

# 鎌倉市滑川流域における土地利用と 雨水流出抑制機能に関する基礎的研究

板村東磨\*・福岡孝則\*\*†

(令和5年5月18日受付/令和5年9月15日受理)

**要約:** 鎌倉市では、頻発する自然災害の対策としてグリーンインフラ (GI) に注目が集まっており、河川を単位とした緑地の把握が進められている<sup>1)</sup>。近年では豪雨の回数も増加傾向にあり、甚大な被害が発生することを想定した流域スケールでの包括的な対策が必要とされている<sup>2)</sup>。本研究は、流域の視点から土地利用と雨水流出抑制機能の関係を分析し、鎌倉市滑川流域における GI 実装に資する基礎的な知見を明らかにすることを目的とする。研究の方法としては、ArcGIS を用いて流域、流向の分析を行い、雨水流出量は、土地利用現況図による土地利用区分 (以降、土地利用) および踏査、航空写真等を用いて作成した土地被覆調査図による土地被覆区分 (以降、土地被覆) に対応した流出係数を用いた合理式によって算出した。本研究では、鎌倉特有の谷戸地形に着目し流域スケールで分析するため、詳細分析は谷戸最奥部に位置する寺社を研究対象地とし、立地・歴史・地形・湧水等の観点から瑞泉寺、妙本寺、海蔵寺の3つの寺院の位置する谷戸を含む小流域を詳細対象地とした。滑川流域全体である、10 km<sup>2</sup> の大きなスケールから谷戸の小さいスケールである 0.05 km<sup>2</sup> の小流域までのマルチスケールな研究であり、鎌倉の谷戸と雨水流出の特徴の解明を目指す点が本研究の特徴である。本研究では以下の3点が明らかとなった。①単位面積当たりの雨水流出量 (m<sup>3</sup>/s)/km<sup>2</sup>) は谷戸の最奥部にかけて減少傾向にあること、②谷戸最奥部の小流域において文教厚生用地 (社寺境内を含む) の占める割合は大きく、社寺地が雨水流出量に大きな影響を与えていること、③雨水流出量を算出する際に土地被覆と土地利用のどちらを用いるかはスケールと解像度に応じて使い分ける必要があることが本研究から明らかとなった。以上から、小流域内に立地する谷戸最奥部の社寺地は雨水流出量の調整という観点から減災に寄与する可能性があることが明らかになった。

**キーワード:** グリーンインフラ, 小流域, 谷戸, 雨水流出, 土地利用

## 1. 研究の背景と目的

近年の地球温暖化や異常気象に起因する洪水や土砂崩れなど災害の頻発の原因のひとつに都市開発等による水循環の喪失などがあげられる<sup>3)</sup>。災害対策として、自然を活かした社会基盤整備としてグリーンインフラ (Green Infrastructure, 以下 GI) への期待が高まっている。

鎌倉市は1996年に「鎌倉市緑の基本計画」を策定し、積極的に緑の保全創出を展開してきた。現在の緑の基本計画は2011年9月に3度目の改定が行われたものである。同市では、歴史的風土保存区域・風致地区の指定により鎌倉の歴史的背景を活かした環境対策を行うとともに、河川を単位とした土地利用や緑地の把握などが進められている<sup>1)</sup>。

日本全国では、集中豪雨や異常気象により都市部の河川における洪水や山林の土砂崩れの被害が増加傾向にあり、2019年台風19号では東日本を中心に20都県において952件もの土砂災害が発生している。この記録はひとつの台風としては最大であり観測史上初のことである<sup>4)</sup>。さらに、

降雨量についても日本全国を通して大雨や短時間強雨の回数が増加している。日降雨量が200 mm以上となる年間の日数を「1901年から1930年」と「1990年から2019年」で比較すると、直近の30年間は約1.7倍の日数となっており、降雨量は長期的に増加する傾向にある<sup>4,5)</sup>。

本研究の対象地である鎌倉市でも水災害が起きており、近年では4回ほど洪水が発生している<sup>6)</sup>。1990年には1429 km<sup>2</sup>の面積に浸水被害が発生しており、床上浸水167戸、床下浸水539戸であった。また、1993年は浸水面積が0.056 km<sup>2</sup>、床上浸水2戸、床下浸水16戸の被害が出ている。直近では、2004年10月10日に台風22号により床上93戸、床下229戸の被害が出ている。同年の10月20日に台風23号では床上10戸、床下3戸の被害が出ている<sup>7)</sup>。

鎌倉市中心部を流れる滑川は暴れ川とも呼ばれており、洪水による水害が古来より危惧されてきた。滑川流域では、土砂崩れ防止対策として斜面地でのコンクリート擁壁化が進むが、土砂災害リスクの低減が達成される一方で、従来斜面地に浸透していた雨水の流出が水害につながる可能性

\* 東京農業大学大学院地域環境科学研究科造園学専攻

\*\* 東京農業大学地域環境科学部造園科学科

† Corresponding author (E-mail: tf206471@nodai.ac.jp)

をもつ。豪雨の回数も増加傾向にあり、近年氾濫実績のない同流域においても、甚大な被害が発生することを想定した流域スケールでの包括的な対策が必要とされている<sup>2,8)</sup>。

横浜市の河川を対象にした片桐ら(2007)によるシナリオ導入による緑地環境の評価<sup>2)</sup>、横浜市帷子川においては横田ら(2019)が地形と土地利用に着目し緑地の流出抑制について言及しており、流域単位での緑地や環境負荷を把握した研究が進められている<sup>9)</sup>。滑川流域については、山下ら(2005)が小流域を単位とした緑地や建蔽地の比率から、緑地保全計画について評価する研究を行っており、小流域を単位とした緑地の分布に関する研究は行われている<sup>10)</sup>。また鎌倉の谷戸については、寺院境内の景観構成について研究した高橋ら(2005)は鎌倉の文化である寺院に着目し、谷戸と寺院の景観に関して論じている<sup>11)</sup>。先行研究<sup>2,9-11)</sup>において小流域単位での雨水流出に関する研究は行われているが、地域の文化資源や地形に着目し小流域における雨水流出抑制を分析している研究は見られない。

鎌倉市内の谷戸地形が持つ、奥に深く地形の分岐が多いという特徴を踏まえ、鎌倉の地形的特性に則った谷戸の雨水流出抑制能力、GI機能を把握するうえで、谷戸のスケールの雨水流出量に関する数値データが不足しており、スケール別に谷戸のもつ潜在能力を数値化することが鎌倉市においてGI実装を進めるうえで必要な知見のひとつであると考える。

そのため本研究では、鎌倉市滑川流域全域、5つの支流域、さらに3つのスケールの敷地を対象としたマルチスケールの小流域を対象に、小流域内に立地する谷戸地形において、土地利用と雨水流出抑制機能の関係を分析し、鎌倉におけるGI実装に資する基礎的な知見を明らかにすることを目的とする。

## 2. 研究の方法

### (1) 研究対象地

本研究は、神奈川県鎌倉市を流れる二級河川の滑川流域

を対象とする。滑川の全長は6.3km、源流の十二支所の朝比奈峠付近から河口の由比ガ浜までのすべての流域が鎌倉市内に含まれている。河川管理は鎌倉市小町三丁目付近より河口部は鎌倉市、それより上流部は神奈川県と管理が上流部と下流部で分かれた河川となっている。源流付近の地形は特徴的であり、鎌倉七口のひとつである朝比奈切通が存在しており、切通しの壁面からは水が湧出しているなど湧水が豊富な場所に源流域が立地している<sup>12,13)</sup>。

### (2) 研究の手順

鎌倉市滑川流域における土地利用と雨水流出抑制機能の評価に際し、鎌倉市全域における流域の特徴を把握した上で、特に鎌倉の特徴である谷戸地形を考慮し、マルチスケールでの分析を実施した(図1)。

まず滑川流域全体の雨水流出量は土地利用現況図を用いて解析を行ったうえで、滑川の支流域を抽出した。支流域の雨水流出量は土地利用現況図をもとに解析を行うことに適した支流域を選出し、谷戸の流出抑制機能の詳細な解析を行うため詳細な解析地を選出し、その支流域内でより細かい一次小流域から三次小流域を設定し、詳細な解析を行った。なお谷戸内の土地利用現況図よりも詳細なデータが必要な箇所は土地被覆調査図を作成し解析を行った(以降、土地利用現況図および土地被覆図による土地区分をそれぞれ「土地利用」と「土地被覆」と呼ぶ)。

対象地の選択にあたっては鎌倉の特徴的な地形である谷戸を筆頭に土壌、寺社についても考慮して検討を行った。

本研究の新規性は、滑川全域→支流域→三次小流域→二次小流域→一次小流域と5つのスケールに分けて解析を行っている点であり、スケール毎の土地利用と雨水流出量の関係を明らかにした点である(図1)。

### (3) 支流域・小流域・谷戸の定義

研究対象である鎌倉市は、谷戸地形が市街地までせり出し、複雑な谷戸地形の中で街が形成されたことが特徴的で

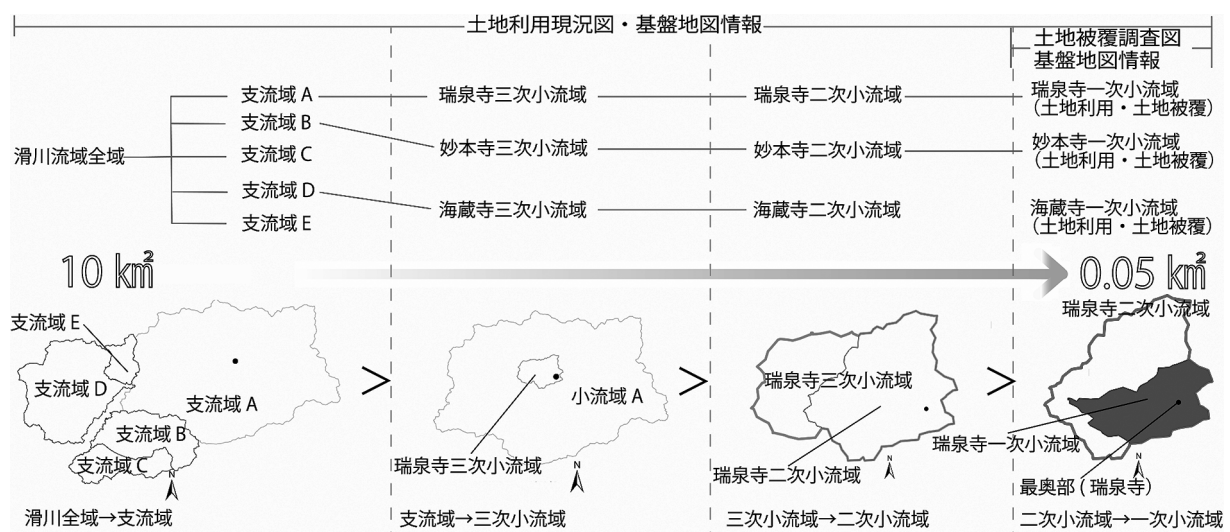


図1 本研究の調査スケール



あるため、谷戸地形を把握した上で、GI研究に適切な集水域のスケールの設定を行った。

本研究においては、山脈の延長方向に平行する谷地形の縦谷を谷戸と定義した<sup>3,14)</sup>。

集水域の抽出は5mメッシュの標高データ (DEMデータ: Digital Elevation Model)<sup>15)</sup> をもとに Esri 社の ArcGIS Pro 2.5 (以降, GISと呼ぶ) の Spatial Analysis ツールの水文解析プログラムを用いた。

片桐ら (2004)<sup>16)</sup> の研究を参考に、0.05 km<sup>2</sup> での集水域を持つ水路網から形成される集水範囲を小流域抽出の閾値とした (本論文では 0.05 km<sup>2</sup> での集水域のスケールは一次小流域のスケールのことを指しており、瑞泉寺一次小流域・妙本寺一次小流域・海蔵寺一次小流域のことである)。小流域スケールは、0.05 km<sup>2</sup> での集水域 (一次小流域のスケール) を基準としており、一次小流域スケールの集水域が2もしくは3つ合わさった中型の集水域を二次小流域とし、一次小流域スケールの集水域が複数合わさり、谷戸全体を包括する大型の小流域を三次小流域と設定した。また、滑川の支流を包括し複数の谷戸を有する大規模な流域を支流流域と設定した (滑川全域: 10 km<sup>2</sup> から一次小流域: 0.05 km<sup>2</sup> の5つのスケールを変えて分析を行う、マルチスケールの研究となっている)。

小流域の選定条件は以下の通りである。

- ① 谷戸は鎌倉市の特徴であり、雨水流出抑制に大きく関係していると推察されるため、谷戸地形であることを条件とした。
- ② 雨水は地下に浸透し、湧水や井戸水として地上に再度出現する。湧水がある箇所は水の要所として古来より寺社などを配置して鎮守している可能性が多くある。そのような地を調べることで谷戸本来の潜在能力を把握できると考えられるため、井戸、湧水を有する流域を対象とした。
- ③ 古来より建立している寺社仏閣は周囲を聖域として古来の状態を保ち、自然環境が保全されている敷地が選定されたと推察されるため、鎌倉時代以前から建立された寺社は土地の地理的な特性に基づいて敷地が選定されたと推察されるため流域を設定した<sup>17)</sup>。

鎌倉の寺社は杉本寺が731年に建立されて以来現在に至るまで栄枯盛衰を繰り返してきたが、現在は56箇所存在している<sup>17)</sup> (表1, 図2)。上記の選定項目の鎌倉時代以前の寺社を対象にすると31カ所の寺社仏閣が該当した (表1)。

上述の31箇所のうち湧水、井戸を有する寺社は以下の7つであった (【 】は保有する水辺空間を示す)。

・鶴岡八幡宮【池】・佐助稲荷神社【湧水】・銭洗弁財天宇賀福神社【湧水・池】・浄明寺【横井戸】・海蔵寺【井戸・池】・妙本寺【横井戸、井戸、池】・瑞泉寺【池】。上記の7箇所を小流域ごとに分けて整理すると、支流流域Aには瑞泉寺【池】、支流流域Bには妙本寺【横井戸、井戸、池】、支流流域Cには該当するものがないことが明らかになった。支流流域Dにおいては、佐助稲荷神社【湧水】・銭洗弁財天宇賀福神社【湧水・池】・海蔵寺【井戸・池】の3ヶ所が立地しており、支流流域Eは鶴岡八幡宮【池】が立地しているこ

表1 鎌倉における寺社仏閣の建立年と位置する支流流域<sup>14)</sup>

NO.	名称	建立年代	支流流域
1	杉本寺	奈良時代 (1218)	A
2	巽神社	平安時代 (801)	D
3	鶴岡八幡宮	平安時代 (1063)	E
4	八雲神社	平安時代 (1081)	A
5	補陀洛寺	平安時代 (1181)	C
6	荏柄天神社	平安時代 (1104)	A
7	佐助稲荷神社	平安時代 (1185)	D
8	銭洗弁財天宇賀福神社	平安時代 (1185)	D
9	大町八雲神社	平安時代 (1081推定)	B
10	熊野神社	平安時代 (1188推定)	A
11	十二所神社	平安時代以前	A
12	浄妙寺 (極楽寺)	鎌倉時代 (1188)	A
13	蛭子神社	鎌倉時代 (1192)	D
14	随我山来迎寺	鎌倉時代 (1194)	C
15	壽福寺	鎌倉時代 (1200)	D
16	覚園寺	鎌倉時代 (1218)	A
17	安養院	鎌倉時代 (1225)	B
18	明王院	鎌倉時代 (1235)	A
19	浄光明寺	鎌倉時代 (1251)	D
20	安國論寺	鎌倉時代 (1253)	B
21	海蔵寺	鎌倉時代 (1253)	D
22	妙本寺	鎌倉時代 (1260)	B
23	光触寺	鎌倉時代 (1278)	A
24	圓龍山向福寺	鎌倉時代 (1282)	C
25	満光山来迎寺	鎌倉時代 (1293)	A
26	上行寺	鎌倉時代 (1313)	B
27	大巧寺	鎌倉時代 (1320)	D
28	実相寺	鎌倉時代 (1323)	C
29	長勝寺	鎌倉時代 (1323)	C
30	瑞泉寺	鎌倉時代 (1327)	A
31	歸命山延命寺	鎌倉時代 (1332)	B
32	別願寺	鎌倉時代 (1287推定)	B
33	八坂大神	鎌倉時代以前	D
34	白旗神社	鎌倉時代以前	A
35	報国寺	室町時代 (1334)	A
36	九品寺	室町時代 (1336)	C
37	妙法寺	室町時代 (1357)	B
38	本興寺	室町時代 (1382)	B
39	大宝寺	室町時代 (1399)	B
40	本覚寺	室町時代 (1436)	D
41	妙隆寺	室町時代 (1437)	D
42	宝戒寺	室町時代 (1438)	A
43	松光山啓運寺	室町時代 (1483)	C
44	常栄寺	江戸時代 (1606)	B
45	英勝寺	江戸時代 (1636)	D
46	妙伝寺	江戸時代 (1637)	D
47	海潮山妙長寺	江戸時代 (1681)	C
48	薬王寺	江戸時代 (1661)	D
49	教恩寺	江戸時代 (1678)	B
50	葛原岡神社	明治時代 (1869)	D
51	熊野神社	明治時代 (1888)	A
52	五所神社	明治時代 (1889)	C
53	鎌倉宮	明治時代に移築	A
54	妙法寺	大正時代 (1916)	B
55	松久寺	昭和 (1966) 移築	A
56	護国寺	昭和 (1969)	D
		奈良時代	A
		鎌倉時代	B
		室町時代	C
		江戸時代	D

注: 表中の網掛けは時代・流域の違いを示す。

とが明らかになった<sup>17)</sup> (図2)。

支流域Cは谷戸地形がほぼ見られず、地質が海由来の堆積物<sup>17)</sup>で構成されており、他の滑川流域内の対象地と比べ滑川よりも海由来の影響が大きいことが推察されるため、本研究では対象外とした(図2)。

支流域D内に立地する社寺は3箇所であったが、そのうち海蔵寺は鎌倉市緑の基本計画においても緑の拠点として示されているため対象として選定した<sup>1,21)</sup>。

支流域Eにおいては、鶴岡八幡宮が流域内の面積の多くを占めており他の支流域・小流域との比較は不適であることから、本研究の対象外とした。

以上より、滑川流域内の支流域Aにおいては瑞泉寺の位置する谷戸の小流域、支流域Bにおいては妙本寺の位置する谷戸の小流域、支流域Dにおいては海蔵寺の位置する谷戸の小流域3ヶ所を選定し、分析対象地として設定した。

#### (4) 土地利用・土地被覆の作成と雨水流出量の算出

土地利用を把握するために「神奈川県都市計画基礎調査土地利用現況図(平成27年度)」を使用した<sup>19,20)</sup>。

雨水流出量は合理式を採用し、下記のように降雨強度と流出係数と対象エリアの面積の積で算出している。

$$Q = \frac{1}{3.6} ICA$$

ただし、 $Q$ はピーク流量( $m^3/s$ )、 $C$ は流出係数、 $A$ は集水域面積( $km^2$ )、 $I$ は到達時間における降雨強度( $mm/h$ )であり、ここでは次の式から算出した。

$$I = \frac{5600}{t+38}$$

また、 $t$ は洪水到達時間(h)である。そして、これらの式から算出されるピーク流量を雨水流出量として扱った<sup>21)</sup>。

対象の集水面積に関しては、2(3)に示した方法に従って算出した<sup>19)</sup>。

降雨強度は鎌倉市下水道施設整備概要を使用した<sup>25)</sup>。

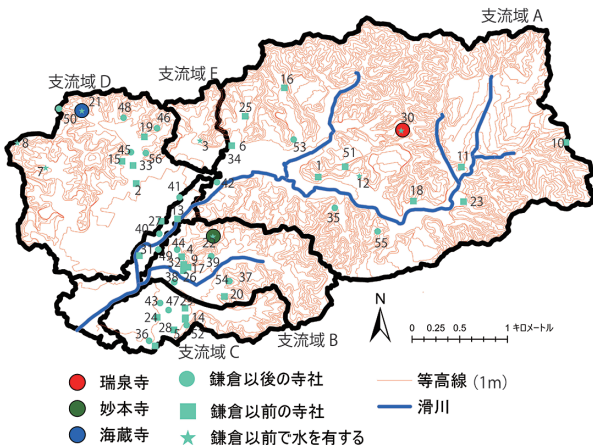


図2 滑川流域の地質図と寺社の分布<sup>18)</sup>  
注：図中の番号は表1の番号と対応している

鎌倉市土地利用現況図のデータに用いられている15項目のそれぞれの流出係数については、『特定都市河川浸水被害対策』<sup>22)</sup>(鎌倉市下水道課にヒアリング調査をしたところ雨水流出抑制の元となる雨水流出係数の記載が確認できなかったため、国土交通省特定都市河川浸水被害対策法に則り、流出係数を使用している。)をもとに本研究における数値を定義した(表2)<sup>19-22)</sup>。

土地利用では寺院の保有する庭園、墓地、駐車場などは文教・厚生用地、もしくは住宅用地に分類されており正確な数値を算出できない。鎌倉の谷戸の機能の解析を行う際に文教・厚生用地の占める割合が大きく、正確な値を算出することが困難だと想定されるため、土地被覆による解析を実施した。

土地被覆の10項目の流出係数も土地利用の流出係数の設定方法と同様に『特定都市河川浸水被害対策』<sup>22)</sup>を基に設定した(土地被覆調査図は著者が現地調査により作成した。図3の内容・調査方法を基準とし、分類している。)(表2, 3)。

### 3. 支流域スケールでの解析

#### (1) 支流域の把握

滑川流域は、流出量をもとに5つの支流域に区分できる。源流部を支流域Aと設定し、時計回りに支流域A、支流域B、支流域C、支流域D、支流域Eと設定した。

小流域ごとの面積は、支流域A:6.328 $km^2$ 、支流域B:1.147 $km^2$ 、支流域C:0.674 $km^2$ 、支流域D:2.150 $km^2$ 、支流域E:0.314 $km^2$ 、滑川全域は10.614 $km^2$ である。

滑川流域全域では山林が一番多く5.252 $km^2$ であり、49.5%を占めている。続いて、住宅用地の23.2%、商業用地の8.9%と続いている。一方で農地は約0%とほとんど見られなかった(図3)。

表2 土地利用<sup>26)</sup>と土地被覆による土地区分と流出係数

土地利用 <sup>25-27)</sup>	流出係数	土地被覆	流出係数
住宅用地	0.90	詳細は表3を参照	
集合住宅用地	0.90	山林	0.30
道	0.90	庭	0.40
山林	0.30	荒地	0.20
河川地及び湖沼	1.00	池	1.00
荒地、海浜、河川敷	0.20	非透水性舗装	0.90
商業用地	0.90	自然舗装	0.50
宿泊娯楽用施設	0.90	(石張など)	
業務施設用地	0.90	自然舗装	0.40
公共用地	0.90	(砂利など)	
文教・厚生地	0.90	透水性舗装の駐車場	0.50
運輸施設用地	0.90	(強い転圧された土)	
工業用地	0.90	墓地	0.80
供給施設用地	0.90	建物	0.95
農地	0.20		
建築物	0.95		



表 3 土地被覆による土地区分の内容と調査方法

土地被覆	内容
山林	鎌倉の森林はほとんど斜面地を有するためここに含まれる
庭	人工的に造成され植栽が施されているところ
荒地	空き家跡地など明らかにあれている土地
池	水辺地、小川などを含む
非透水性舗装	コンクリート、アスファルト舗装などの非透水性舗装の舗装
自然舗装(石張など)	石張り、岩盤など透水性も含んでいるが流量の多い自然舗装
自然舗装(砂利など)	砂利、踏み固められた土などの転圧が少し行われた舗装
透水性舗装の駐車場	砂利もしくはダスト舗装などの強い転圧が行われた舗装
墓地	お墓が集合している土地
建物	建物が建設されているところ

調査方法	土地被覆
現地視察。土地利用現況データの「山林」フィーチャ。Google earth航空写真、ストリートビューより判読。	山林
現地視察。土地利用現況データの「住宅用地」などすべてのフィーチャを観察しながら、Google earth航空写真、ストリートビューより判読。	庭
現地視察。土地利用現況データの「住宅用地」などすべてのフィーチャを観察しながら、Google earth航空写真、ストリートビューより判読。	荒地
現地視察。土地利用現況データの「池」フィーチャ現地視察。Google earth航空写真、ストリートビューより判読。	池
現地視察。土地利用現況データの「道」などすべてのフィーチャを観察しながら、Google earth航空写真、ストリートビューより判読。	非透水性舗装
現地視察。土地利用現況データの「道」などすべてのフィーチャを観察しながら、Google earth航空写真、ストリートビューより判読。	自然舗装(石張など)
現地視察。土地利用現況データの「道」などすべてのフィーチャを観察しながら、Google earth航空写真、ストリートビューより判読。	自然舗装(砂利など)
現地視察。土地利用現況データの「道」などすべてのフィーチャを観察しながら、Google earth航空写真、ストリートビューより判読。	透水性舗装の駐車場
現地視察。土地利用現況データの「文教・厚生用地」フィーチャ現地視察。Google earth航空写真、ストリートビューより判読。	墓地
現地視察。基盤地図情報基本項目の「建物」フィーチャ。Google earth航空写真、ストリートビューより判読。	建物

#### 4. 小流域スケールでの解析

##### (1) 3 スケールの小流域の設定

本研究の最小スケールである一次小流域の面積は海蔵寺一次小流域が最小で  $0.038 \text{ km}^2$ 、瑞泉寺一次小流域が最大で  $0.07 \text{ km}^2$  であり、ひとつの谷戸を構成している大きなスケールの小流域では、最小で妙本寺三次小流域  $0.115 \text{ km}^2$ 、最大で瑞泉寺三次小流域  $0.265 \text{ km}^2$  であった (図 4-5, 表 4)。

支流域 A の瑞泉寺が立地する谷戸において、最奥部の瑞泉寺一次小流域の面積は  $0.071 \text{ km}^2$  であった。瑞泉寺二次小流域の面積は  $0.179 \text{ km}^2$ 、瑞泉寺三次小流域は  $0.265 \text{ km}^2$  であった。瑞泉寺の谷戸は奥に長いだけでなく奥で分岐をして横に広がっているため、瑞泉寺二次小流域、瑞泉寺三次小流域と面積が増大する傾向が見られた (図 4-5, 表 4)。

支流域 B の妙本寺一次小流域の面積は  $0.059 \text{ km}^2$ 、妙本寺二次小流域は  $0.077 \text{ km}^2$ 、妙本寺三次小流域は  $0.115 \text{ km}^2$  であった。支流域 B は谷戸地形が少ないため、谷戸が浅いことから、妙本寺一次小流域から妙本寺三次小流域までの面積の変化が少ないと推察される (図 4-5, 表 4)。

支流域 D の海蔵寺最奥部の海蔵寺一次小流域の面積は  $0.040 \text{ km}^2$ 、海蔵寺二次小流域は  $0.079 \text{ km}^2$ 、海蔵寺三次小流域は  $0.204 \text{ km}^2$  であった。海蔵寺周辺は谷戸が多く湧水も多いことより集水域が細かくなっており一次小流域の面積は小さくなっている (図 4-5, 表 4)。

##### (2) 小流域スケールでの土地利用と雨水流出量の比較

小流域スケールにおける土地利用と雨水流出量の比較分析を実施した。瑞泉寺を中心とした支流域 A の瑞泉寺一次小流域の雨水流出量は  $7.582 \text{ (m}^3/\text{s)}/\text{km}^2$ 、瑞泉寺二次小流域は、瑞泉寺を含む谷戸の小流域の中で一番雨水流出量が少なく  $6.801 \text{ (m}^3/\text{s)}/\text{km}^2$ 、瑞泉寺三次小流域は  $7.354 \text{ (m}^3/\text{s)}/\text{km}^2$  という結果となった (図 5, 表 4)。

瑞泉寺三次小流域は山林が多くの面積を占めており  $72.6\%$ 、続いて面積が大きいのは  $14.4\%$  の住宅用地、 $4.1\%$  の文教・厚生用地である。瑞泉寺二次小流域においては瑞泉寺三次小流域と同様に山林面積が大きく  $78.0\%$  であり、続いて  $9.3\%$  の住宅用地、 $4.9\%$  の文教・厚生用地であった。瑞泉寺一次小流域も同様に山林の面積が最も多く  $70.5\%$  である。続いて、 $12.2\%$  の文教・厚生用地、 $8.3\%$  の住宅用地であった (図 5, 表 4)。

妙本寺の立地する支流域 B 中の比較では、妙本寺一次小流域は最も雨水流出量が少なく  $8.789 \text{ (m}^3/\text{s)}/\text{km}^2$ 、妙本寺二次小流域では、 $9.137 \text{ (m}^3/\text{s)}/\text{km}^2$ 、妙本寺三次小流域は  $10.905 \text{ (m}^3/\text{s)}/\text{km}^2$  であった (図 6)。支流域 B では、妙本寺三次小流域から谷戸の最奥部の一次小流域へ段階的に雨水流出量が減少していることが明らかになった。

妙本寺三次小流域では山林が多くの面積を占めており、 $38.0\%$  である。続いて、 $22.8\%$  の住宅用地、 $16.6\%$  の文教・厚生用地であった (図 5, 表 4)。

妙本寺二次小流域も同様に山林が多くの面積を占めており  $55.0\%$ 、続いて  $20.9\%$  の文教・厚生用地、 $11.8\%$  の住宅用地である (図 5, 表 4)。

妙本寺一次小流域も同様に山林の占める面積が最も多く  $58.6\%$  である。続いて、 $26.2\%$  の文教・厚生用地、 $5.2\%$  の住宅用地であった (図 5, 表 4)。

海蔵寺を中心とした支流域 D の中で 3 つの小流域の比較を行った。海蔵寺一次小流域は、最も雨水流出量が少なく  $8.992 \text{ (m}^3/\text{s)}/\text{km}^2$  であった。海蔵寺二次小流域では、 $9.137 \text{ (m}^3/\text{s)}/\text{km}^2$ 、海蔵寺三次小流域は  $9.556 \text{ (m}^3/\text{s)}/\text{km}^2$  である (図 6)。単位面積当たりの雨水流出量の変動は支流域 B と同様の傾向が出ており、海蔵寺三次小流域から海蔵寺一次小流域の谷戸の最奥部になるにつれて雨水流出量が減少していることが明らかになった。

海蔵寺三次小流域の雨水流出量は住宅用地が全体の

51.9%を占めており、次に山林の25.9%、道路の13.2%であった。海蔵寺二次小流域の雨水流出量は住宅用地が全体の36.9%を占めている。続いて、山林の34.2%、道路の13.3%であった。海蔵寺一次小流域は山林の面積が一番多く57.0%有している。次に多いのは17.7%の住宅用地、14.5%の道であった(図5)。

以上に基づき、瑞泉寺、妙本寺、海蔵寺の谷戸において滑川流域と小流域と谷戸スケールの流域3カ所5スケールで比較した。分析結果より、支流域Bと支流域Dは三次小流域から一次小流域、つまり谷戸の最奥部に向けて段階的に単位面積当たりの雨水流出量が減少していることが明らかになった(図6)。一方、支流域Aは支流域B・支流域Dと異なる変動を示した。瑞泉寺三次小流域:7.354 (m<sup>3</sup>/s)/km<sup>2</sup>から瑞泉寺二次小流域:6.801 (m<sup>3</sup>/s)/km<sup>2</sup>になり、雨水流出量は減少するものの、瑞泉寺一次小流域:7.582 (m<sup>3</sup>/s)/km<sup>2</sup>では、わずかではあるが雨水流出量が増加していることが明らかになり最奥部に移行するほど雨水流出量が減少するという傾向以外の結果を得た(図5-6)。

瑞泉寺を含む小流域が他の小流域と異なる変動を示した

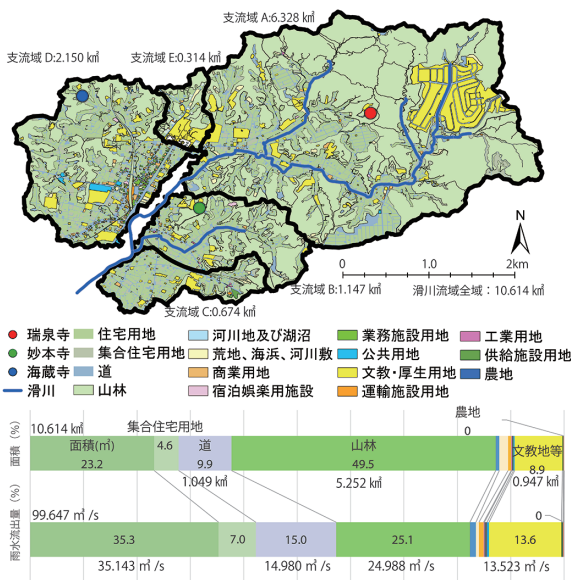


図3 滑川全域の土地利用と面積と雨水流出量

理由として、瑞泉寺一次小流域で土地利用に占める森林の面積は70.5%、瑞泉寺二次小流域では78.0%、瑞泉寺三次小流域では72.6%となっており単位面積当たりの雨水流出量は山林の割合の増減と一致する。妙本寺・海蔵寺の小流域と比較して、瑞泉寺の小流域では森林面積が多く残されており、瑞泉寺三次小流域の雨水流出量は、7.582 (m<sup>3</sup>/s)/km<sup>2</sup>の数値が出ており、妙本寺・海蔵寺の三次小流域と比べ、単位面積当たりの雨水流出量が少ないことが影響していると考えられる(図5-6)。加えて、文教・厚生用地の割合は、瑞泉寺三次小流域:4.1%と瑞泉寺二次小流域:4.9%、瑞泉寺一次小流域:12.2%となり、谷戸の最奥部ほど文教・厚生用地の占める面積の割合は増加傾向があり、瑞泉寺一次小流域の雨水流出量が23.2%と増加しているのは、文教・厚生用地に原因があると考えられる。以上から、谷戸の最奥部、瑞泉寺一次小流域に位置する寺院の土地(文教・厚生用地など)は、雨水流出量の算出に大きく影響すると推察される。

### 5. 小流域スケールの土地被覆による雨水流出量の分析

小流域スケールの谷戸最奥部、一次小流域スケールにおいて土地被覆による雨水流出量の分析を行った。瑞泉寺「瑞泉寺一次小流域(土地被覆)」は単位面積当たりの流出

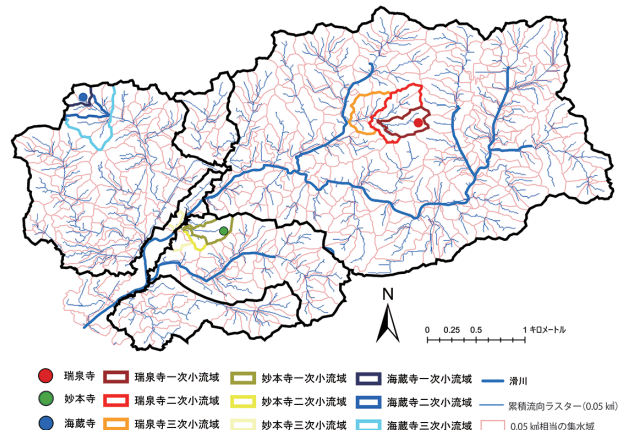


図4 支流域3カ所と3小流域スケールの位置

表4 5つのスケール3つの流域のそれぞれの雨水流出量と面積

	瑞泉寺		妙本寺		海蔵寺	
	面積 (km <sup>2</sup> )	流出量(m <sup>3</sup> /s)	面積 (km <sup>2</sup> )	流出量(m <sup>3</sup> /s)	面積 (km <sup>2</sup> )	流出量(m <sup>3</sup> /s)
滑川全域	10.614	99.647	10.614	99.647	10.614	99.647
支流域	6.328	53.440	6.328	11.322	6.328	23.545
三次小流域	0.265	1.946	0.115	1.249	0.204	1.946
二次小流域	0.179	1.216	0.077	0.699	0.079	0.685
一次小流域 (土地利用)	0.007	0.536	0.059	0.515	0.040	0.359
一次小流域 (土地被覆)	0.007	0.448	0.059	0.419	0.040	0.251



量は6.340 (m<sup>3</sup>/s)/km<sup>2</sup>である。内訳は、山林が最も多く52.2% (0.234 m<sup>3</sup>/s)、続いて建物が14.5% (0.065 m<sup>3</sup>/s)、庭の11.0% (0.049 m<sup>3</sup>/s)であった。面積は山林の面積が最も多く69.6% (0.049 km<sup>2</sup>) 有している。次に多いのは11.0% (0.007 km<sup>2</sup>) の庭である。続いて、6.1% (0.004 km<sup>2</sup>) の建

物である(図6-7)。

妙本寺「妙本寺一次小流域(土地被覆)」においては、単位面積当たりの流出量は7.154 (m<sup>3</sup>/s)/km<sup>2</sup>である。流出量の内訳は、山林が一番多く41.4% (0.173 m<sup>3</sup>/s)である。続いて、墓地が17.0% (0.071 m<sup>3</sup>/s)、次に15.4% (0.065 m<sup>3</sup>/

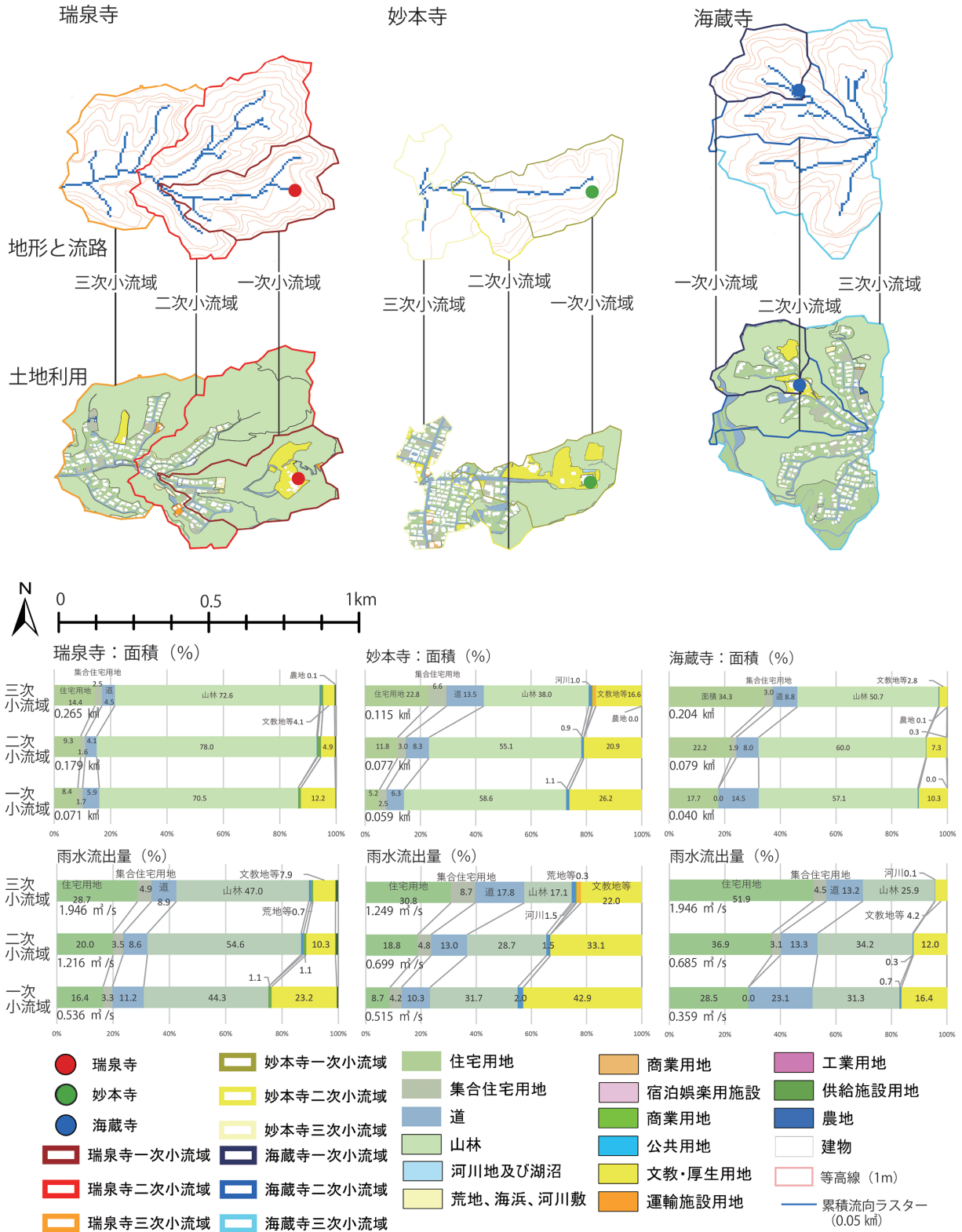


図5 小流域ごとの土地利用と雨水流出量の割合

s)の建物である。面積は山林が最も多く62.2% (0.036km<sup>2</sup>)であることが明らかになった。続いて、9.6% (0.006km<sup>2</sup>)の墓地、9.0% (0.005km<sup>2</sup>)の自然舗装(砂利)であった(図6-7)。

海蔵寺「海蔵寺一次小流域(土地被覆)」は単位面積当たりの流出量は6.282 (m<sup>3</sup>/s)/km<sup>2</sup>である。内訳は、山林が最も多く50.4% (0.126m<sup>3</sup>/s)である。続いて、庭の16.2% (0.041m<sup>3</sup>/s)、建物の16.2% (0.040m<sup>3</sup>/s)であった。面積は山林が最も多く66.5% (0.026km<sup>2</sup>)であった。続いて、16.0% (0.006km<sup>2</sup>)の庭、6.7% (0.002km<sup>2</sup>)の墓地であった(図6-7)。

次に、各一次小流域において土地利用と土地被覆の違い

による雨水流出量の比較を行った。単位面積当たりの流出量で最も大きい差が出たのは海蔵寺一次小流域(土地利用)と海蔵寺一次小流域(土地被覆)であり、0.027の差(30%減少)が生じた(図8)。土地利用と土地被覆の比較で雨水流出量の差が生まれた要因は海蔵寺の本堂裏、北西側は土地利用上は住宅用地や文教・厚生用地であるが、土地被覆でみると寺関係者の住居や庭の空間など寺院由来の非舗装や庭の面積が大きいためであると土地被覆から推察される。

加えて、土地被覆でみると海蔵寺一次小流域は庭の面積が16.6%であり、瑞泉寺一次小流域の11.0%、妙本寺一次小流域の4.3%と比べて高くなっている。これは、海蔵寺一次小流域の住宅用地の分類の特性に起因していると考えられる(図7-8)。

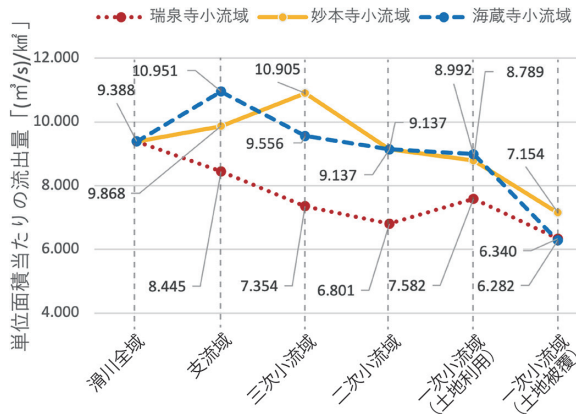


図6 支流域ごとの雨水流出量の変化

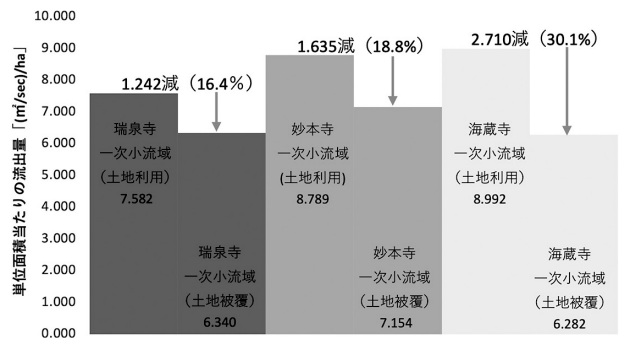


図8 土地利用と土地被覆のデータの差異

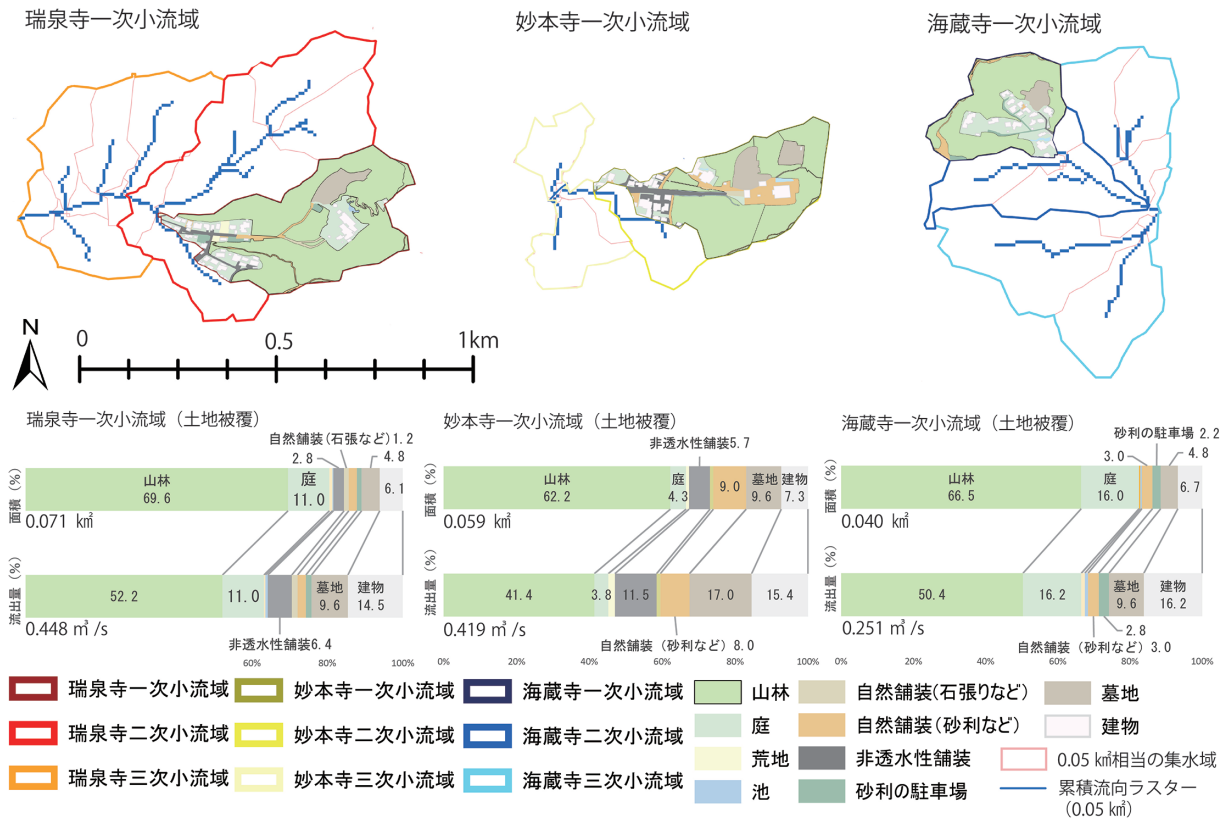


図7 小流域ごとの土地被覆・面積と雨水流出量の割合



## 6. 考 察

本研究を通して得られた鎌倉におけるGI実装に資する基礎的な知見は以下のとおりである。

①：選定した3つの流域スケールと雨水流出量の関係を明らかにした。滑川流域全域、支流域、三次小流域、二次小流域、一次小流域とスケール別の雨水流出量の変化を明らかにした(図5-6)。加えて、同じ小流域内において三次小流域から一次小流域と谷戸の最奥部(上流部)に向けて単位面積当たりの流出量はどの谷戸でも減少傾向にあることが明らかになった(図6)。この原因のひとつとして森林の面積に加えて、寺院を含む文教・厚生用地の面積割合が瑞泉寺一次小流域では12.2%、妙本寺一次小流域では26.2%、海蔵寺一次小流域では10.3%と、谷戸の最奥部は寺社が保有する土地の割合が大きいことが要因であり、寺社が雨水流出量に対して大きな影響力を持っていることが示唆される(図5)。

②：一次小流域等の小さい谷戸スケールにおける土地利用及び土地被覆と雨水流出量の関係を明らかにした。寺院が建立されている最奥部の一次小流域において、雨水流出量をみると、土地利用に基づく場合は最大で海蔵寺一次小流域：8.992 (m<sup>3</sup>/s)/km<sup>2</sup> から最小で瑞泉寺一次小流域：6.801 (m<sup>3</sup>/s)/km<sup>2</sup> と幅があったのに対し、土地被覆の場合は最大で妙本寺一次小流域(土地被覆)：7.154 (m<sup>3</sup>/s)/km<sup>2</sup> から最小で瑞泉寺一次小流域(土地被覆)と海蔵寺一次小流域(土地被覆)の6.340 (m<sup>3</sup>/s)/km<sup>2</sup> であり、近い値に集中した(図6)。特に、海蔵寺一次小流域の海蔵寺は鎌倉市緑の基本計画<sup>2)</sup>にも記載されているように水の寺とも言われ谷戸地形の最奥部に自然が多く残され鎌倉の寺院のGIモデルとなるような寺院である。瑞泉寺一次小流域においても同様に名勝に指定された庭園周辺の自然環境が保全されている<sup>2)</sup>。ふたつの保全された寺院がほとんど同じ

値であることから、谷戸地形の最奥部に寺院が立地する小流域のGI性能の基準として参考となる数値であると考えられる。

③：土地利用と土地被覆で3つの詳細対象地の一次小流域の単位面積当たりの雨水流出量を比較したところ、最小でも瑞泉寺一次小流域において16.4%の差が生じ、最大では海蔵寺一次小流域において30.1%も減少するという結果となった。最奥部の一次小流域における文教厚生用地(社寺地等)の雨水流出量の割合は、瑞泉寺一次小流域：23.2%、妙本寺一次小流域：42.9%、海蔵寺一次小流域：16.4%であり(図5)、土地利用上では文教・厚生用地となっているが、土地被覆では庭、自然舗装(砂利など)等となり、海蔵寺一次小流域では単位面積当たりの雨水流出量が最大で30.1%減少していた(図8)。これは、土地利用は多くのデータを収集し解析できるが誤差が生じやすい点、土地被覆は広域な情報を得ることは困難であるが詳細なデータを取得できるという特徴により同一の対象地であっても大幅な差異が生まれたと推察される(図8-9)。

以上より、鎌倉に特有の谷戸地形の最奥部に立地する寺院等においては、土地被覆による雨水流出量の算出が適していると考えられる。土地利用と土地被覆をした分析の特徴と課題は(図9)に整理した。

## 7. おわりに

本研究では、鎌倉市滑川流域内の3つの小流域を対象に、異なるスケールにおいて土地利用と雨水流出量および土地被覆と雨水流出量に関して基礎的な知見を得た。現状、鎌倉市滑川流域においては所管が神奈川県と鎌倉市に分かれており、流域スケールでの雨水流出抑制対策は計画的に展開されていない。その上で、本研究は小流域という単位で土地利用および土地被覆に着目することで雨水流出に関して一定の数値に基づきGIに関する基礎的な検討を行う意

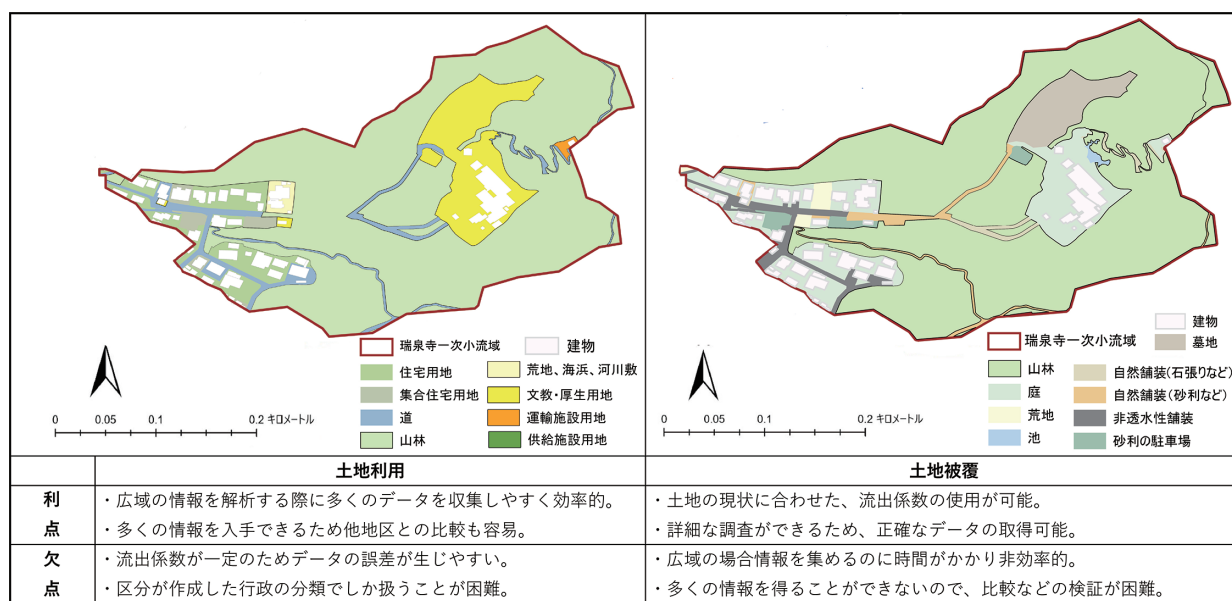


図9 土地利用と土地被覆の特徴と課題(瑞泉寺一次小流域を対象として)

義が示唆された。一方で、本研究において明らかにされたのは滑川流域内の小流域における一部に過ぎず対象域を増やして土地利用・土地被覆と雨水流出量の関係の分析を積み重ねることにより有用な知見が得られると考えられる。特に鎌倉市においては水と緑の骨組みである谷戸のもつ雨水流出抑制機能や、寺院の所有する緑地・山林のもつ機能に関する評価ができておらず、鎌倉の地域性を踏まえたGI計画を構想していくうえで、本研究で検討したような小流域単位を基準とした土地利用と雨水流出抑制機能の定量化を行うことが求められる。

本研究における手法の限界としては、現地調査や航空写真による判読など多くの時間を要する土地被覆の精査のプロセスをあげる。流域の中で土地利用での検討や土地被覆での検討がどのスケールで有効なのかは精査することができなかった。加えて、谷戸において重要な地形・傾斜などの条件に基づく雨水流出に関しての分析には至っておらず、今後の課題としたい。

鎌倉市の自然地形がもつ緑と水の性能は一律に定量化できるものではない。しかしながら、これらを持続させるためには、保全された緑地の存在価値のみならず多面的な機能を明らかにし、計画的に展開される必要がある。今後は本研究のようなGI分析手法の精査と同時に、市の政策や計画の実情を踏まえた実現性の高いGI研究が求められる。

#### 参考文献

- 1) 片桐由希子, 山下英也, 石川幹子 (2007) 小流域を基礎とした緑地計画の検討手法に関する研究. ランドスケープ研究 70 巻 5 号 : 643-646
- 2) 鎌倉市, 鎌倉市緑の基本計画, <<https://www.city.kamakura.kanagawa.jp/midori/documents/23josyou.pdf>> (最終アクセス 2023 年 7 月 25 日)
- 3) 福岡孝則, 加藤禎久 (2015) ポートランド市のグリーンインフラ適用策事例から学ぶ日本での適用策整備に向けた課題. ランドスケープ研究, 78 巻 5 号 p.777-782
- 4) 国土交通省, 国土交通省近年の土砂災害実績を踏まえた課題, <[https://www.mlit.go.jp/river/sabo/committee\\_kikohendo/200521/02shiryo.pdf](https://www.mlit.go.jp/river/sabo/committee_kikohendo/200521/02shiryo.pdf)> (最終アクセス 2023 年 7 月 25 日)
- 5) 国土交通省, 国土交通省国土交通白書 2020, <<https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/r01/hakusho/r02/html/n1115000.html>> (最終アクセス 2023 年 7 月 25 日)
- 6) 国土交通省総合政策局環境政策課, グリーンインフラ~人と自然環境のより良い関係を目指して, <<https://www.mlit.go.jp/common/001179745.pdf>> (最終アクセス 2023 年 7 月 25 日)
- 7) 鎌倉市, 鎌倉市ホームページ-1. 基礎調査, <[https://www.city.kamakura.kanagawa.jp/gesui/documents/kisochousa\\_1.pdf](https://www.city.kamakura.kanagawa.jp/gesui/documents/kisochousa_1.pdf)> (最終アクセス 2023 年 7 月 25 日)
- 8) 石井良助 (1967) 鎌倉幕府成立期のふたつの問題 文治地頭職と幕府裁判権. 法制史研究 1967 巻 (17) : 1-32
- 9) 横田樹広, 江藤菜々子 (2019) 横浜市・帷子川流域を対象とした集水微地形に着目した緑地立地環境の評価. 環境情報研究発表大会 vol. 33
- 10) 山下英也, 片桐由希子, 石川幹子 (2005) 小流域を単位とした緑地保全地域の分析に関する研究. 40. 3 巻 p.865-870
- 11) 高橋 睦, 石川幹子 (2005) 建長寺に見る古都鎌倉における宗教的谷戸景観構造に関する研究. ランドスケープ研究 68 (5) : 439-444
- 12) 鎌倉市, 準用河川・水路・雨水調整池とは, <<https://www.city.kamakura.kanagawa.jp/kasen/junyoukasensuirotyouseichi.html>> (最終アクセス 2023 年 7 月 25 日)
- 13) 鎌倉市, 鎌倉市洪水ハザードマップ, <[https://www.city.kamakura.kanagawa.jp/sougoubousai/documents/1-2-2\\_nameri\\_river\\_maps.pdf](https://www.city.kamakura.kanagawa.jp/sougoubousai/documents/1-2-2_nameri_river_maps.pdf)> (最終アクセス 2023 年 7 月 25 日)
- 14) 松村 明 (2019) 大辞林 第四版. 三省堂, p1276, p2755
- 15) 国土交通省, 国土交通省国土地理院基盤地図情報, <<https://www.gsi.go.jp/kiban/>> (最終アクセス 2023 年 7 月 25 日)
- 16) 片桐由希子, 山下英也, 石川幹子 (2004) コモンデータに基づく小流域データベースの作成と緑地環境評価の手法に関する研究. ランドスケープ研究 67 巻 (5) : 793-798
- 17) 公益社団法人鎌倉市観光協会, 神社仏閣, <<https://www.trip-kamakura.com/life/13/4/24/>> (最終アクセス 2023 年 7 月 25 日) 域を事例として, 都市計画論文集 40 巻 (3) : 865-870
- 18) 産業技術総合研究所, 地質 NAVI, <<https://gbank.gsj.jp/geonavi/>> (5 万分の一地図横須賀地区を使用) (最終アクセス 2022 年 1 月 10 日)
- 19) 神奈川県都市計画基礎調査 土地利用現況図 (平成 27 年度)
- 20) 国土交通省, 国土交通省国土数値情報ダウンロードサービス, <<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>> (最終アクセス 2023 年 7 月 25 日)
- 21) 鎌倉市, 鎌倉市下水施設概要, <<https://www.city.kamakura.kanagawa.jp/gesui/documents/honnpenn-daiyonnshou.pdf>> (最終アクセス 2023 年 7 月 25 日)
- 22) 国土交通省, 特定都市河川浸水被害対策, <<https://www.mlit.go.jp/gesui/documents/honnpenn-daiyonnshou.pdf>> (最終アクセス 2023 年 7 月 25 日)



# Basic research on land use and rainfall-runoff control function in the Namerigawa watershed, Kamakura City

By

Toma ITAMURA\* and Takanori FUKUOKA\*\*†

(Received May 18, 2023/Accepted September 15, 2023)

**Summary** : In Kamakura City, green infrastructure (GI) has been getting attention as a counter measure against frequent natural disasters. The city is proceeding to control over the green spaces together with the rivers. 1) In recent years, the number of heavy rains has been increasing, and comprehensive measures on a watershed scale are needed to prevent extensive damage. 2) This study aims to analyze the relationship between land use and the suppression of rainfall-runoff from a watershed perspective, with the goal of providing fundamental insights for implementing GI in the Namerigawa watershed of Kamakura City. this study employed Arc GIS for watershed and flow direction analysis, and rainfall-runoff was calculated by rational equations based on runoff coefficients, corresponding to land use classifications derived from land use maps as well as land cover classifications obtained from field surveys and aerial photographs. This study emphasized a focus on Kamakura City's distinctive yato-valley terrain and conducted a multi-scale analysis ranging from the entire Namerigawa watershed of 10 km<sup>2</sup> to smaller scales of 0.05 km<sup>2</sup> for yato-valley regions. For detailed analysis, three temples located in the innermost areas of the yato-valleys, namely Zuisenji, Myohonji, and Kaizoji, were targeted as this study sites from the viewpoint of their historical significance, location, natural springs, and geological attributes. this study's distinctive goal is to elucidate the characteristics of the yato-valley and rainfall-runoff in Kamakura City. The following three key findings emerged: (1) The rainfall-runoff per unit area ((m<sup>3</sup>/s)/km<sup>2</sup>) tends to decrease towards the innermost areas of the yato-valley. (2) In the small watersheds of the yato-valley interiors, the lands for education and culture, including temple precincts, account for a significant proportion, thus influence rainfall-runoff significantly. (3) According to the scale and resolution, it is necessary to select either land cover or land use when calculating rainfall-runoff. From these findings, it becomes evident that the temples located in the innermost areas of the yato-valley watersheds have the potential to contribute to mitigate the disaster because of their rainfall-runoff regulation. This study revealed that existence of historical temples and their lands can be recognized as potential elements of green infrastructure in Kamakura City, contributing to rainwater management and flood control measures. The multi-scale analysis approach employed in this study provided valuable insights into the characteristics of Kamakura City's yato-valleys and their relationship with rainfall-runoff. By combining GIS analysis and field surveys, this study contributed to a more comprehensive understanding of the interactions between land use, land cover, and rainfall-runoff within the context of GI implementation in the Namerigawa watershed. Overall, this study offered a solid foundation for advancing the implementation of GI in Kamakura City, enhancing the city's resilience to rainwater-related disasters, and preserving the historical and environmental integrity of its iconic yato-valley landscapes and ancient temples. These findings would serve as a reference for other regions seeking sustainable rainwater management strategies through the integration of GI practices.

**Key words** : Green Infrastructure, Small watershed unit, yato-valley, rainfall-runoff, Land use

\* Department of Landscape Architecture, Graduate School of Agro-Environmental Science, Tokyo University of Agriculture

\*\* Department of Landscape Architecture Science, Faculty of Regional Environment Science, Tokyo University of Agriculture

† Corresponding author (E-mail : tf206471@nodai.ac.jp)