

# 蒲田川流域の地形学的特性に関する研究 (1)

矢野勝正・土屋義人・奥村武信

## STUDIES ON THE GEOMORPHOLOGICAL CHARACTERS OF THE GAMATA RIVER BASIN (1)

By *Katsumasa* YANO, *Yoshito* TSUCHIYA and *Takenobu* OKUMURA

### Synopsis

The Gamata River is a tributary of the Jintsu River running into the bay of Toyama in Japan which is one of typical trential rivers and is transporting sediments of great amount from the desolated basin. The basin area of the Gamata River is approximately 98Km<sup>2</sup>. The basin is located in the Japan North Alps and the elevation is approximately 1,000m to 3,000m.

To study the mechanism of run off and sediment transport in such a desolated higher altitude basin, it is necessary to disclose the characters of basin with the aid of geomorphological analysis and field observations of sediment characteristics. The present paper is a first report of the study and deals with the geomorphological approach to disclose the characters of streams in this basin, in which the order analysis of streams for not only the basin but the ten elementary basins of 4th order, drainage density and texture ratio analysis, frequency analysis of stream length and hypsometric curve analysis were made with the aid of quantitative analysis of watershed geomorphology and the development of streams and method of analysis were considered.

### 1. 緒 言

神通川水系はわが国荒廃河川の代表的なものの1つであって、その流域は穂高連峰や焼岳など海拔 3,000 m級の日本北アルプスに属している。蒲田川流域はこの水系中最も荒廃している本川上流流域であって、その流域面積は約 98km<sup>2</sup> であり、流域の海拔は約1,000mから 3,000m 以上に及んでいる。

この流域の砂防工学上の調査は、これまで種々の観点から、建設省によって実施されてきたようであり、とくに、流域の地質調査に関しては、富山大学などの協力のもとに、きわめて詳細な調査が進められ、ここ 1, 2年の間には本流域の詳細な地質図が完成するようである。一方、京都大学防災研究所では本流域内に砂防観測を中心とした観測所を設置して、高々度の山岳流域における降雨、降雪の流出とそれともなう土砂流出の実態を観測研究しようとしている。本研究は、こうした観測研究を実施し、山岳流域における水文現象の実態を究明するにさきだって、本流域の地形学的特性を見出し、観測研究の基礎資料とするためのものである。

流域の地形解析に関する研究は、Horton<sup>1)</sup>、Smith<sup>2)</sup>、Strahler<sup>3)</sup> および Schumm<sup>4)</sup> らの河谷の発達を中心とした定量的解析によって、ようやく記述的な地理学の分野から独自の発展をしようとしているようであり、こうした研究の工学上への導入とその適用性の検討は、わが国においても最近活発に実施されつつあるのが現状と思われる<sup>5)</sup>。とくに、流域における土砂流出の実態究明に対して、地形解析の方法を適用しよう

とした大石ら<sup>6)</sup>の研究はきわめて興味深いものであるし、また浸食による地形要素の変化を究明するために、いわゆる *hypometric curve* の特性とその適用について詳細な研究を進めた村野<sup>7)</sup>の研究は、地形解析と砂防工学上の実際問題との関連を明らかにしようとしたもので、きわめて指針にとむものといつてよいであろう。

本研究では、前述したように山岳流域における水文現象を解明するための一手段として、流域の地形学的特性を明らかにするのであるが、ここではむしろ流域の地形学的諸特性を見出すことに主眼をおき、その特性の水文現象との関連については、いっさい述べないことにする。すなわち、巨視的な立場に立った流域の現状を把握しようとするのが目的であつて、その過程において地形解析の手法について考察していきたいと考えている。以下で述べる第1報としての本文では、本流域内における河谷の発達状況を考察し、2、3の流域特性を明らかにしたいと思う。いうまでもなく、流域の地形学的特性は、水文学的特性のほか、地質学的特性に大きく関連するので、建設省などによる本流域の地質調査の結果を利用するつものほか、流域内における砂礫の特性などを調査研究して、河谷の発達に関連する内在的な諸要素間の関連を順次追求していくつもりである。

## 2. 蒲田川流域の概況

緒言でも述べたように、本流域は日本北アルプスにあつて、流域の荒廃はきわめて著しい。本流域には、いわゆる飛騨外縁構造帯が縦走しており、それに加えて、焼岳の火山活動に関連して、流域内の地質構造はきわめて複雑である。ここでは、建設省や富山大学などでこれまで調査されてきた結果をもとにして、本流域の地形および地質学的特性について、その概要を説明したい。

まず、本流域の地形特性としてあげられるものの第1は、いわゆる高山地形であつて、森林限界 2,500m 以上では石英斑岩は角ばり、また花崗岩は若干丸味をおびて、その特性が地形の形成と密接に関連している。第2は、いわゆる氷食地形の発達であつて、わが国の代表的な瀧沢カールに類して、笠ヶ岳の秩父平や幡隆平に典型的なものがみられる。第3には、いわゆる非対称山稜の発達であつて、左俣谷の西方斜面は東方斜面に比べて急になっているが、一方小鍋平などは西方斜面に平坦な堆積面を形成している。

つぎに、本流域の地形面区分と地質特性について簡単に述べよう。この流域には、沖積世に属する現河床面と下位段丘面が、また洪積世に属する中位段丘面、上位段丘面、高位礫層面、圏谷面および頂上平坦面などが発達しており、活発な地殻変動の過程を知ることができる。地質特性としては、第4系に属する沖積層、および洪積層とくに上、中、下位段丘礫層が焼岳を中心として形成されており、中生界に属する石英斑岩、花崗斑岩、花崗岩、玢岩(穂高安山岩)および手取統(砂岩、頁岩、礫岩)などが左俣谷、右俣谷流域に広く分布しているようである。また、古生界に属する二疊、石炭系の砂岩、頁岩、石灰岩、チャート、輝緑凝灰岩、蛇紋岩および花崗閃緑岩などおよびデボン系の砂岩、頁岩、石灰岩および結晶片岩などを見出すことができる。このように、地質構造はきわめて複雑であるが、これら地質特性の詳細な結果は、いずれ完成するものと思われるので、そのときに改めて考察したいと考えている。

## 3. 蒲田川流域における河谷の発達

本流域の地質学的特性は、前述したようにきわめて複雑であつて、その詳細な調査結果も着々と集成されつつあることは、すでに述べた。したがつて、ここでは本流域内における地質学的な相違による河谷の発達の特性については深く議論せず、もっぱら現在あるがままの姿としての河谷の発達を考察することにする。

### (1) 使用した地形図と河谷の表示

本流域の地形図は 1/50,000 のもののほか建設省の作成による航空写真をもととした1/20,000のものがあり、このほか流域の約  $\frac{1}{3}$  程度に対しては、同様な航空写真による 1/5,000 の地形図が作られており、やがて全流域にわたつて完成されることになっている。したがつて、本研究においては、主として 1/20,000

の地形図によったが、後述するように河谷を表示するにあたっては、種々の不明確さと問題点が少なくないので、前述した 1/5,000 の地形図と 1/20,000 の航空写真とを参考にして地形解析を進めた。河谷の発達を中心とした地形解析を実施する場合は、当然河谷をどのように定義すべきかが大きな問題となってくる。この問題に対しては、これまで種々の論議がなされてきたようであるが、いま村野<sup>7)</sup> にしたがって、その 2, 3 の定義について考察することにすれば、つぎのようである。Horton<sup>1)</sup> は流水による谷や流路の発達

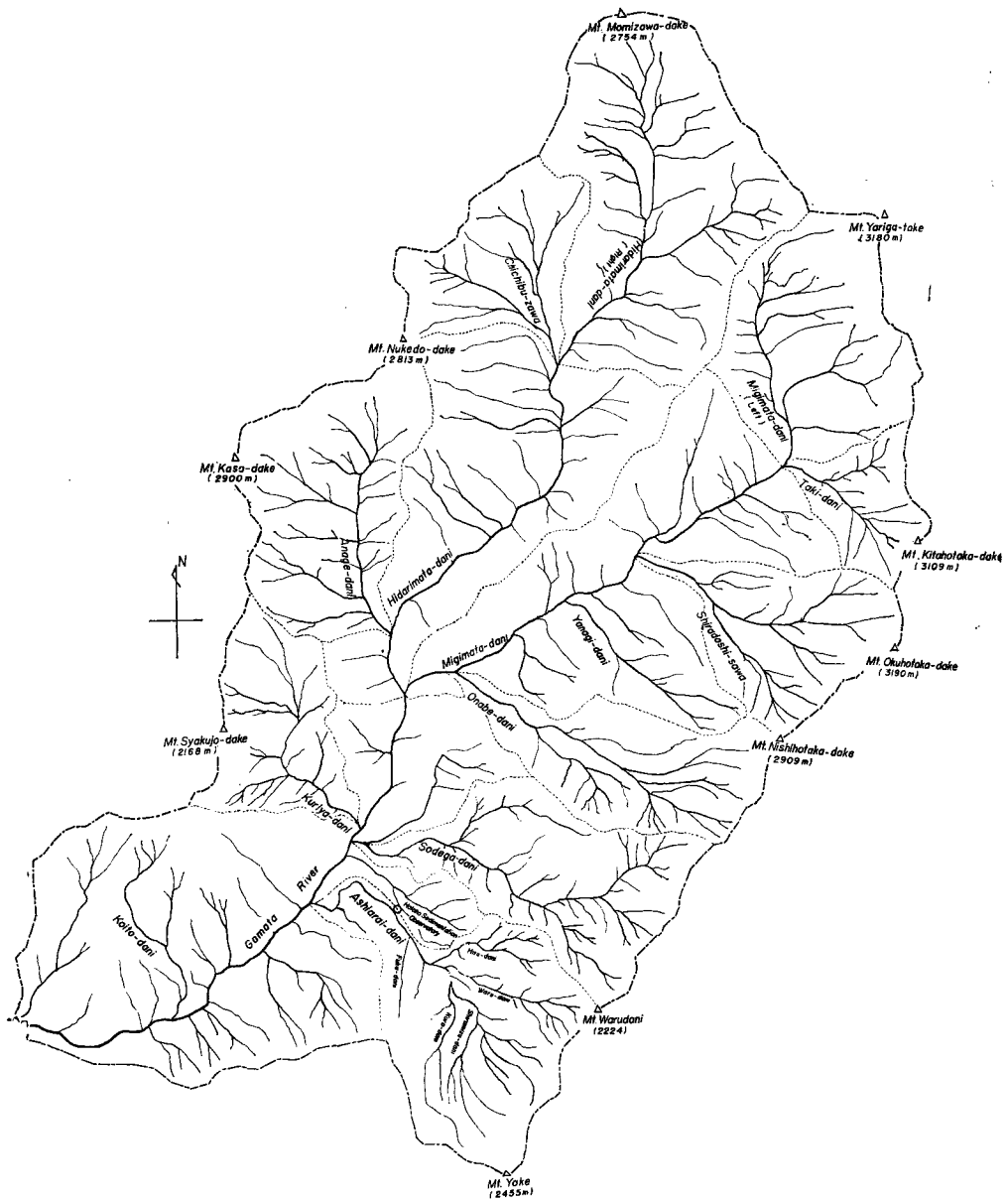


Fig. 1 Topographic map of the Gamata River Basin

の多くは、出水時に行なわれるから、降雨によって形成される薄層流を地表流として、河谷はその蓄積された河道貯溜によって支えられる部分をよぶこととしており、Strahler<sup>3)</sup>は明らかに河谷として限られた流域にある間けつのあるいは定常的な流れまでを谷と定義し、谷津<sup>8)</sup>は地形図上で、谷の幅が谷のわん入の長さよりも小なるものをすべて谷と考えているし、また田中<sup>9)</sup>は等高線の状態から判断して最大限と考えられる水系までを谷として取り扱うなど、地形解析において対象となる河谷の定義は一定していないのが現状である。このことは、一方では河谷の特性を究明する目的によって、その定義が相違するものと考えられるが、多くの場合は対象とする流域の全体にわたって河谷の発達についての現地調査が実施できるとは考えられないので、実際上は適度な大きさの地形図に依存するより方法がないであろう。したがって、地形解析における河谷の定義としては、研究の目的に応じて適度な地形図を利用して前述した谷津らの定義にしたがって解析をするのが、実際上の見地から適当のように考えられる。

以上のことから、本研究においては前述したように縮尺 1/20,000 の地形図を用いて、河谷を表示し、その解析を行なったが、その際流域内の約半にわたってつくられている縮尺、1/5,000 の地形図と全流域にわたる 1/20,000 の航空写真とを併用して、河谷の表示を確認した。このようにして得られた本流域内における河谷の発達状況は Fig. 1 に示すとおりである。

## (2) 河谷の order analysis

Horton らにしたがって、Fig. 1 に示した河谷の order analysis を行なった結果について述べよう。Fig. 1 に示したように、この流域内には、合計10個の order 4 の流域と、order 5 の流域2つがあって、蒲田川流域の本川は order 6 となる。Table 1 はこれらの流域ごとの地形学的特性を一括表示したものであって、流域の名称、流域面積、流域の海拔、order などをはじめ、後述するような谷の分岐比 (bifurcation ratio)、谷密度 (drainage density) および流域形状などの値を表示してある。

Fig. 2 は蒲田川流域および左俣、右俣谷流域における河谷の数  $N$  と河谷の order  $\omega$  との関係を示したも

Table 1 Characteristics of the Gamata River Basin and its elementary basins

No.	Name	Basin Area in km <sup>2</sup>	Elevation in m	Order	Bifurcation ratio	Drainage density	Shape factor of basin
1	Kuriya-dani	3.77	960~2,430	4	3.40	4.06	0.826
2	Anage-dani	6.48	1,200~2,900	4	3.29	3.33	0.845
3	Chichibu-zawa	4.00	1,510~2,680	4	2.92	3.48	1.022
4	Hidarimata-dani (Right)	11.06	1,510~2,750	4	3.84	3.02	0.918
5	Migimata-dani (Left)	6.59	1,740~3,180	4	3.09	2.70	0.764
6	Taki-dani	2.24	1,740~3,190	4	2.92	4.21	1.010
7	Shiradashi-sawa	5.04	1,460~3,190	4	3.09	3.58	0.744
8	Onabe-dani	4.95	1,160~2,910	4	3.36	3.91	0.403
9	Sodega-dani	6.18	960~2,370	4	4.24	3.97	0.555
10	Ashiarai-dani	7.13	920~2,220	4	3.80	3.94	0.802
11	Migimata-dani	30.65	1,080~3,180	5	3.52	3.06	0.581
12	Hidarimata-dani	31.93	1,080~2,900	5	3.65	3.04	0.451
13	Basin of Gamata River	98.29	770~3,190	6	4.00	3.14	0.581

のであって、Horton はじめ Smith<sup>2)</sup> らがすでに明らかにしているように、片対数紙上で直線的関係にあらわされ、

$$\log_{10}N = a - b\omega$$

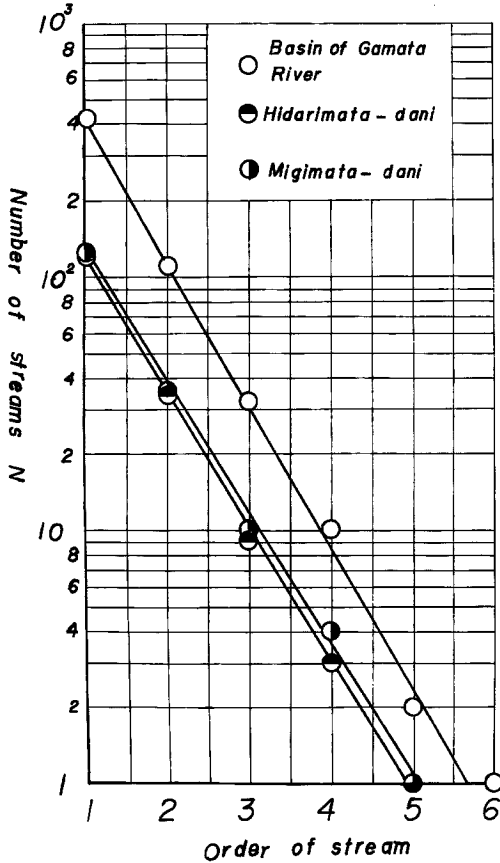


Fig. 2 Relation between number of streams and order of stream (1)

流域の形状をあらわすことにする。一方、河谷の発達をあらわす特性としては、前述した Horton<sup>1)</sup> による分岐比をとることにして、この流域の形状係数 (shape factor) の値とともに Table 1 に示した。Fig. 5 は河谷の分岐比  $r_b$  と流域の形状係数  $a'/b'$  との関係を図示したものであり、図中の数字は Table 1 に示した各流域名に対応している。この図からわかることは、この流域内においては、地質特性がきわめて複雑であるにもかかわらず、分岐比  $r_b$  は前述した流域の形状係数  $a'/b'$  によって相違し、 $a'/b'$  の値が小さい場合すなわち細長い流域ほど分岐比が大きくなることを見出される。とくに、最近の本流域内における地質調査の結果によると、右俣谷流域はかなり一様な花崗岩質であることがわかっている。この流域内に属する右俣谷 (左)、滝谷、白出沢および小鍋谷について、上述の関係を検討した結果が Fig. 5 中に記号を区別して示してあるが、前述した関係がいっそう明らかに見出すことができる。また、図中の足洗谷および外ヶ谷の地質特性は大体それぞれ火山噴出物および古生層と一部花崗岩質に属するものであり、前述した右俣谷とかなり相違することがわかっているが、Fig. 5 によると両者の関係がかなり相違してあらわれていること

にしたがうことがわかる。ここに、 $a$  および  $b$  は定数であって、とくに  $\log^{-1}b = r_b$  を Horton は河谷の分岐比 (bifurcation ratio) とよんでいる。また、Fig. 2 は Table 1 に示した order 4 の各流域における同様な結果を示したものであって、これらの図から、つぎのことがわかるであろう。すなわち、こうした関係は流域の地質学的特性のほか流域の形状などに依存することはいうまでもないが、左俣谷および右俣谷における関係は蒲田川流域に対する関係に非常によく一致しており実測値もほとんどばらついていないのに反して、Fig. 3 に示した各小流域に対する結果ではかなり散乱し、かつ各流域の特性があらわれてくるように見える。こうした関係は、河谷の発達に関する統計的な資料であるはずであるから、あまり小流域を対象とすると、前述したような特性が顕著になる可能性がある。たかだか order 4 程度までが限度のように思われる。そして、この河谷の発達はたとえ地質が同一であっても、流域の形状に大きく支配されることは明らかであるので、つぎにこの点について考察する。

いま、対象とする流域の幾何学的な平面形状をもっとも簡単な方法によって表示するために、Fig. 4 に示したように谷口 (basin mouth) を通る互に相直交する最大辺の 2 軸  $a'$  および  $b'$  を定義して、その比  $a'/b'$  をもっ

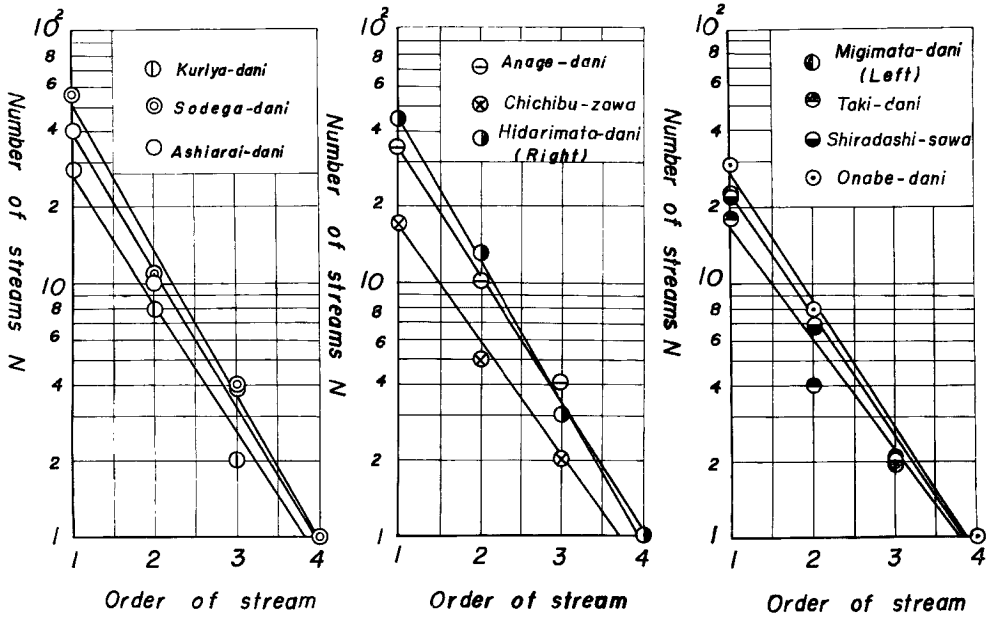


Fig. 3 Relation between number of streams and order of stream (2)

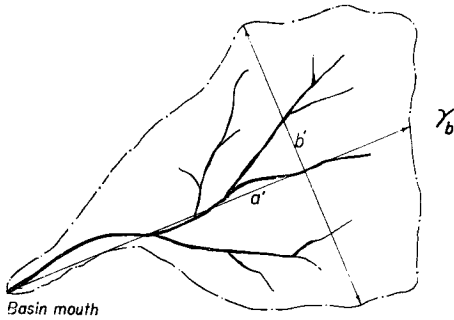


Fig. 4 Schematic sketch for definition of shape factor of basin

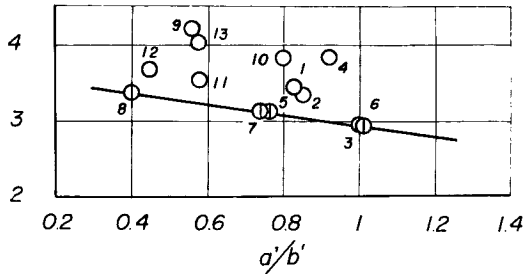


Fig. 5 Relation between bifurcation ratio and shape factor of basin

がわかる。今後さらに詳細な地質図の作成とあいまって、上記の関係をさらに明確にするともに、他の流域についても同様な検討を進めていきたい。

つぎに、Fig. 6 は左俣谷・右俣谷および蒲田川流域のそれぞれについて、order 別の河谷の総延長と order との関係を示したものであって、すでに知られているように、両者の関係は両対数紙上において直線であらわされる。そして、Table 1 から明らかなように流域面積がほとんど等しい左俣谷および右俣谷についてはほとんど相違を見出すことはできないし、また図中の河谷の総延長を流域面積でわって単位面積当りの河谷長であらわすと、蒲田川流域に対する関係と左俣谷・右俣谷のそれとはほとんど一致することがわかる。しかし order 4 である前述した 10 個の流域について、同様な関係を 図示したものが Fig. 7 である。すなわ

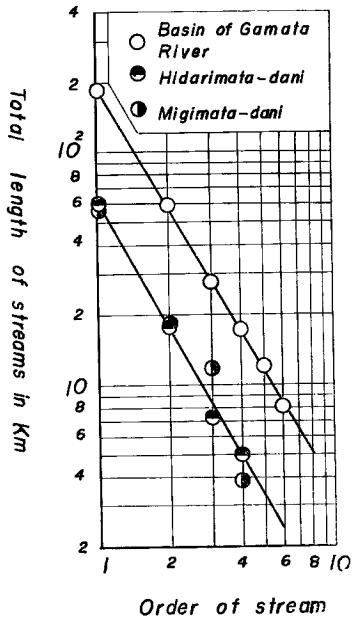


Fig. 6 Relation between total length of streams and stream order in case of Hidarimata-dani, Migimata-dani and Gamata River basins

ち、この結果では、もはや前述した法則性を見出すことができないことがわかり、前述したようなこうした河谷の発達に対する解析法の適用限界を確かめることができる。

(3) 谷密度および河谷長の分布などの特性

Fig. 8 は前述した各流域ごとに河谷の総延長とそれの属する流域面積との関係を示したものであって、平均的な河谷の単位長さ当りの流域面積は約  $0.3\text{km}^2/\text{km}$  程度であることがわかる。

Table 1 には、蒲田川流域における各流域における谷密度を計算して示しておいたが、これからその値が 2.70 から 4.21 の範囲にあることがわかる。いま、この谷密度が前述した流域の形状係数によってどう変わるかを調べたものが Fig. 9 であるが、これによると河谷の分岐度の場合とは相違して、両者には明確な関係を見出すことができない。

つぎに、Fig. 10 は谷密度といわゆる texture ratio との関係を探り、Strahler<sup>3)</sup> による結果と比較したものであって、これらからいさう texture terms としては coarse に属することがわかる。しかしながら、この texture terms の定義から明らかかなように、谷密度との関係においては両者は流域における河谷の取扱い方が相違するのみで、全く同様な考えに立脚しているわけであるから、当然両者は比例関係としてあらわされるように思われる。ただし、他の流域に対する値と比較して谷密度の大小を判断する資料にはなりうるであろう。Fig. 11 はこの

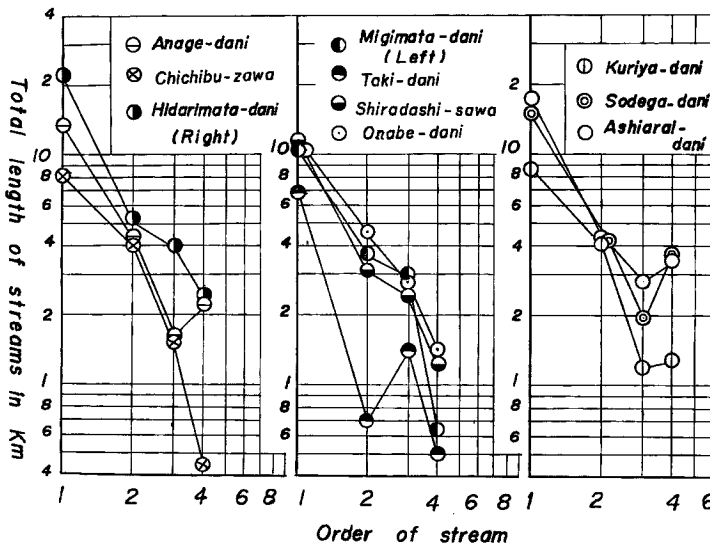


Fig. 7 Relation between total length of streams and stream order in case of ten elementary basins of fourth order

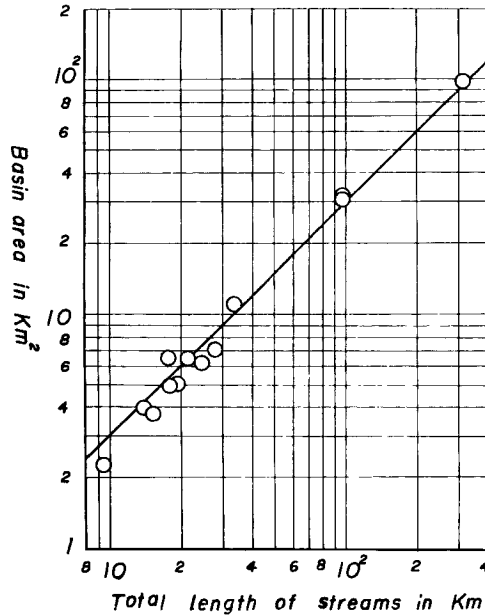


Fig. 8 Relation between basin area and total length of streams

流域内における河谷の長さの分布を示したものであって、図中には河谷の平均長  $L_m$  およびその標準偏差  $\sigma_L$  の値を示してある。この結果によると、河谷の長さの分布特性については、order 4 であるこれらの流域に対しては、前述したような理由から明確な議論はむずかしいけれども、Schumm<sup>4)</sup> が述べているように、かなり歪んだ分布を示し、また河谷の平均長も各流域によってかなり相違することがわかる。

(4) 流域の Dimensionless Hypsometric Curve Analysis および流域の斜面勾配などの特性

本解析方法が浸食地形の考察に有用であることが Langbein, Strahler および村野<sup>7)</sup> らによって詳細に研究され、工学上への適用もある程度明らかになってきたようである。ここでは、前述した order 4 の流域に対してこの方法を適用し、hypsometric curve をつくった結果について述べよう。Fig. 12 はその結果であって、いちおういずれの流域も早壮期型を示すことがわかるが、各流域ごとに比較すると、それぞれかなりの相違を見出すことができる。図中  $H$  は谷口と流域最高点との標高差、 $x$  は任意の点の谷口との標高差、 $A$  は流域面積および  $a$  は標高  $x$  において占める面積である。しかしながら、この方法によると、少なくとも流域の形状が相似であって、またその地質特性も一定でない直接の比較を議論することはむずかしいと思われる。前述したように、右俣谷の流域は比較的地質が一樣であるので、流域形状はかなり相違するけれど

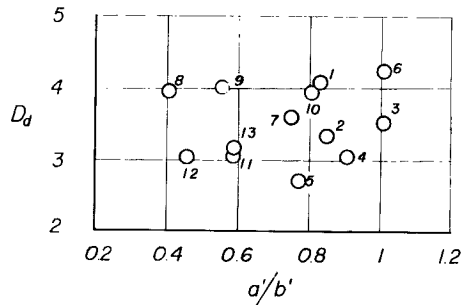


Fig. 9 Relation between drainage density  $D_d$  and shape factor of basin  $a'/b'$



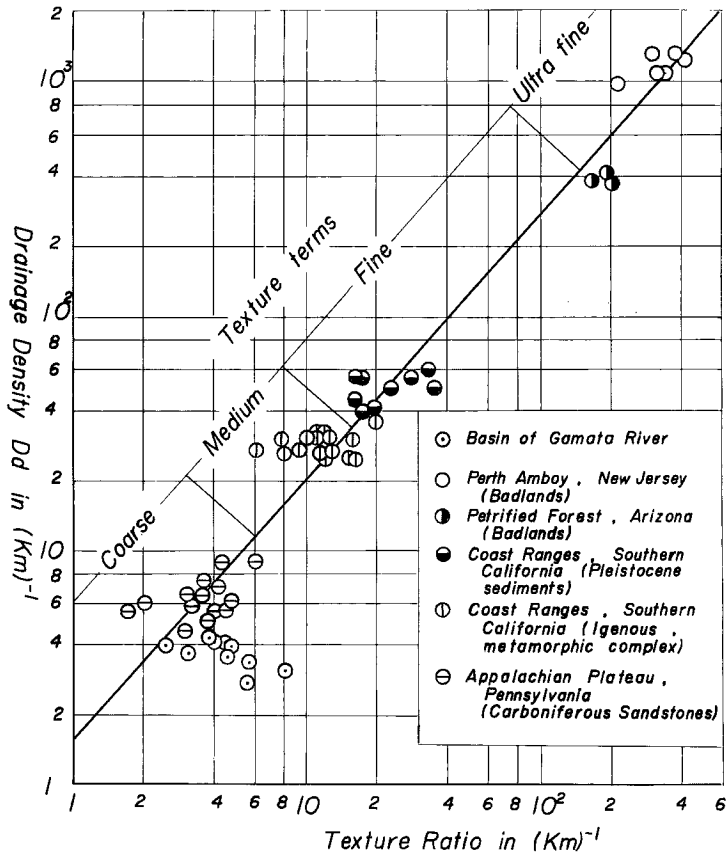


Fig. 10 Relation between drainage density and texture ratio proposed by Strahler

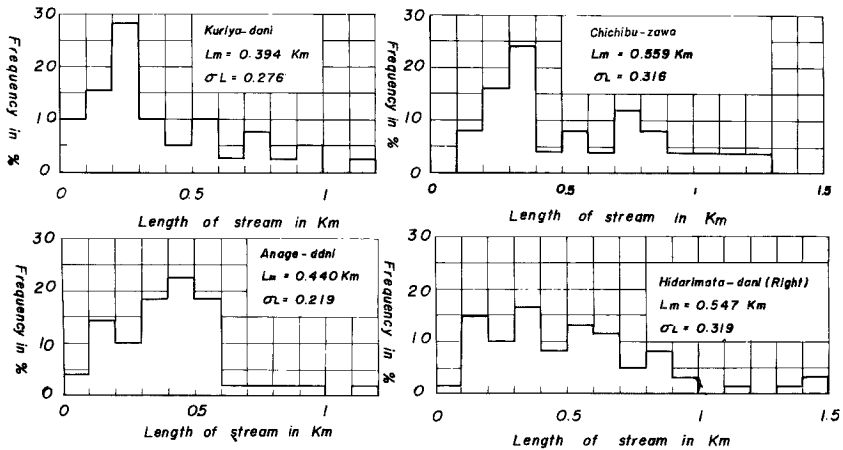


Fig. 11(a) Frequency distribution of stream length ( l )

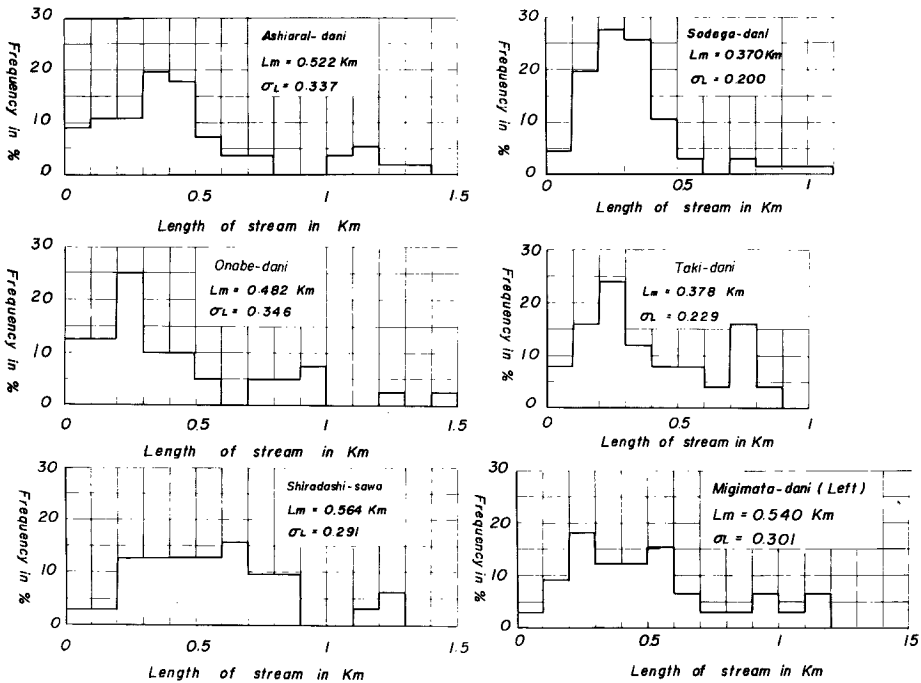


Fig. 11(b) Frequency distribution of stream length (2)

も、白出沢、柳谷および小鍋谷の結果を比較することによれば、白出沢を第1位としてこの順に幼年期型の末期から早壮年期型に近づいていることがわかる。なお、こうした dimensionless hypsometric curve の特性と流域における土砂生産との関連などについては、現地調査が進むにしたがって次第に究明されていくものと考えている。

つぎに、Fig. 13 は外ヶ谷および足洗谷流域について、任意の標高における平均の斜面勾配を示したものであって、両流域ともきわめてよく類似した傾向を示していることがわかる。これらの流域は崩壊が顕著であって異常な土砂生産の根源になっており、その場所は両流域とも  $z/H \approx 0.6$  付近であることから崩壊地のある山腹斜面の平均勾配は約 0.7 前後であることがわかる。なお、Fig. 14 は蒲田川流域内における各流路に沿う勾配を縮尺 1/20,000 の地形図からよみとって図示した結果であるが、各流域とも流域の上流における勾配は非常に類似していることがわかる。したがって、前述した Fig. 12 の結果などを参考にすると、たとえば地質特性が一様である右俣谷各流域においてはとくに白出沢が将来異常に土砂を生産する可能性があると考えられる。なお、滝谷および右俣谷(左)の両流域については前述した hypsometric dimensionless curve がつくられていないので直接的な比較を行なうことができない。

#### 4. 結 語

以上、蒲田川流域の地形学的特性を解明する第一歩として、主として本流域内における河谷の発達について考察した結果について述べた。本文は河谷の発達に関する考察に限定しても決して十分でなく残された問題がきわめて多いが、いちおうその地形学的特性の若干を見出すことができたと思う。今後、本流域におけ

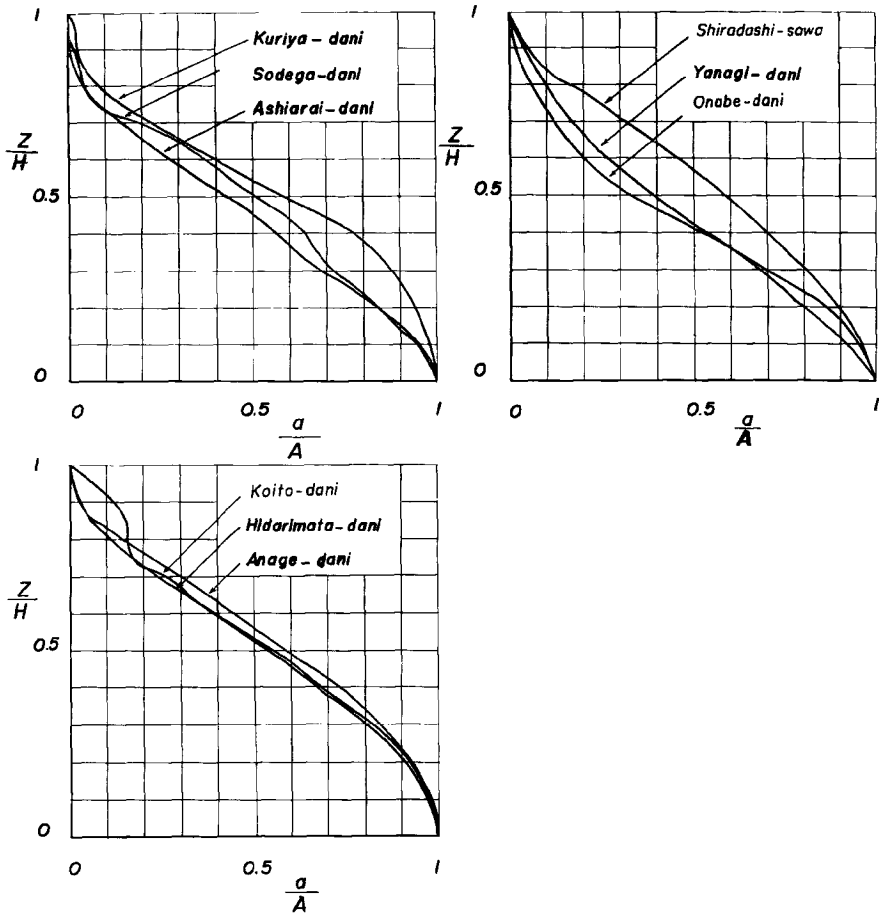


Fig. 12 Hypsometric curves of elementary basins of the Gamata River

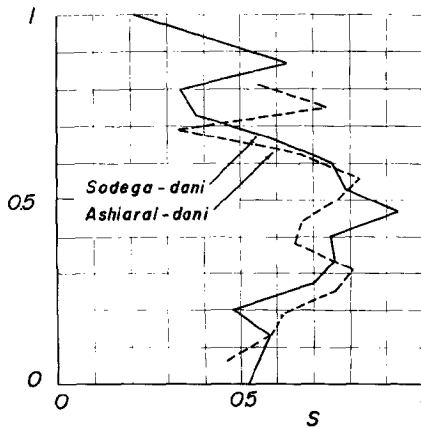


Fig. 13 Variations of average slope of basin with relative elevation in case of Sodega-dani and Ashiarai-dani basins

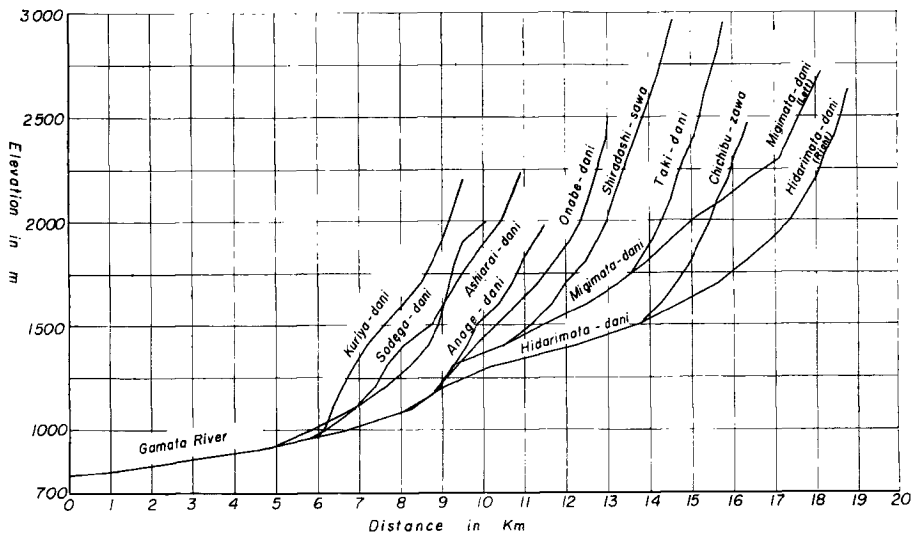


Fig. 14 Profiles of streams in the Gamata River Basin

る調査研究の進展とあいまって、前述した地形学的特性をさらに究明するとともに、異常な土砂生産と流出に関する諸要素間の関係を順次明らかにしていきたいと考えている。

最後に、本年度この流域内に砂防観測所を設置するに当たり、貴重なご助言とご指示をいただいた速水頌一郎所長、積極的にご協力いただいた藤井権事務長および丸田義雄掛長に深甚なる謝意を表明するとともに、複雑な地形解析を行なうにあたり、熱心に協力して下さった一重サト嬢の労に謝意を表したい。

#### 参 考 文 献

- 1) Horton, R. E. : Erosional development of streams and their drainage basins, hydrophysical approach to quantitative morphology, *Bul. Geol. Soc. Amer.*, Vol. 56, 1945, pp. 275~370.
- 2) Smith, K. G. : Standards for grading texture of erosional topography, *Amer. Jour. Sci.*, Vol. 248, 1950, pp. 655~668.
- 3) Strahler, A. N. : Quantitative analysis of watershed geomorphology, *Trans. A. G. U.*, Vol. 38, 1957, pp. 913~920.
- 4) Schumm, S. A. : Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey, *Bul. Geol. Soc. Amer.*, Vol. 67, 1956, pp. 597~646.
- 5) Leopold, L. B., Wolman, M. G. and Miller, J. P. : *Fluvial processes in geomorphology*, Freeman and Company, 1964.
- 6) 大石道夫, 皆川真: 砂防調査における地形解析について, *新砂防*, Vol. 42, 昭36, pp. 13~33.
- 7) 村野義郎: 山地における砂石の生産と流出に関する研究, 学位論文, 昭36.
- 8) 谷津栄寿: 秩父山地の起伏量について, *田中啓爾先生記念大塚地理学会論文集*, 昭25.
- 9) 田中真吾: 瀬戸内海岸地域における谷密度と岩石(花崗岩および古生層)との関係について, *地理学評論*, Vol. 30, 昭32.