算定し、 $h(t)$ の変化量は式(3-18)により算定する (図 3-4)。

$$D(t) = \begin{cases} 0 & (h(t) \leq H_l) \\ R(t) - E(t) & (h(t) > H_l) \end{cases} \quad (3-17)$$

$$\frac{dh(t)}{dt} = R(t) - D(t) - E(t) \quad (3-18)$$

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。

建物、舗装地等の不浸透域の β については、 $\beta=1$ の場合の蒸発散量である可能蒸発散能 $E_p(t)$ を実蒸発散量 $E(t)$ とするが、窪地貯留の水量がそれより小さい場合は窪地貯留の水量を実蒸発散量 $E(t)$ とした。また、河川、池およびプール等の「水域」(高度な地物データ GIS においては不浸透域として扱う)の β に関しては、水域については $\beta=1$ であるため¹³⁾、 $\beta=1$ として算定した可能蒸発散能を実蒸発散量としている。

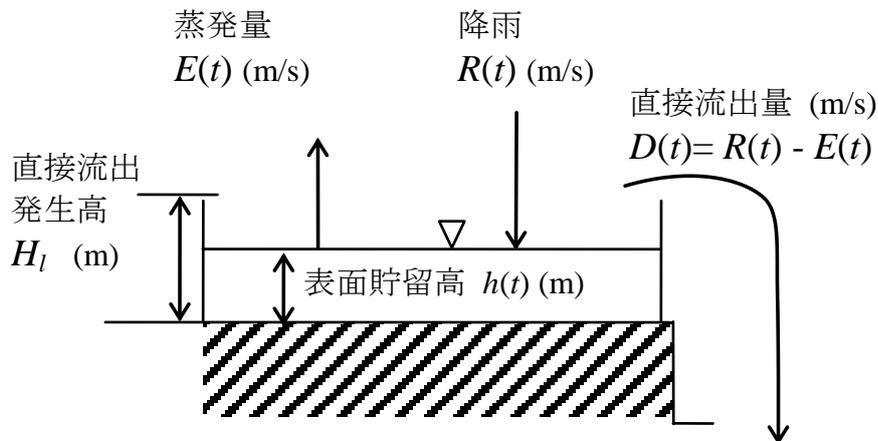


図 3-4 不浸透地物における直接流出概念図

3-6 結語

本章では、都市流域において非常に複雑に形成された、個々の建物、駐車場、道路などの不浸透域、および公園、グラウンドなどの浸透域を正確に抽出できる地物データ GIS を用いて、地表面を浸透地物と不浸透地物に分類し、浸透特性と土壤水分量の違いを熱収支を考慮して表現可能な蒸発散モデル（TET モデル）を提案した。

具体的には、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した。浸透域に対しては、地表面地物要素毎の土地利用の違いおよび土壤水分量の状態を考慮し、バルク式による熱収支式を用いて潜熱・顕熱を算定できるモデルとした。さらに、算定された潜熱・顕熱を用いて地表面地物要素毎の蒸発散量時系列と同時に地表面温度変化を表現できるモデルとした。本モデルにより算定された潜熱・顕熱を用いて、地表面地物要素毎の蒸発散量時系列と同時に地表面温度変化を表現可能となった。

これらの蒸発散モデルを、第 4 章において実流域に適用し、熱収支および土壤水分を考慮した蒸発散モデル（TET モデル）の有用性について検討を行う。

【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) 古賀達也, 河村明, 天口英雄 : 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, 土木学会論文集B1 (水工学) , Vol.69, No.4, pp.I_1771-I_1776. 2013.
- 5) 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.
- 6) 近藤純正 : 地表面に近い大気の科学, pp.137-145, 2000.
- 7) 6) に同じ, p.3, 2000.
- 8) 6) に同じ, p.141, 2000.
- 9) 6) に同じ, p.143, 2000.
- 10) 6) に同じ, p.3, 2000.
- 11) 水文・水資源学会 : 水文・水資源ハンドブック, p.43, 1997.
- 12) 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.
- 13) 6) に同じ, p.142, 2000.

第 4 章

TET モデルの神田川上流域への適用

第4章 TET モデルの神田川上流域への適用

4-1 緒言

本章では、TET モデルを高度に都市化の進展した神田川上流域に適用し、場所毎に異なる気温データを用いて、2004 年の 1 年間の地表面地物要素毎の日蒸発散量および日平均地表面温度の算定を行った。これより、流域の年単位の蒸発散量を算定し、実測の年蒸発散量との比較により蒸発散パラメータの妥当性を確認するとともに、神田川流域内の気温および地表面地物要素の土地利用種別の違いが蒸発散量の空間分布、および地物表面温度の空間分布に及ぼす影響について評価した。

神田川流域への適用にあたっては、神田川上流域内および近傍には気象庁アメダス観測所が存在しないため、本研究では（公財）東京環境科学研究所が首都大学東京と共同で東京都区内に 126 カ所という高密度で設置していた、首都圏環境温度・降雨観測システムであるメトロス（METROS: Metropolitan Environmental Temperature and Rainfall Observation System）¹⁾の観測気温データを用いた。

4-2 METROS データ

4-2-1 METROS データの概要

METROS (メトロス) は東京都環境科学研究所と首都大学東京が共同で都内 126 地点に設置している気象観測機器・システムであり, METROS20 と METROS100 の 2 種類の観測システムに分けられる. METROS20 は都区内 20 ヶ所のビルの屋上部等で, 風向, 風速, 気温, 湿度, 降水量, 気圧を計測しており, METROS100 は, 23 区内 106 ヶ所の小学校の百葉箱内に設置された小型の温湿度データロガーによる観測システムで温度, 湿度が記録されている¹⁾. METROS は 2002 年~2004 年度のプロジェクトで観測が実施されており, 一方, 神田川の高度な地物データ GIS の基礎となっている基礎的地物データ GIS は 2004 年時点の土地利用の GIS データであるため, 本研究では METROS 観測データの 2004 年の気象データを用いる事とした.

4-2-2 神田川上流域周辺の METROS データ

図 4-1 に神田川上流域周辺の METROS 観測所の位置関係を示す。神田川上流域周辺では METROS20 の観測地点は 2 地点, METROS100 の観測地点は 14 地点の計 16 地点が存在している。本研究では, 図 4-1 に示すティーセン分割を行い, 各地表面地物要素毎に, 観測地点のティーセンエリアに対象領域が含まれる St.1~St.9 の異なる気温データを与える事とした。なお, 図 4-1 の範囲内には気象庁アメダス観測所は存在しておらず, METROS データの活用により神田川上流域での TET モデルの検証が可能となっている。

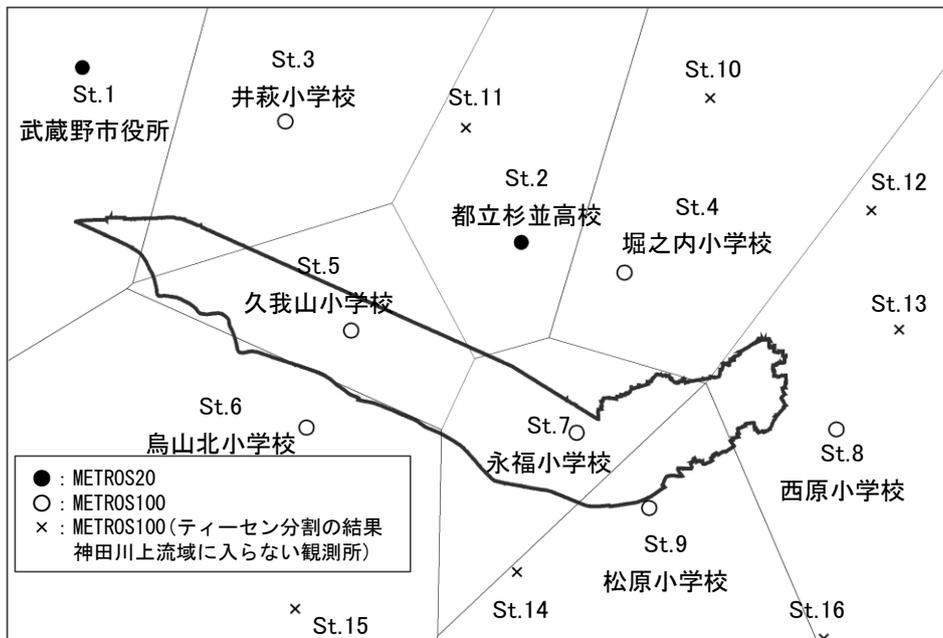


図 4-1 対象流域周辺の METROS 設置位置

図 4-2 に対象とする 9 観測地点の 2004 年の日平均気温，表 4-1 に観測地点毎の月平均および年平均気温を示す。図 4-2 より観測地点毎に大きな気温変化は見られないが，表 4-1 に示す年間平均気温で見ると St.8 が 17.36℃に対し，St.1 の年間平均気温は 16.37℃であり約 1℃の差がある。この差は St.8 が位置する下流域では密集低層住宅地等が多く市街化が進んでいるのに対し，St.1 が位置する上流域では公園・緑地等が多いため²⁾と推察される。なお，ビルの屋上部等で計測されている METROS20 の観測所 (St.1, St.2) と百葉箱内で計測されている METROS100 の観測所(St.3～St.9)では，計測条件の違いによる精度の違いが懸念されるが，表 4-1 に示す St.1(METROS20)と近傍の St.3(METROS100)における気温の比較により，ほぼその差が無いことが確認できる。

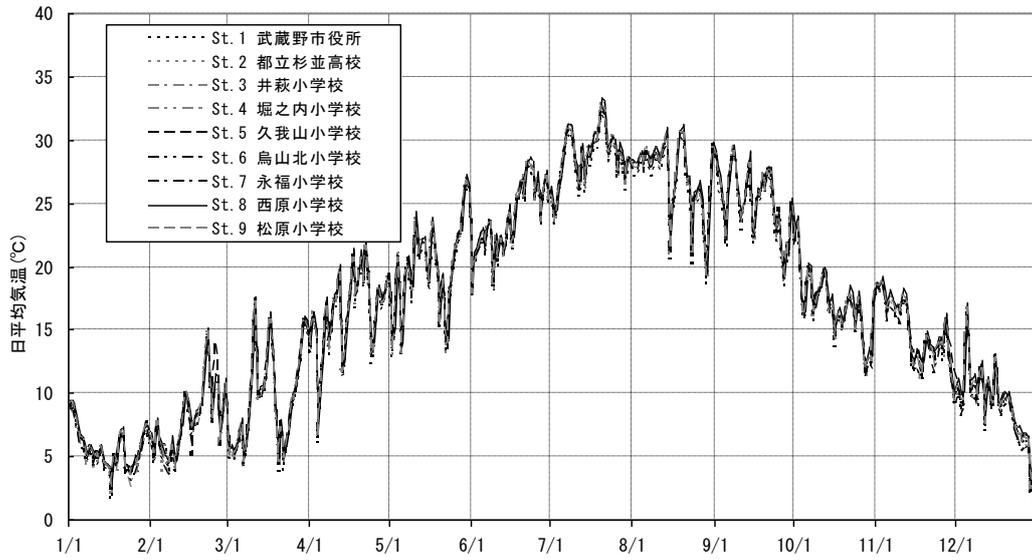


図 4-2 日平均気温 (2004 年)

表 4-1 年平均および月平均気温

月	観測地点								
	St.1	St.2	St.3	St.4	St.5	St.6	St.7	St.8	St.9
日平均気温の月平均(°C)									
1	5.17	5.39	4.99	5.55	5.59	5.61	5.13	5.90	5.66
2	7.43	7.61	7.28	7.77	7.81	7.82	7.36	8.27	7.92
3	8.88	9.13	9.29	9.59	9.50	9.11	9.33	9.79	9.29
4	15.51	15.80	16.04	16.32	16.09	15.94	16.12	16.60	16.05
5	18.87	19.17	19.53	19.73	19.51	19.34	19.68	19.94	19.52
6	23.11	23.33	23.68	23.83	23.50	23.45	23.68	24.01	23.52
7	27.73	28.15	28.57	28.83	28.35	28.35	28.55	29.01	28.46
8	26.19	26.62	26.97	27.21	26.85	26.89	26.94	27.43	26.90
9	24.21	24.61	24.81	25.13	24.89	24.96	24.93	25.38	24.94
10	16.44	16.75	16.78	17.05	16.75	16.88	16.73	17.34	16.87
11	14.40	14.69	14.34	14.85	15.14	14.61	14.23	15.21	14.80
12	8.47	8.80	8.47	8.76	8.98	8.60	8.21	9.32	8.87
年平均 (°C)	16.37	16.68	16.74	17.06	16.92	16.80	16.75	17.36	16.91

4-3 蒸発散量の推定

4-3-1 計算条件

本研究では、2004年の1月～12月の1年間を対象に、3章で構築したTETモデルを用いて日単位の潜熱、顕熱の算定および、それらを用いて算定できる地表面地物要素毎の地表面温度および蒸発散量の解析を行った。バルク式に用いる日平均気温については、地表面地物要素毎の位置に応じて図4-1に示したSt.1～St.9のそれぞれの観測値を用いた。風速についてはMETROS100の観測地点では観測されていないため、風速が観測されているMETROS20のSt.2における観測値を用いた。全天日射量についてはMETROS100およびMETROS20では観測されていないため、アメダス「東京」における観測値を用いた。なお、全天日射量は数kmの範囲で大きく異なる値ではない³⁾ため、蒸発散量の推定に与える影響は無視できると考えられる。大気放射量については、近藤の提案する手法⁴⁾により算出した。

高度な地物データGISでは、表4-2に示すとおり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(水域を含む)の設定を行っている。なお、間地(戸建て敷地内の建物以外)については、サンプル調査の結果をもとに50%を浸透域として設定した。これらの土地利用種別において、土壌水分を考慮した蒸発散モデル適用のために蒸発散係数 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、ここでは竹下と高瀬⁵⁾、藤田ら⁶⁾、および荒木ら⁷⁾の設定値を一次設定値として流域全体の蒸発散量が妥当なものとなるようにトライアルを行い、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グループに分類され、各グループの土地利用種別毎のパラメータは同様とした。グループ1は林地、グループ2は畑、グループ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(浸透域分)の7種別、グループ4は裸地とした。また、不浸透域の水域以外である建物、駐車場(不浸透)、グラウンド(不浸透)、舗装地、鉄道、間地(不浸透域分)、テニスコート(不浸透)、道路の8種別はグループ5とし、直接流出発生高(窪地貯留高)は一般的な値⁸⁾を採用し2mmと設定した。不浸透域の水域であるプール、池、河道の3土地利用種別についてはグループ6とした。以上6グループの蒸発散パラメー

タを表 4-2 に示す。また、アルベドについても同様に 6 グループに分類し、土地利用種別毎に表 4-2 に示す一般的な値⁹⁾を採用した。

表 4-2 土地利用種別毎蒸発散パラメータ

No	土地利用種別	浸透特性	面積 (km ²)	面積率 (%)	飽和	最小	地下水	初期	蒸発	アル	定数が 同値の 区分※
					土壌 水分量 <i>Ssat</i> (mm)	容量 <i>Sn</i> (mm)	涵養 定数 θ (1/s)	水量 <i>S(0)</i> (mm)	散係数 <i>k</i>	ベド α	
1	建 物	不浸透	3.38	29.39	-	-	-	-	-	0.12	グループ5
2	駐車場(浸透)	浸透	0.06	0.52	92	74	0.8	64	0.34	0.10	グループ3
3	駐車場(不浸透)	不浸透	0.21	1.80	-	-	-	-	-	0.12	グループ5
4	グラウンド(浸透)	浸透	0.23	1.96	92	74	0.8	64	0.34	0.10	グループ3
5	グラウンド(不浸透)	不浸透	0.02	0.20	-	-	-	-	-	0.12	グループ5
6	林 地	浸透	1.04	9.05	138	110	0.8	97	4.38	0.15	グループ1
7	芝 地	浸透	0.17	1.49	92	74	0.8	64	0.34	0.10	グループ3
8	畑	浸透	0.19	1.64	104	83	0.8	73	0.55	0.23	グループ2
9	公 園	浸透	0.10	0.91	92	74	0.8	64	0.34	0.10	グループ3
10	墓 地	浸透	0.07	0.61	92	74	0.8	64	0.34	0.10	グループ3
11	舗装地	不浸透	0.38	3.30	-	-	-	-	-	0.12	グループ5
12	鉄 道	不浸透	0.15	1.30	-	-	-	-	-	0.12	グループ5
13	間 地	50%浸透	3.43	29.83	92	74	0.8	64	0.34	0.10	グループ3
14	テニスコート(浸透)	浸透	0.05	0.47	92	74	0.8	64	0.34	0.10	グループ3
15	テニスコート(不浸透)	不浸透	0.03	0.26	-	-	-	-	-	0.12	グループ5
16	裸 地	浸透	0.05	0.46	80	64	0.8	56	0.25	0.10	グループ4
17	プ ール	不浸透	0.01	0.10	-	-	-	-	-	0.12	グループ6
18	道 路	不浸透	1.79	15.52	-	-	-	-	-	0.12	グループ5
19	池	不浸透	0.04	0.31	-	-	-	-	-	0.12	グループ6
20	河 道	不浸透	0.10	0.87	-	-	-	-	-	0.12	グループ6

※グループ5は不浸透域(水域以外)で、直接流出開始高を2mmに設定

4-3-2 計算結果とその考察

(1) 気温の違いによる蒸発散量の変化

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2004年の1年間の日単位計算による地物毎の蒸発散量の算定を行った。図4-3に、代表例として観測地点の支配面積が最大であるSt.5の気温を与えた領域における、可能蒸発散能と土壤水分量を考慮した実蒸発散量時系列をグループ毎に示している。なお、図4-3には入力条件として与えたSt.2の日雨量、St.5の日平均気温の時系列変化も併記している。St.5の日平均気温は、7月～8月が約30℃とピークであり、熱収支式より算定される可能蒸発散能は土地利用種別に関わらず最大で約7mm/dayとなっている。図4-3 a), b)より林地(グループ1)および畑(グループ2)では7月下旬の実蒸発散量は可能蒸発散能に対してかなり小さくなっている。これは7月に降雨が少なく蒸発により土壤水分が減少していくことにより、蒸発効率 β が小さくなるためである。一方、不浸透域では図4-3 e)より建物等(グループ5)については、窪地貯留高を2mmと設定しているため、それ以上の降雨が発生した場合は直接流出となり、最大蒸発散量は2mm/dayとなっている。図4-3 f)より河道等(グループ6)では、実蒸発散量を可能蒸発散能としているため、実蒸発散量は全土地利用種別中で最大となっている。

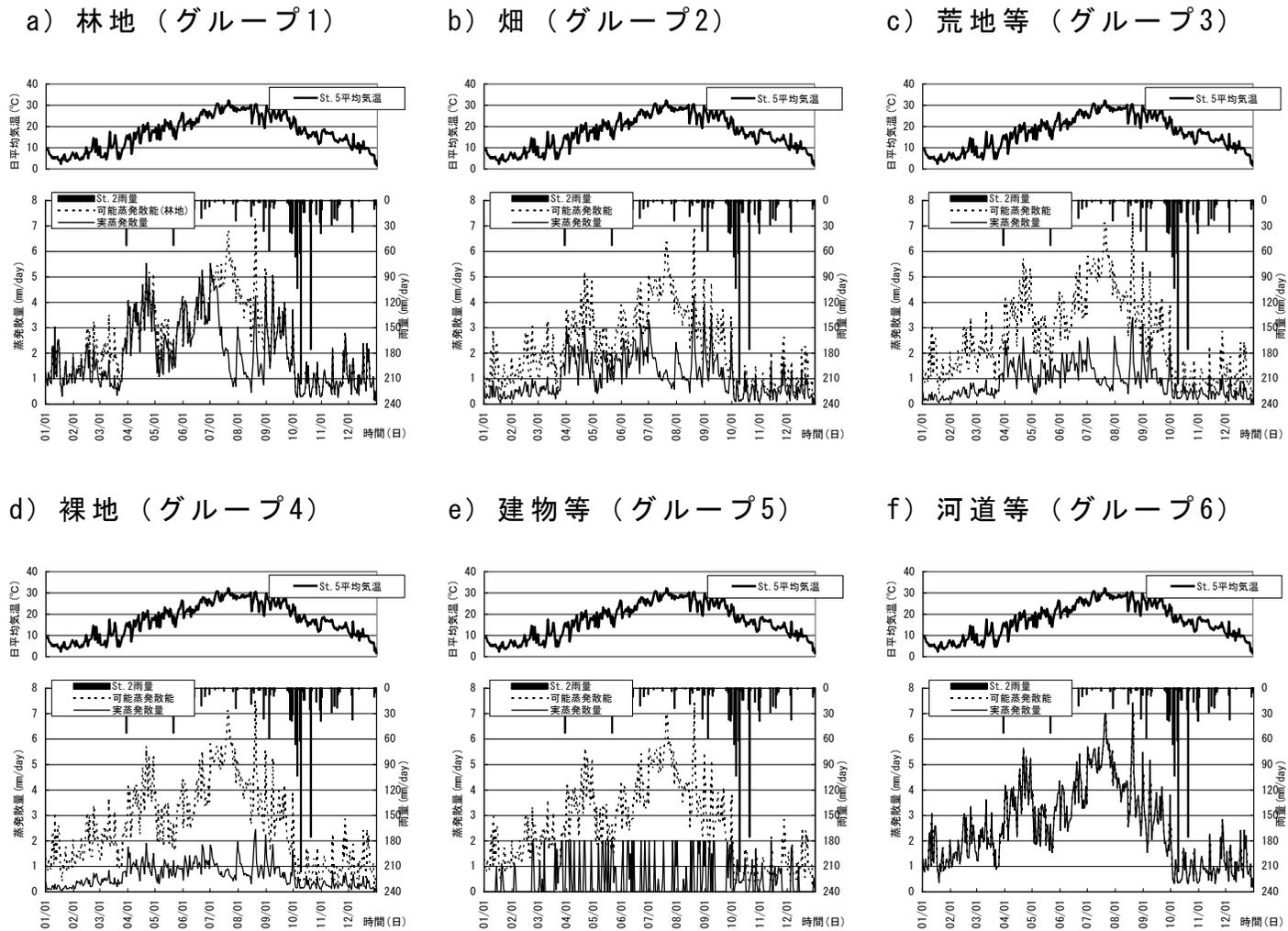


図 4-3 土地利用グループ毎の蒸発散量 (St.5 の気温を与えた領域)

表 4-3 には 9 観測地点の年平均気温、およびその観測地点の日平均気温を与えて計算したグループ毎の年間総蒸発散量を示す。なお、数値の無い「-」で示している箇所は該当する土地利用種別が存在しないことを示している。表 4-3 より、観測地点の気温に関わらず土地利用種別の違いによる蒸発散量の大小傾向は変わらず、年間蒸発散量の平均値は河道等、林地、畑、芝地等、裸地、建物等の順となっている。すなわち蒸発散量は河道等（グループ 6）の水域が 932.1 mm/year と最も大きく、建物等の不浸透域（グループ 5）が 161.9 mm/year と最も小さくなっている。表 4-3 より土地利用種別に関わらず、蒸発散量の算定に用いた気温が高いほど年間蒸発散量が多く、低い場合に年間蒸発散量が小さく算定されている事がわかる。例えば、林地（グループ 1）の年間蒸発散量に着目すると、年間平均気温が 9 観測地点中最大の 17.36℃である St.8 では年間蒸発散量が 716.0 mm/year であるのに対し、最小の St.1 (16.37℃)では年間蒸発散量が 679.7 mm/year であり、年平均気温 1℃程度の差に対し約 36mm/year の年間蒸発散量の違いが表れている。また、芝地等（グループ 3）では年平均気温の 1℃程度の差により約 20 mm/year の年間蒸発散量の違いが表れている。

表 4-3 土地利用グループ毎の年間蒸発散，年平均気温

観測地点	年平均気温 ℃	年間蒸発散量(mm/year)					
		林地 (グループ 1)	畑 (グループ 2)	芝地等 (グループ 3)	裸地 (グループ 4)	建物等 (グループ 5)	河道等 (グループ 6)
St.1	16.37	679.7	373.6	308.8	-	159.9	-
St.2	16.68	-	-	-	-	161.3	-
St.3	16.74	694.5	383.9	317.6	231.3	162.5	921.3
St.4	17.06	-	-	-	-	162.7	-
St.5	16.92	701.0	386.7	319.2	232.6	161.7	928.3
St.6	16.80	696.0	384.0	317.3	-	162.2	-
St.7	16.75	694.6	383.9	317.8	231.5	161.8	922.3
St.8	17.36	716.0	-	327.3	239.3	163.5	960.6
St.9	16.91	699.5	386.0	318.8	232.4	161.9	928.0
平均値	16.84	697.3	383.0	318.1	233.4	161.9	932.1

- : 観測地点の支配領域内に土地利用が無い場合を示す

(2) 土地利用別年間総蒸発散量

図 4-4 は流域全体の蒸発散量の累積を各土地利用種別毎に表したものである。この図では、蒸発散量が大きい間地、林地、建物、道路の 4 種の土地利用種別とその他 16 種別については合計し、計 5 種を示している。この図より間地、道路、林地、建物の 4 土地利用種別で、流域全体の合計蒸発散量の 81%を占めており、その内訳はそれぞれ間地 (28%)、林地 (25%)、建物 (19%)、道路 (10%) となっている事がわかる。次に、道路および建物は不浸透域であり、年間蒸発量は約 160 mm/year (表 4-3) と小さいが、それぞれの流域に占める面積率が表 4-2 のように建物 (約 29%)、道路 (約 16%) と大きいため、結果として流域全体の蒸発散量が大きくなっている。間地の年間蒸発散量については、地物面積の 50%を浸透域分 (グループ 3 の蒸発散パラメータを使用)、残り 50%を不浸透域分と設定したので、年間蒸発散量は表 4-2 に示すグループ 3 とグループ 5 の平均値となり、約 240 mm/year である。この間地の年間蒸発散量は約 240 mm/year とそれほど大きくないが、面積率が約 29% (表 4-2) と大きいので最大の蒸発散量となっている。また、林地については表 4-2 より面積率は約 9%と小さいが、単位面積あたりの年間蒸発散量が約 700 mm/year (表 4-3) と他の土地利用種別と比較して大きいため、結果として蒸発散量が大きな割合を占めている。なお、水域 (河川、池、プール) の年間蒸発散量は 932.1 mm/year (表 4-3) と最も大きい、これらの土地利用面積率は表 4-2 に示すように約 1.3%と微少なため、全体の蒸発散量に占める影響は小さい。このように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、それに伴い蒸発散量は変化することとなる。

累積蒸発散量 (m³)

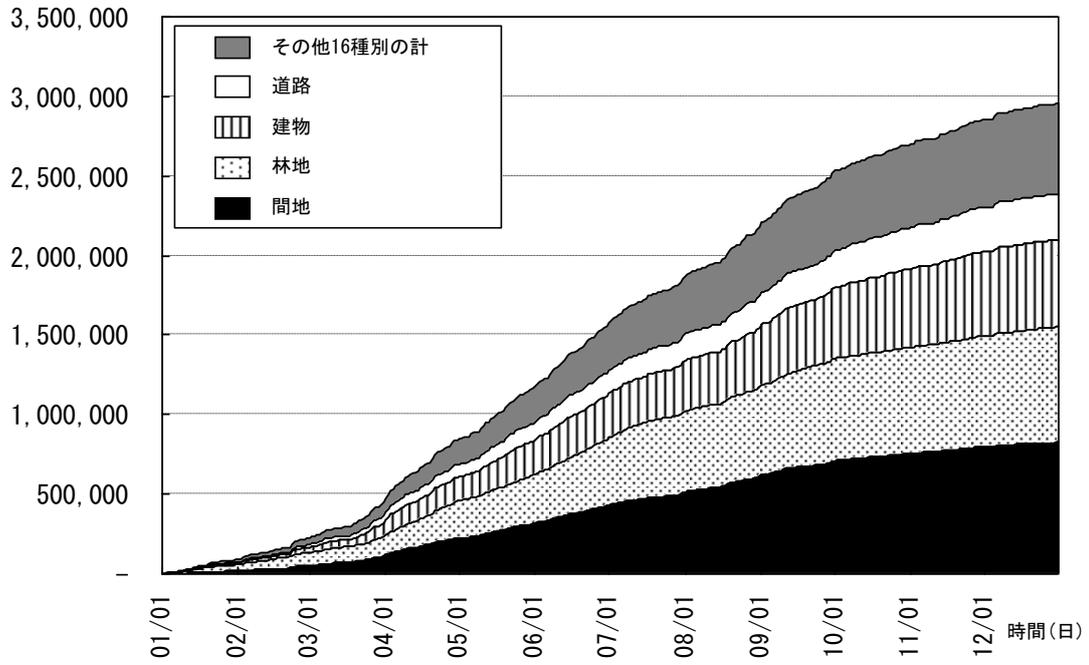


図 4-4 土地利用種別毎の累積蒸発散量

(3) 地表面温度の空間分布

TET モデルでは、個別地物毎の潜熱・顕熱輸送量および蒸発散量の他に、地物地表面温度の算定も同時に行っている。図 4-5 にはどの観測地点においても最も気温が高かった 7 月 21 日における各地表面地物要素毎の地表面温度を、観測気温との差として示している。図 4-5 より、St.8 の観測値を用いて蒸発散量を算定している領域では、地表面温度が気温より低い (値がマイナス) 地表面地物要素が多い。これは、St.8 の気温は表 4-3 より 9 観測地点中で最も平均気温が高く、この観測値を用いて蒸発散量を算定している領域では潜熱輸送量が大きく蒸発散も大きくなり、特に林地の蒸発散量が大きくなるため、地表面温度が下がるからである。また、St.8 の観測値を用いている領域では、地表面温度が気温より高い (値がプラス) 地表面地物要素も見られる。これらは不浸透地物に対応しており、その差は 7°C ~ 8°C であり 8°C 以下である。しかし、St.8 および St.9 の領域以外では、不浸透地物の地表面温度と気温の差は 8°C 以上となっており、表 4-3 より最も平均気温が低い St.1 の領域においても 8°C 以上となっているのが確認できる。これは、St.1 の領域のように気温が低い観測値を用いて蒸発散量を算定している領域では、蒸発散量が小さく潜熱輸送量も小さくなるため、観測気温と地表面温度の差が大きくなることによるものである。

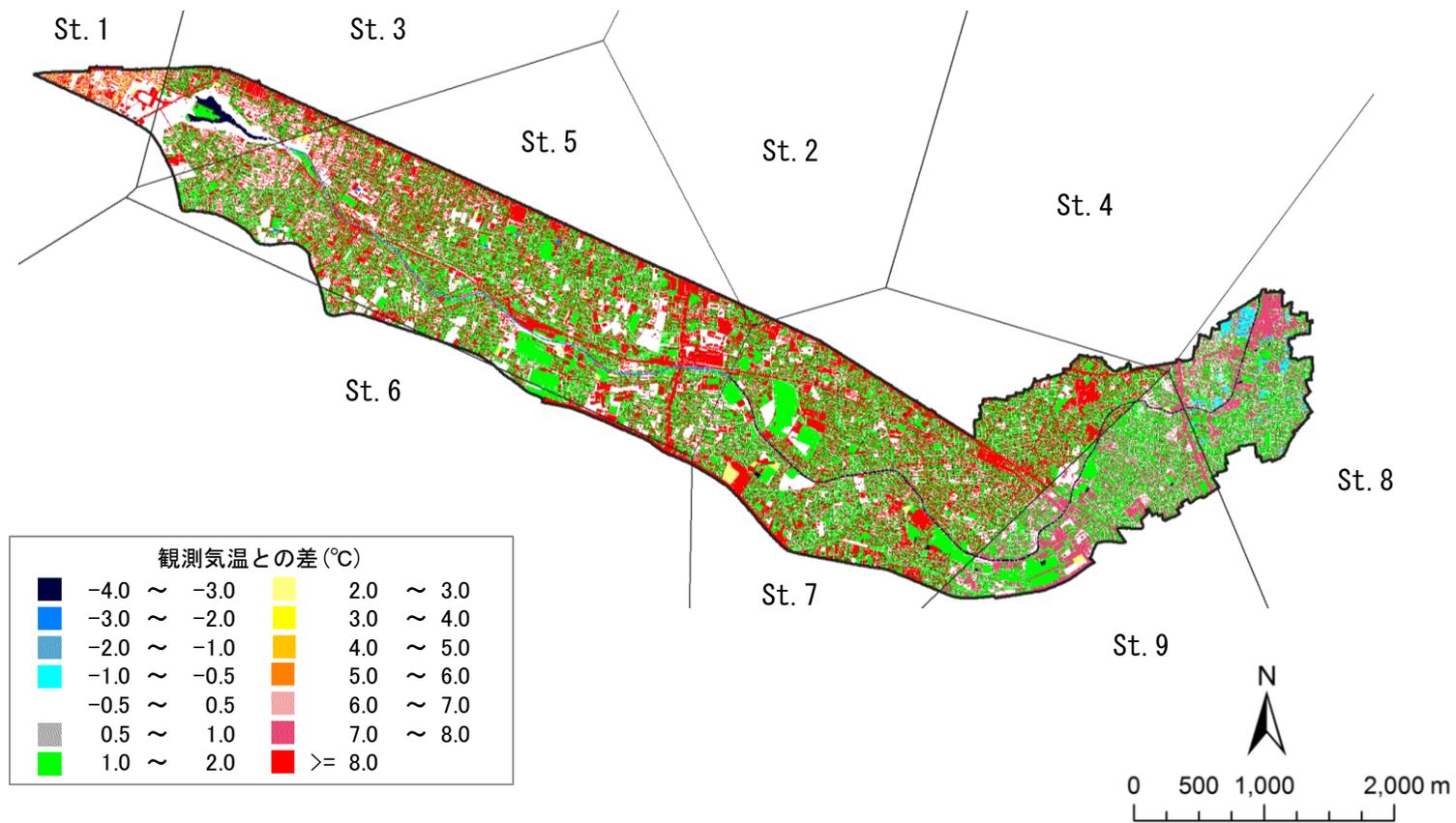


図 4-5 地表面温度分布図 (7月21日)

4-3-3 推定結果の妥当性の検証

上記の蒸発散量の推定結果の妥当性について、神田川上流域の全体の水収支の観点から検証を試みる。2004年の年間総雨量は1,757 mmであり、流域全体の総雨量に換算すると2,021万 m³となる。これに対し、TETモデルで算定された全地表面地物要素からの年間総蒸発散量は図 4-4 に示すように296万 m³となっている。すなわち、蒸発散の割合は約15%となる。一方、東京都公表資料¹⁰⁾によれば東京都全域の年間雨量と蒸発散量は1,405 mm/yearおよび412 mm/year程度と示されており雨量に対する蒸発散の割合は29%程度のオーダーである。また、神田川流域水循環系再生構想検討報告¹¹⁾では神田川全流域の流域平均雨量と年間蒸発散量は1,512 mm/yearおよび231 mm/year程度と記載されており、雨量に対する蒸発散の割合は15%となる。東京都全域に比べて神田川流域が15%と低いのは、神田川流域は都市化が進んでおり蒸発散量が多い林地等が少ないことによるものと考えられる。神田川上流域においてTETモデルで算定された15%の蒸発散割合は、神田川全体の蒸発散割合と同じであり、妥当な値となっている。また、林地の蒸発散量について検討してみると、日本の森林の一般的な蒸発散量は500~1,000 mm/yearのオーダーと推計されており¹²⁾、TETモデルで算定した林地の蒸発散量の約700 mm/year(表 4-3)は妥当な結果となっている。

4-4 結語

本章では、前章で構築した地表面地物要素毎の土地利用種別の違いおよび土壌水分量の状態を考慮して潜熱、顕熱を算定できる TET モデルを活用し、神田川上流域において 2004 年 1 年間の地表面地物要素毎の潜熱、顕熱および蒸発散量を推定した。この場合、神田川上流域近傍にはアメダス観測所が存在しないため、流域内外に密に存在している METROS 観測所の気温データを有効に活用することにより、同じ土地利用種別でも気温により蒸発散量が異なる現象を表現することが可能となった。

蒸発散量の推定の結果、土地利用毎に異なる土壌水分量を考慮した蒸発散量が推定でき、年間蒸発散量の平均値は河道等、林地、畑、芝地等、裸地、建物等の順となっており、蒸発散量は河道等（グループ 6）の水域が 932.1 mm/year と最も大きく、建物等の不透透域（グループ 5）が 161.9 mm/year と最も小さくなっていることを示した。また、同一土地利用における気温の違いによる蒸発散量の違いも表現でき、例えば、林地（グループ 1）の年間蒸発散量では年平均気温 1°C 程度の差に対し約 36mm/year の年間蒸発散量の違いが表れていることを示した。さらに、地表面温度の空間分布を推定し、観測気温が高い St.8 の観測値を用いて蒸発散量を算定している領域では、潜熱輸送量が大きく蒸発散も大きくなり、地表面温度が気温より低い地表面地物要素が多くなることを示した。以上のように、本モデルにより土地利用毎に異なる土壌水分量を考慮し、蒸発散量および地表面温度の推定が可能であると考えられる。

この蒸発散モデルを用いて、第 5 章において建物の屋上緑化や道路の保水性舗装化によるヒートアイランド緩和策シミュレーション評価について検討を行う。

【参考文献】

- 1) 三上岳彦, 大和広明, 広域METROS研究会: 広域METROSによる首都圏高密度気温観測とその都市気候学的意義, 地学雑誌, 120(2), pp.317-324, 2011.
- 2) 古賀達也, 河村明, 天口英雄: 神田川上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.
- 3) 近藤純正: 地表面に近い大気の科学, p.141, 2000.
- 4) 3)に同じ, p.305, 2000.
- 5) 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.
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 「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ー水循環系の再生に向けてー, 第二編 技術解説, p.58, 2000.
- 9) 3)に同じ, p.41, 2000.
- 10) 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 (1999) .
- 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.5 (2003) .
- 12) 3)に同じ, p.138, 2000.

第 5 章

ヒートアイランド緩和策に対するシミュレーション評価

第5章 ヒートアイランド緩和策に対するシミュレーション評価

5-1 緒言

ヒートアイランド緩和策に対するシミュレーション評価はこれまで多く行われているが、その多くはグリッド型の土地利用情報を用いた広域での緩和策評価（たとえば神足ら¹⁾、*Ashie and Kono*²⁾）や詳細な街区単位の緩和策評価（たとえば田村ら³⁾）、または実証実験による局所的な評価等である。これまでの研究を調べる限りでは、個別の土地利用種別の特性を表現した地表面地物要素毎のヒートアイランド緩和策評価とこれらの流域単位へのヒートアイランド緩和効果を同時に評価した事例は見あたらない。

本章では高度に都市化の進展した神田川上流域において個別の地表面地物要素の土地利用種別を用いることにより、建物の屋上緑化および道路の保水性舗装化のヒートアイランド緩和策を実施したシナリオを想定し、1年間の地表面地物要素毎の日蒸発散量および日平均地表面温度の算定を行った。これより、地表面地物要素の土地利用種別の改変による地表面地物要素毎の地表面温度変化および流域平均気温の変化を算定するとともに、屋上緑化および保水性舗装が都市流域の地表面地物要素へのヒートアイランド緩和策に対して与える影響についてシミュレーション評価した。

5-2 ヒートアイランド緩和策シナリオの想定

地表面地物要素へのヒートアイランド緩和策に対するシミュレーション評価を実施するにあたり、表 5-1 に示す 4 ケースの緩和策シナリオを想定した。現実的な緩和策を検討するためには、現行で実施可能なヒートアイランド対策の最大効果を把握することが肝要であるため、屋上緑化および保水性舗装化のシナリオ想定では全建物および全道路に対して対策が実施された場合を想定した。

表 5-1 ヒートアイランド緩和策シナリオの想定ケース

case	想定シナリオ	対策面積	適用
case00	現状土地利用	-	-
case01	建物屋上緑化(全建物)	3.4km ²	建物屋上を林地と想定
case02	保水性舗装化(全道路)	1.2km ²	窪地貯留高9cm
case03	全建物屋上緑化+全道路保水性舗装化	4.6km ²	case01+case02

case00 を現状の土地利用状況とし、case01 は全建物地表面地物要素の屋上緑化対策のみを実施したシナリオとした。case02 は全道路の保水性舗装化対策のみを実施した場合を想定し、case03 は全建物の屋上緑化と全道路を保水性舗装としたシナリオとした。屋上緑化の想定時は、最大のヒートアイランド緩和効果となるように、土地利用種別が建物である地表面地物要素についてグループ 1 の林地の蒸発散パラメータを適用することとした。保水性舗装化時の想定では、保水性舗装の空隙として 9cm を想定し⁴⁾、この値を直接流出発生高（窪地貯留高）として用いることにより蒸発散量の増加によるヒートアイランド緩和効果を表現することとした。なお、シナリオにもとづき地表面地物要素の土地利用が変化した場合は、実現象としては入力条件である気象場（気温、風速）は変化するが、本研究の目的は土地利用を改変した場合の地表面温度の相対変化を把握することを目的としているため、入力の気象場条件は全シナリオともに同様とした。

5-3 ヒートアイランド緩和策評価

5-3-1 計算条件

本章では第4章と同様に、2004年の1月～12月の1年間を対象に、TETモデルを用いて日単位の潜熱、顕熱の算定およびそれらを用いて算定できる地表面地物要素毎の地表面温度および蒸発散量の解析を行った。バルク式に用いる日平均気温については、地表面地物要素毎の位置に応じて図4-1に示したSt.1～St.9のそれぞれの観測値を用いた。風速についてはMETROS100の観測地点では観測されていないため、風速が観測されているMETROS20のSt.2における観測値を用いた。バルク式では高度補正を行った土地利用粗度に応じた風速を用いる必要があるが、本論文では地表面は平面として扱っているため、ここでは一般的な裸地の地表面粗度(0.005)⁹⁾を用いて全地物に対し同様の高度補正を行った風速を用いた。全天日射量についてはMETROS100およびMETROS20では観測されていないため、アメダス「東京」における観測値を用いた。なお、全天日射量は数kmの範囲で大きく異なる値ではない⁶⁾ため、蒸発散量の推定に与える影響は無視できると考えられる。大気放射量については、近藤の提案する手法⁷⁾により算出した。

蒸発散モデルのパラメータについても4章と同様に表4-2に示す値を用いた。

5-3-2 シミュレーション結果の評価

前述の計算条件および想定シナリオをもとに、対象流域である神田川上流域において2004年の1年間の日単位計算による地物毎の蒸発散量および地物地表面温度の算定を行った。

図 5-1 にはどの観測地点においても最も気温が高かった7月21日、図 5-2 には蒸発散量が最大となる7月1日における各地表面地物要素毎の地表面温度を、観測気温との差として表 5-1 に示す想定シナリオ別に示している。図 5-1a)において、St.8の観測値を用いて蒸発散量を算定している領域では、地表面温度が気温より低い(値がマイナス)地表面地物要素が多い。これは、St.8の気温は表 4-1 より9観測地点中で最も平均気温が高く、この観測値を用いて蒸発散量を算定している領域では潜熱輸送量が大きく蒸発散も大きくなり、特に林地の蒸発散量が大きくなるため、地表面温度が下がるからである。また、St.8の観測値を用いている領域では、地表面温度が気温より高い(値がプラス)地表面地物要素も見られる。これらは不浸透地物に対応しており、その差は7℃~8℃であり8℃以下である。なお、St.8およびSt.9の領域以外において地表面温度と気温の差が-0.5℃~0.5℃とほぼ等しい地表面地物要素はグループ1の林地土地利用種別であることを確認している。図 5-1b)のcase01よりcase00と比較して地表面温度と気温の差が-0.5℃~0.5℃の地表面地物要素が増えている事がわかる。これは建物を屋上緑化することにより地表面気温が低下したことによる。なお、地表面温度と気温の差が7℃以上となっている箇所は道路やグラウンド(不浸透)等の不浸透域である地表面地物要素である。図 5-1c)は全道路を保水性舗装化した場合の地表面温度であるがcase00と大きな違いは見られない。これは図 4-3 より7月21日は最高気温だが、無降雨期間が続き土壌水分が小さくなっており蒸発散量が少ないためである。図 5-1 d)は全建物屋上緑化と全道路保水性舗装化した場合の地表面温度であるが、7月21日は道路部の蒸発による地表面温度低下が見られないため、建物の屋上緑化のみの対策を行ったcase01とほぼ同様の結果となっている。

図 5-2 は蒸発散量が最大となる7月1日の地表面温度を示しているが、7月1日は道路上の水分量が大きく保水性舗装を行っている道路地物からの蒸発散量も多くなるため、図 5-2 c)に示すように道路部の地表面温度もcase00に比べて低下している。

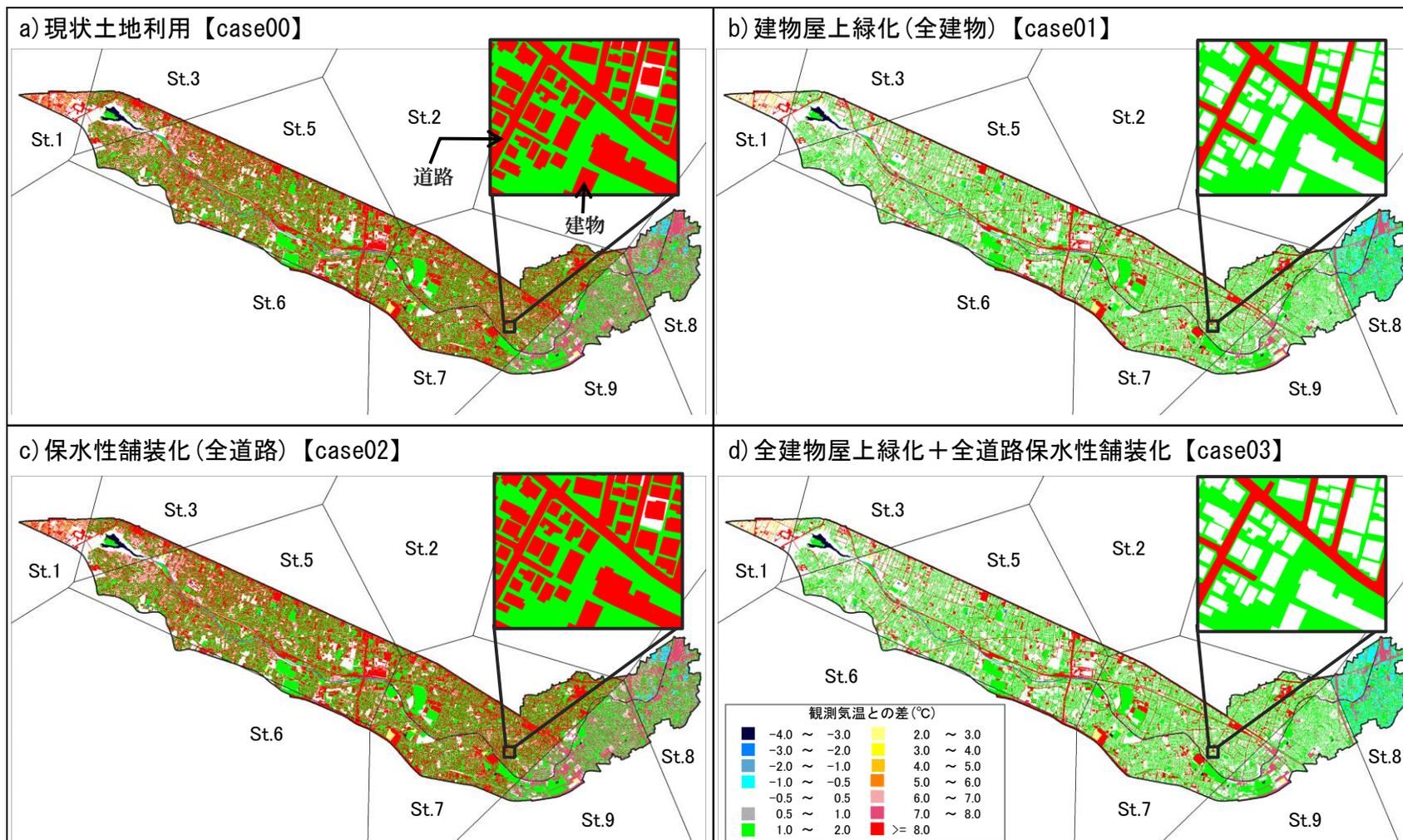


図 5-1 最高気温日(7月21日)の地表面地物要素毎の地表面温度と観測気温の差

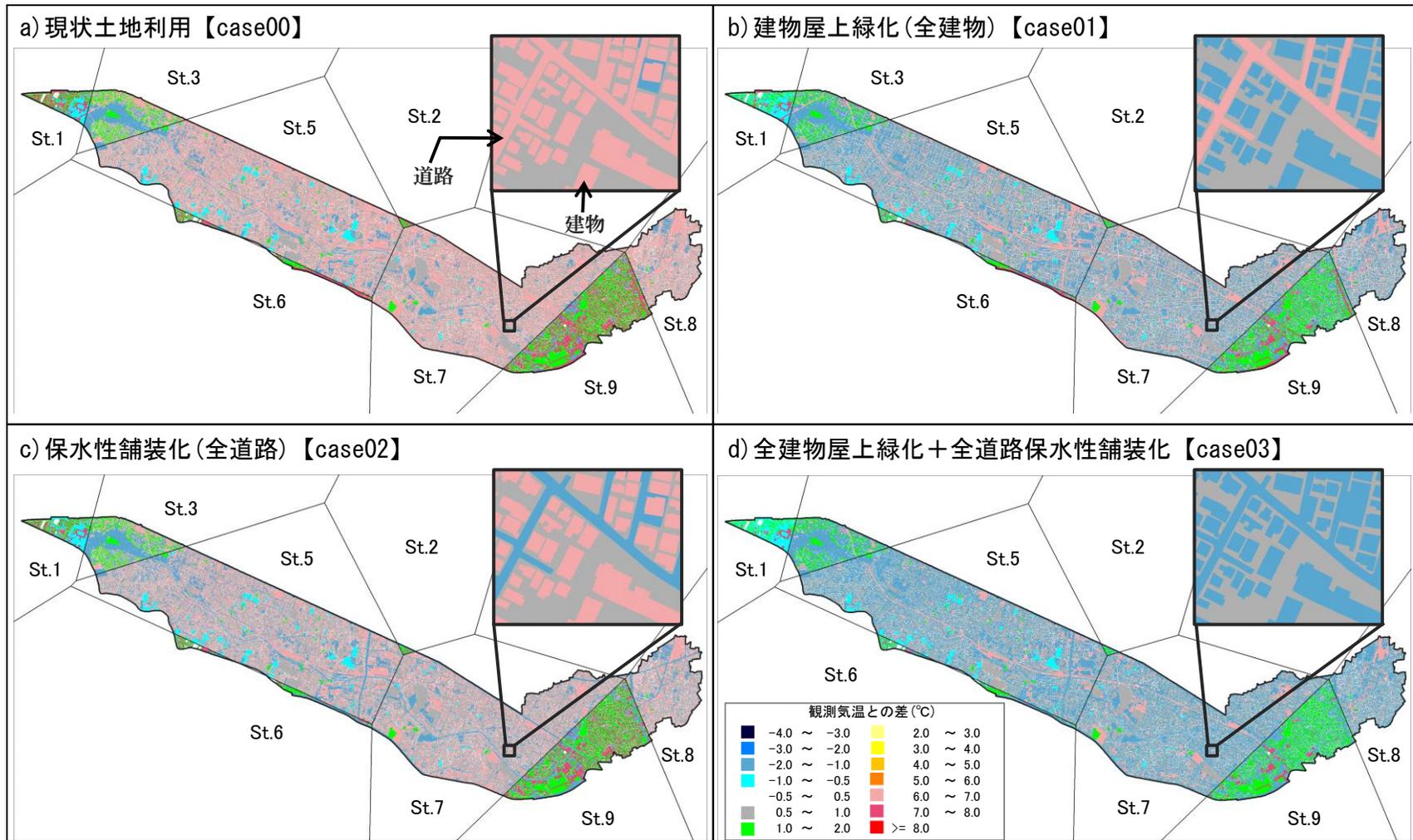


図 5-2 蒸発散量最大日(7月1日)の地表面地物要素毎の地表面温度と観測気温の差

表 5-2 に最高気温である 7 月 21 日と蒸発散量が最大となる 7 月 1 日の流域平均地表面温度および年平均の流域平均地表面温度を示す。また、表中には流域内全地表面地物要素からの年間蒸発散量も併記している。なお、流域平均地表面温度は地表面地物要素毎の地表面温度と面積を用いた加重平均により算出している。表 5-2 より 7 月 21 日は case00 と case02 の流域平均地表面温度は同じであり、これよりも道路部において蒸発散量が増加していないことがわかる。しかし、蒸発散量が最大となる 7 月 1 日では case02 は case00 と比較して 1.3℃の流域平均地表面温度の低減が生じており、道路の保水性舗装化による地表面温度低減効果が表れている。これより、道路保水性舗装化による蒸発散効果は地表面の水分状態に左右され、無降雨期間が続くと地表面の水分量が減少し気温抑制効果が低減することがわかる。表 5-2 の年間総蒸発散量の case00 と case01 および case02 の比較より、屋上緑化が保水性舗装より蒸発散量が多くなり、結果として地表面温度低減効果が高いことがわかる。また、現状(case00)と case03 の比較では 7 月 1 日の地表面温度低下効果は 3.8℃、年間総蒸発散量は約 2 倍の蒸発散量となっており、年平均の流域平均地表面温度は約 1℃低下する可能性があることがわかる。

表 5-2 流域平均地表面温度(日および年平均)と年間総蒸発散量

項目	月日	現状 (case00)	屋上緑化 (case01)	保水性舗装 (case02)	屋上緑化+ 保水性舗装 (case03)	現状(case00)と case03の差	備考
日平均地表面 温度(℃)	7月1日	30.7	28.2	29.4	26.9	-3.8	蒸発散量最高時
	7月21日	37.8	35.4	37.8	35.4	-2.4	気温最高時
7月平均地表面温度(℃)		33.6	32.0	33.1	31.5	-2.0	
年平均地表面温度(℃)		17.9	17.2	17.6	16.9	-1.0	
年間総蒸発散量(m ³)		2,957,272	4,775,409	3,871,106	5,689,243	2,731,971	

5-4 結語

本章では TET モデルを活用し、神田川上流域においてヒートアイランド緩和策の複数の想定シナリオ（屋上緑化、保水性舗装化）に対し 2004 年 1 年間の地表面地物要素毎の潜熱、顕熱、蒸発散量、地表面温度および流域平均地表面温度を推定した。その結果、地表面地物要素の土地利用の改変により個別地物および流域全体の地表面温度の低減を表現可能であることが表現でき、改変を行わない場合との相対比較が評価できることを確認した。具体的には、建物の屋上緑化対策が道路の保水性舗装化より蒸発散量の増加および地表面温度の低減効果が大きく、年間蒸発散量では保水性舗装化が現状の 1.3 倍に対し屋上緑化対策では 1.6 倍となり、年平均地表面温度では保水性舗装化が現状の -0.3°C に対し屋上緑化対策では -0.7°C となることを示した。また、ヒートアイランド緩和策の影響評価においては、土壌水分の状態が蒸発散量に大きく影響し、気温低減効果が異なるという特性を把握した。

本研究では最大のヒートアイランド対策効果を把握するため、全建物および全道路に対策を実施したシナリオを想定したが、今後は建物形状や道路幅員等の条件を踏まえ、現実的に実行可能なシナリオにもとづくヒートアイランド対策効果を検討する必要がある。また、入力条件として LANDSAT-TM 熱画像との検証が行われている METROS データを用いているが、ヒートアイランド緩和策による気温抑制効果についてもこれら熱画像等との比較検証がその手法を含め検討が必要である。さらに本研究では流域全体を対象とするため地表面を平面と扱っており、「屋上緑化」と「建物→緑地への改変」の両者で異なる放射特性と風の抵抗や屋上緑化に伴うエアコン使用率の減少等の効果を表現していないが、これらを表現するための流域全体の建築物立体構造等のデータ取得方法が今後の課題である。

【参考文献】

- 1) 神足洋輔, 村上和男, 伊藤一正: 気象モデルWRFを用いた関東平野における土地利用が夏期の都市気象に与える影響, 水工学論文集, 第52巻, pp.229-234, 2008.
- 2) Ashie Y., Kono T.: Urban-scale CFD analysis in support of a climate-sensitive design for the Tokyo Bay area, *International Journal of Climatology*, Vol. 31, pp.174-188, 2011.
- 3) 田村英俊, 平口博丸: 都市街区内の部分緑化による地上気温低減効果に関する数値実験, No. 804, VII-37, pp.804_51-804_63, 2005.
- 4) 株式会社ファイナルマーケット 2014. “透水性舗装T.N.ベースの特長”, <http://www.fm-tnbase.co.jp/about/index.html>. (参照:2014/09/01) .
- 5) 近藤純正: 地表面に近い大気の科学, p.143, 2000.
- 6) 5)に同じ, p.141, 2000.
- 7) 5)に同じ, p.305, 2000.

第 6 章 結 論

第6章 結 論

本研究では、まず都市流域において非常に複雑に形成された、個々の建物、駐車場、道路などの不浸透域、および公園、グラウンドなどの浸透域を正確に抽出できる地物データ GIS（地理情報システム）を用いて、従前から用いられているメッシュ土地利用区分毎の正確な浸透面積率を推定した。次いで熱収支を考慮し、地表面地物要素毎の土地利用および土壌水分量の違いを表現可能な蒸発散モデルを提案した。そして、本モデルを東京都内の実流域に適用し、地表面地物要素毎の潜熱、顕熱および蒸発散量を推定することにより本モデルの有用性を示すとともに、都市流域の地表面地物要素への種々のヒートアイランド緩和策をシミュレーション評価した。以下に、各章で得られた成果をとりまとめる。

第1章「序論」では、本研究の背景と目的を明らかにするため、都市流域の流出モデルに用いる土地利用情報と蒸発散モデルについて現状と課題を示した。この中で、都市流域を複雑に形成する建物や道路、治水施設や流出抑制施設をきめ細かくモデル化できる高度な地物データ GIS について、洪水流出解析を対象とした既往の研究を概観するとともに、高度な地物データ GIS を用いた都市流域の蒸発散モデルとその適用のワークフローを示した。

第2章「メッシュ土地利用区分の正確な浸透面積率の推定」では、都市流域の流出過程に大きな影響を与える浸透面積率の具体値を把握するため、高度な地物データ GIS を活用して、100m および 10m メッシュ土地利用区分の正確な浸透面積率の推定を行った。まず、都市流域である神田川上流域を対象として高度な地物データ GIS を活用することにより、100m メッシュ土地利用区分毎の正確な浸透面積率を推定した。その結果、各土地利用区分には多くの土地利用種別が混在し、例えば対象流域の約9割を占める建物用地区分における正確な建物面積率は約31%であることを示した。次に、10m メッシュ土地利用区分に対して、同様に全10m メッシュの正確な浸透面積率を算定し、それを基に10m メッシュ土地利用区分毎の浸透面積率を算定するとともに、各10m メッシュの浸透面積率度数分布や浸透面積率の空間分布特性について詳細に検討を行った。これら

の結果より、各土地利用区分には実際には多くの土地利用種別が混在していることを示し、今回初めてメッシュ土地利用区分毎の浸透面積率の具体値を示すことができた。

第3章「熱収支および土壌水分を考慮した蒸発散モデルの構築」では、都市流域において非常に複雑に形成された、個々の建物、駐車場、道路などの不浸透域、および公園、グラウンドなどの浸透域を正確に抽出できる地物データ GIS を用いて、地表面を浸透地物と不浸透地物に分類し、浸透特性と土壌水分量の違いを熱収支を考慮して表現可能な蒸発散モデル（TET モデル）を提案した。浸透域に対しては、地表面地物要素毎の土地利用の違いおよび土壌水分量の状態を考慮し、バルク式による熱収支式を用いて潜熱・顕熱を算定できるモデルとした。不浸透域では、窪地貯留分の水量の蒸発を表現した。本モデルにより算定された潜熱・顕熱を用いて、地表面地物要素毎の蒸発散量時系列と同時に地表面温度変化を表現可能となった。

第4章「TET モデルの神田川上流域への適用」では、TET モデルを、東京都内で密な観測値を有する METROS データを用いて神田川上流域（約 11.5km²）に適用することにより、地表面地物要素毎の蒸発散量を推定し、その妥当性を検証した。また、対象流域での気温および土地利用の違いが蒸発散量および地物表面温度の空間分布に及ぼす影響について評価した。その結果、地表面地物要素毎の潜熱、顕熱および蒸発散量を推定できることを確認し、その推定値の妥当性を評価するとともに、神田川上流域での蒸発散量および地物表面温度分布を明らかにした。このように本モデルによって土地利用毎に異なる土壌水分量を考慮し、蒸発散量および地表面温度の推定が可能であることを示し、TET モデルによりヒートアイランド緩和策シミュレーション評価を実施することとした。

第5章「ヒートアイランド緩和策に対するシミュレーション評価」では、TET モデルを活用し、神田川上流域においてヒートアイランド緩和策の複数の想定シナリオ（屋上緑化、保水性舗装化）に対し 2004 年 1 年間の地表面地物要素毎の潜熱、顕熱、蒸発散量、地表面温度および流域平均地表面温度を推定した。その結果、地表面地物要素の土地利用の改変により個別地物および流域全体の地表面温度の低減を表現可能であることが表現でき、改変を行わない場合との相对比较が評価できることを確認した。具体には、建物の屋上緑化対策が道路の保水性舗装化より蒸発散量の増加および地表面温度の低減効果が大きく、年間蒸発散量では保水性舗装化が現状の 1.3 倍に対し屋上緑化対策では 1.6 倍となり、年平均地表面温度では保水性舗装化が現状の -0.3℃に対し屋上緑化対策では -0.7℃となることを示した。また、ヒートアイランド緩和策の影響評価においては、土壌水分の状態が蒸発散量に大きく影響し、気温低減効果が異なるという特性を把握した。

以上より、本研究で構築した蒸発散モデルの有用性を示すことができた。

このように、都市流域において非常に複雑に形成された、個々の建物、駐車場、道路などの不浸透域、および公園、グラウンドなどの浸透域を正確に抽出できる地物データ GIS（地理情報システム）を用いて、従前から用いられているメッシュ土地利用区分毎の正確な浸透面積率と提案した蒸発散モデルとその適用について、有用な知見が得られたと考える。以下では、地物データ GIS を用いた正確な浸透面積率と蒸発散モデルの特性と、今後どのように発展していくべきかについて述べる。

まず、本研究で示した高度な地物データ GIS を用いた都市流域の蒸発散モデルとその適用に関してその利点を述べる。高度な地物データ GIS を用いた蒸発散モデルでは、建物、道路、舗装地、林地、緑地、グラウンドおよび間地などの土地利用ごとの地物要素を考慮しているので、これらの地物要素に対して各種ヒートアイランド緩和策を実施した場合を容易にモデル化することができる。このため、ヒートアイランドが課題となっている都市流域において、行政部局による屋上緑化等や保水性舗装化等の新たなハード対策の影響評価をきめ細かく行うことが可能である。

一方、高度な地物データ GIS を用いた都市流域の蒸発散モデルの課題としては、本モデルでは流域全体を対象とするため地表面を平面と扱っており、「屋上緑化」と「建物→緑地への改変」の両方で異なる放射特性と風の抵抗や屋上緑化に伴うエアコン使用率の減少等の効果を表現していないが、これらを表現するための流域全体の建築物立体構造等のデータ取得方法が今後の課題である。

次に、本研究で示した高度な地物データ GIS を用いた浸透面積率に関する利点について述べる。従来用いられているグリッド型モデルにおける浸透面積率は、実際には複数の土地利用が混在しているメッシュ単位の土地利用において代表土地利用を設定し、代表土地利用に対応する浸透面積率をパラメータとして扱っているため、その誤差が大きい。高度な地物データ GIS は、グリッド型で表される土地利用情報とは異なり、実際の建物、道路等の地物形状を用いて都市流域をモデル化しているので、精度の高い土地利用情報を構築することが可能であり、この土地利用をもとに設定した浸透面積率に誤差はほぼ存在しない。そのため、この浸透面積率を用いれば、モデルの設定パラメータの一つである土地利用区分毎の浸透面積率については考慮する必要がなくなる。

一方、高度な地物データ GIS の欠点としては、現在ではこのような GIS データが存在しないため、都市流域のモデル化には多大な労力を必要とする点である。特に、高度な

地物データ GIS の構築において最も手作業を必要とするのは、街区内地物要素の作成である。今後、航空写真などを用いた地物要素判別の自動化手法の開発が望まれる。

最後に、本研究で提案した都市流域蒸発散モデルが今後どのように発展していくべきかを述べる。本研究では都市流域で構築した高度な地物データ GIS を用いて、熱収支を考慮可能で、地表面地物要素毎の土地利用および土壌水分量の違いを表現可能な蒸発散モデルを提案し、都市流域の地表面地物要素への種々のヒートアイランド緩和策をシミュレーション評価した。しかし、都市流域における熱収支モデルでは都市キャノピーモデルによる建物街区特有の熱蓄積効果（熱慣性）の考慮が必須であるが、本研究では流域単位での評価を目的としたため、その機構を表現するモデル化は行っていない。本研究で対象としている流域単位での解析において、都市キャノピーモデル構築のためには、都市建物の立体構造を表現するためのデータ取得が課題であり、今後そのデータ整備の充実が望まれる。流域全域での立体構造を組み込んだ都市キャノピーモデルを構築することで、流域全域と局所的な街区単位の両者のヒートアイランド緩和策評価が可能なモデルが構築できると考える。

謝 辭

謝 辞

本論文をとりまとめるにあたり、首都大学東京大学院都市環境科学研究科都市基盤環境学域の河村明教授には、研究の方針、遂行、成果のまとめ方にいたるまで多方面にわたり惜しみないご指導を賜りました。幾度にもわたるゼミの中で、数多くの議論をさせていただき、研究の詳細なご指導をいただくと共に、励ましのお言葉があったからこそ成し遂げることができた次第です。ここに心から深く感謝の意を表します。

首都大学東京大学院都市環境科学研究科都市基盤環境学域の横山勝英准教授、荒井康裕准教授には、本論文を審査いただくとともに暖かい激励を賜りました。先生方の適確な御助言と御指導により、本論文の内容を向上させることができました。深く感謝申し上げます。

首都大学東京大学院都市環境科学研究科都市基盤環境学域の天口英雄助教には、研究を進めるにあたり、地物データ GIS の作成の具体的なご指導をいただき、本論文のとりまとめにも数多くのご助言をいただきました。心から感謝の意を表します。

(公社) 東京都環境科学研究所からは、研究で使用した METROS データをご提供いただきとともに貴重なご助言をいただきました。また、河村研究室の田内裕人君、高塚亮丞君、菅沼大輔君とは研究をともにし、本論文をとりまとめるにあたって多大な協力を得ました。ここに感謝の意を表します。

今回、会社に在籍しながら研究活動の場を快く与えていただきました(株)建設技術研究所 兪朝夫東京本社長、西村達也東京本社次長、藤原直樹中部支社次長、天野光歩東京本社河川部部長、小滝訓一東京本社水システム部部長、荒木千博東京本社水システム部次長に心から深く感謝申し上げます。特に荒木次長には、社会人大学生の先輩として会社での至らない場面で支えていただきました。また、共に仕事をしている部員、アルバイトの方々にも多くのご支援と励ましをいただきました。社会人大学生として研究を進めることができたのも、多くの方々からの暖かいご支援とご協力によるものであります。ここに深く感謝の意を表します。