

(51) 一級河川流域の定量的地形分類に関する研究

CLASSIFICATION OF JAPANESE FIRST-CLASS RIVER BASINS
ACCORDING TO THEIR GEOGRAPHICAL FEATURE

中園眞人*, 南正昭*, 岩本慎二*, 塩月善晴*

Mahito NAKAZONO*, Masaaki MINAMI*, Sinji IWAMOTO*, Yoshiharu SHIOTUKI*

ABSTRACT; The main purpose of this study is to classify Japanese river basins based on their geographical features. The indices which indicate a shape of a river basin are selected. And new indices are proposed to express a geographic feature of a river basin better. Results of basic statistical analysis of the indices are shown. The characteristics of each index are described. Correlations between the indices are shown and main factors to classify river basins are found by factor analysis. Using these factor scores, the river basins are classified into 14 types based on their own geographical features by cluster analysis. The typical geographic models of Japanese river basins are presented.
KEYWORDS; Classification of river basin, Geographical features, Factor analysis, Cluster analysis

1. 緒言

河川流域は人間の生活空間を構成する基本単位である。地理学・水文学を中心とした研究分野においては、この河川流域の特性を把握しようと数々の試みがなされてきた。またこの「流域」概念は水資源や地域環境保全を論ずる上で近年特に重視されているが、一方地域計画の分野においても計画単位として有効であるのみでなく、マクロな地域景観構造を把握する上でも重要な概念である。

本研究は、景観論の視点から地域空間のアイデンティティを特徴づける主要な要素である流域地形に着目し、数理統計解析により流域の地形を類型化し、その特性を把握することを目的とする。

研究対象は、日本の全一級河川 109水系とする。まず河川数や河川延長等の既存の指標を選定する。次にそれらでは表現されない特性に関し、地形図情報をもとに流域の規模や等高線の形状等を各等高線内の面積や距離等を用いて表現する新たな指標を設定する。一級河川の流域データにおけるこれらの指標の個別の傾向や相関を把握した上で、因子分析とクラスター分析を用い 109水系を流域の地形パターンに注目して分類した。

2. 河川流域の地形特性を表現する指標の設定

2.1 基礎的指標の選定とその傾向分析

流域の地形を分類するにあたって、それに有効な指標を設定する。まず既存の基礎的な指標として河川便覧（日本河川協会編1990）より①河川数（N）、②河川延長（T）、③幹川流路延長（K）、④流域面積（SS）を採用し、幹川流路延長と河川延長の比として⑤（T/K）を加えた（表1）。

これらの各指標値を 109水系すべてについて求め、指標のもつ傾向を調べた。まず指標値ごとに流域を順序づけた結果、全体的傾向として利根川、信濃川、石狩川、淀川等の大規模河川においてこれらの指標は上位に現れた。いずれも河川規模と関係が強いことが確認された。しかし、例えば本明川、土器川、菊川等は

*山口大学工学部社会建設工学科 Department of Civil Engineering, Yamaguchi University

①～④の指標から小規模河川と判断されるが、天神川や千代川など丸みを帯びた流域では幹線流路延長は比較的低い値を示す。このように①②③は必ずしも規模（流域面積）のみにより決まるのではなく、流域の形状、湖沼の存在等により影響を受ける指標である。

図1にT/KとSSの関係を示した。T/Kが0～10、SSが0～3000程度に集中している様子が窺える。またSSが大きいほどT/Kも大きくなる傾向をもつこと、その増加率はSSが小さいときに比較的高く、SSが大きくなると低くなることがわかる。

図2に流域数とSSの関係を示した。SSが1000前後の流域の多いことがわかる。SSを平均値で全国的に比較したところ、北海道、東北、関東で比較的大規模流域が多く、中部、中国、四国、九州には中小規模流域が多いこと、特に九州は小規模流域が卓越していることがわかった。

表1 流域地形の基礎的指標

①	N : 河川数
②	T : 河川延長(km)
③	K : 幹川流路延長(km)
④	SS : 流域面積(km ²)
⑤	T/K : 幹川流路延長と河川延長の比

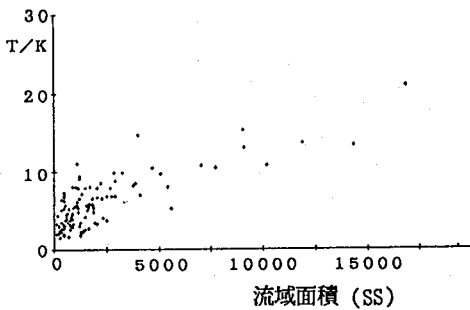


図1 T/Kと流域面積(SS)の関係

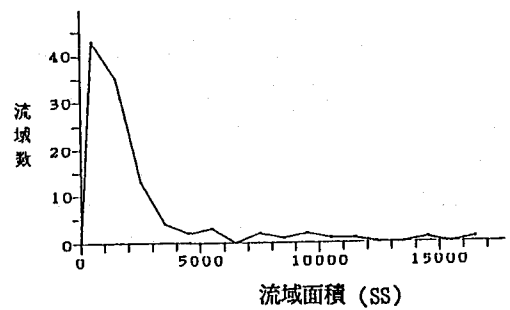


図2 流域数と流域面積(SS)の関係

2.2 流域地形表現指標の設定とその傾向分析

前節において設定した指標のみでは、流域の複雑な地形を十分に表現できない。そこで流域の面積、谷の形状、垂直方向の形状等を定量的に表現できる指標の設定が必要と考えた。そこで平野と山地の境界を100m等高線、高山地を1000m等高線以上とし、図3に示す河川流域のモデルを作成し、その構造をもとにI流域面積指標1(BA1)、II流域面積指標2(BA2)、III流域形状指標(BS)、IV谷形状指標1(VS1)、V谷形状指標2(VS2)、VI垂直形状指標(V)、VII多様性指標(DI)、VIII等高線形状指標1(CS1)、IX等高線形状指標2(CS2)の9指標を流域地形表現指標として新たに定義した。(表2)これらの指標値は、地形図上の河川水路網と各等高線の2次元パターンをデジタイザーによりCADに入力し算出した。ここで流域を決定する際に以下のことに留意した。

(1) 平野部においては、隣の水系との距離の中点を繋いだ曲線をもって境界線とした。また、水路などで隣の水系と連絡している場所で同様に中点で分断した。

(2) 山間部においては、分水嶺を辿ってゆき湖沼にあたる場合は中心点を通る曲線で湖沼を分割した。

以上の基準に従って流域を入力したとき、大平野の端部に位置し幹川と等高線の平行する流域と等高線の不連続な流域とが存在したため、これらの流域については後の分析からは除外することとし、地形構造の共通性に注目し予めタイプ分類を行った。これらを3.3に後述する分類上TYPE13とTYPE14とよび、この両者をグループ5(G5)とよぶ。以下にそのタイプ名と該当する河川名を示す。

表2 流域地形表現指標

I	BA1 : 流域面積指標1 (S0/SS)
II	BA2 : 流域面積指標2 (S7/SS)
III	BS : 流域形状指標 (L1/L2)
IV	VS1 : 谷形状指標1 (L3/L4)
V	VS2 : 谷形状指標2 (S0/S1)
VI	V : 垂直形状指標 (S1/SS)
VII	DI : 多様性指標
VIII	CS1 : 等高線形状指標1 (S0'/S8)
IX	CS2 : 等高線形状指標2 (L5/ K)

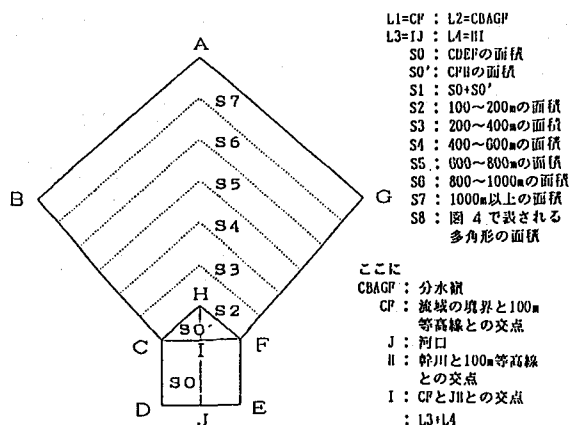


図3 流域モデル

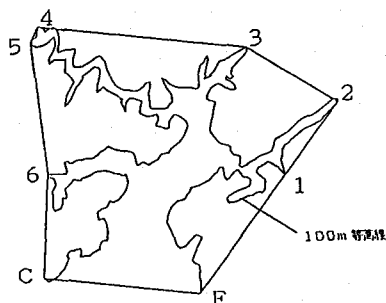


図4 S0'/S8の概念図

G 5 TYPE 13: 大平野の端部に位置する流域: 岩木川、小矢部川、雄物川、矢部川

TYPE 14: 等高線が不連続である流域: 菊川、肝属川、留萌川、本明川、石狩川

入力図形より計算される各指標値は、以下のような性質をもつ。

BA1 は、流域面積に対する標高100m以下の面積率として定義した。この値が大きい流域には、比較的広い平野をもつ遠賀川の直方平野や庄内川の濃尾平野等が該当する。しかしこの指標は面積率であるため、比較的小規模な流域の菊川や六角川等、あるいは比較的小規模ながら広い平野をもつ鶴見川や高瀬川流域等も値が大きくなる傾向をもつ。逆に、この値が低い流域は江ノ川、富士川、姫川等の中規模河川でかつ広い平野をもたない流域に多い。

BA2 は、流域面積に対する標高 1000m以上の面積率で定義される。この値が高い流域は黒部川、常願寺川、大井川等である。中規模河川でこの指標の高い流域は、そこに存在する山脈（黒部川、常願寺川は飛騨山脈、大井川は赤石山脈）が比較的海側に存在しているために100m以下の平野部が小さいことによる。全国的には、北陸地方で平均値が28.5% と最も高く、関東と中部でも比較的高い値を示している。BSは、山間部での集水面積が広く、平野部で明瞭な幹川が直線的に海に注ぐ流域の場合に値が低くなる。

VS1 は、谷深さと山地の海への迫り具合を表現するものである。一般的に平野部では、C-F 方向に伸びる水路等によりCDとFEの決め方が曖昧になるので、直線距離の比を用いた。山地が海まで迫り、深く谷を刻んでいる流域でこの値は低くなる。

VS2 は、BA1 では表現できない100m等高線の形状を表す。BA1 に比べてこの値が高い場合、100m等高線の形は尖っており深い谷を刻んでいる。逆に低い場合、100m等高線の形は丸みを帯びている。しかしBA2とVS2が同程度の場合、100m等高線は三角形もしくは多方向に谷を刻み明確に表現できない。なおS0は、河川便覧に示される流域面積から ABCFGの面積を差し引いた値を用いた。

Vは、BA1と相関が比較的高いと考えられる。流域の特性を表すのに感覚的に理解しやすい。山間部から流れ出る複数の河川が平野部で合流するような流域、もしくは平野部で分岐するような流域でこの値は高くなる。なおS1を求める際には、S0とS0'の和を用いた。

DIは、図3におけるS2～S6を用い次式により計算される。

$$DI = -\sum_{i=2}^6 \left\{ \left(\frac{S_i}{S} \right) \log \left(\frac{S_i}{S} \right) \right\} \quad \left(\text{ここで、} S = \sum S_i, S_i = S2 \sim S6 \right)$$

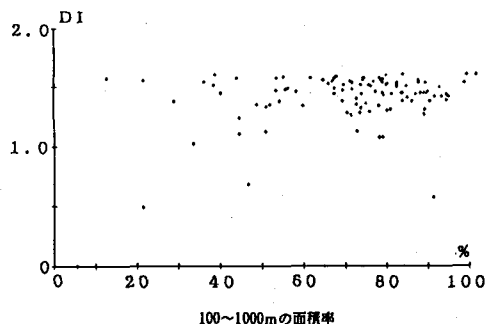


図5 多様性指標 (DI) と 100~1000m面積率の関係

この値は、各高さごとの面積が多岐にわたり均等な流域ほど高くなる。例えば、球磨川、五ヶ瀬川、庄川等はDIの値が高い。留萌川と菊川では等高線600m以上の部分、鶴見川で200m以上の面積が存在しないことから、DIの値が0.7以下となることに注意を要する。図5は多様性指標(DI)と100~1000m面積率の関係を示す。100~1000m面積率の増加に応じてDIの下限値が増加し、DI=1.5前後を上限として分布する。DIが高いためには100~1000m間に相応の面積が必要ながわかる。

CS1は、BA1やVS2では表現できない100m等高線形状を示す。図4においてCとFは図3と同じ点を表し、Fを支点とする系で100m等高線をCまで囲んでできる多角形F-1~6-Cの面積をS8とする。この指標は、100m等高線が尖り、かつ多方向に谷を刻んでいるような流域で低くなる。逆に、100m等高線が辺の多い多角形で円に近いほど高くなる。

CS2は、 $L5=L3+L4$ と与えられる。100m等高線が流域へどの程度入り込んでいるかを示す指標であり、この値が高いほど100m等高線は流域に深く入り込んでいることを表す。

3. 流域地形の類型と特徴

3.1 指標の相関分析

対象とする河川流域におけるこれらの指標相互の関係をj知るために109水系全てについて指標値を求め、基礎的な統計分析を行った。表3にピアソン単相関係数の算出結果を示す。表からNとT/K、NとSS、BSとVは相関係数が0.8前後と特に高い。これらの指標は対象とする流域地形を重複している表現していることが予想されるため、次のように取り扱うこととした。NとT/KとSSは相互に相関が高いことから、一級河川流域において主に空間的大きさを表現する傾向が強いと理解し地形特性を表現する要因としては除外する。またVとBSについては、その定義からVに比しBSの方が地形形状を直接的に表現すると考えBSで代表することとした。したがって、BS、VS1、VS2、BA1、DI、BA2、CS2、CS1の8つの指標について以下の分析を行う。

表3 各指標間の相関係数

指標	河川流域規模			流域形状	谷形状		高さ方向における形状			平野部における形状	
	N	T/K	SS	BS	VS1	VS2	V	DI	BA2	CS2	CS1
N	1.0000	0.7944	0.7972	-0.1661	-0.1194	-0.1635	-0.1157	0.1422	0.1607	0.0210	-0.0456
T/K		1.0000	0.5961	-0.0877	-0.1278	-0.2123	-0.0108	0.0803	-0.0163	0.0822	0.1955
SS			1.0000	-0.0943	-0.0825	-0.0939	-0.0940	0.1900	0.1763	0.0714	-0.0068
BS				1.0000	0.1781	0.4844	0.8424	-0.4287	-0.2762	0.0659	0.5291
VS1					1.0000	0.6353	0.1923	0.0356	0.4474	0.2341	-0.0369
VS2						1.0000	0.3837	-0.0839	0.2495	0.0610	0.0046
V							1.0000	-0.5516	-0.3327	0.1313	-0.5920
DI								1.0000	0.3399	0.0594	-0.3781
BA2									1.0000	0.3012	-0.4906
CS2										1.0000	0.0883
CS1											1.0000

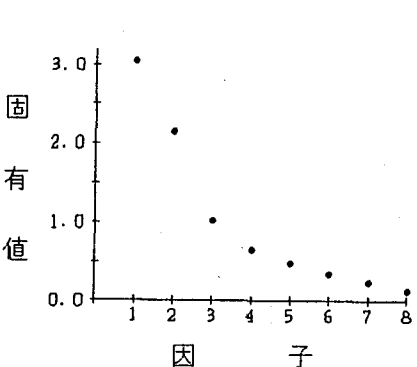


図6 固有値算出結果

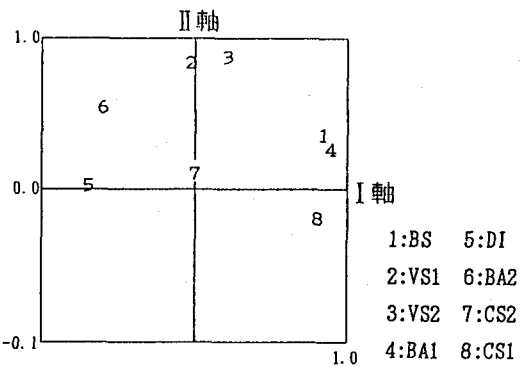


図7 因子負荷量散布図

3.2 地形特性を表現する因子の抽出

流域の地形を分類するにあたって、その特性を表現するために設定した指標は上述のように多岐にわたる。そのためこの指標をそのまま分類に用いたのでは流域地形の総合的な理解が難しい。そこで、これらの指標の意味する因子を探り、それをもとに分類を行うこととした。

まず、因子の数を決定するため全河川流域に関する指標値を変数とし固有値を求めた。結果を図6に示す。図から上位2つの固有値の寄与が高いものと判断できる。そこで因子数を2つとし因子分析を行った。因子負荷量をプロットした結果を図7に示す。この図から各因子軸は次のように解釈できる。

第一因子：各指標は、因子負荷量によって+側と-側に分布した。特にBS、BA1、CS1は+側で大きく、DI、BA2は-側で大きい。前者は標高の低い部分の広さや幅を表現し、後者は標高の高い部分の面積と標高分布を表現する指標である。したがって、流域の標高分布や海に向かっての広がりを表す因子といえる。

第二因子：各指標は、因子負荷量の+側に分布し、特にVS1、VS2が大きい。これらは100m等高線の山側への入り込み具合を表現する指標である。したがって、流域内にみられる谷型地形の様子を表す因子といえる。

以上より、流域地形を表現する多数の指標を2つの因子に総合化して把握できる。この2因子は対象となる一級河川の流域地形を、それらの差異を最も強調するように特徴づける。

3.3 流域地形の分類と流域モデルの作成

因子分析から得た各流域についての因子得点を用いてクラスター分析を行った。その結果、12のタイプに分類され図8に示すデンドログラムを得た。これらのタイプに関する以下の説明上、図中G-G線で分類されるG1からG4の4つのグループを設けた。各流域に関する第1因子得点と第2因子得点の散布図上でこれらの各タイプおよびグループを囲むと図9のようになる。これより先に述べた2つの因子における各タイプの位置づけが理解される。代表的な流域としてG1から筑後川、G2から利根川、G3から黒部川、G4から鶴見川を選出し表示した3次元グラフィックを図10に示す。

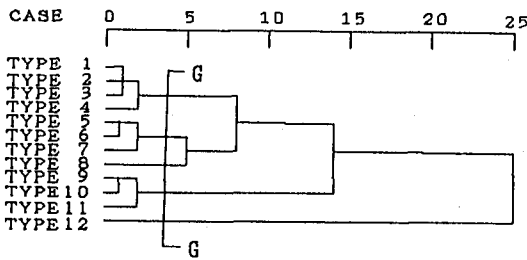


図8 分類結果

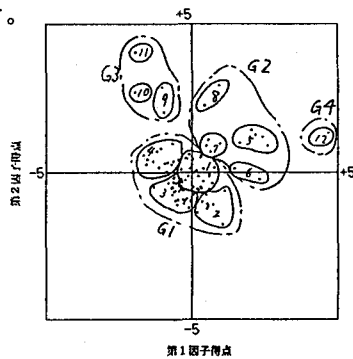


図9 各流域の因子得点散布図

表4 タイプごとの各指標の平均値

	n	I 軸	II 軸	BS	VS1	VS2	BA1	DI	BA2	CS2	CS1
TYPE 1	26	0.151	-0.102	0.12	0.77	48.28	19.85	1.43	3.70	0.42	0.38
TYPE 2	13	0.478	-0.820	0.08	0.49	24.82	21.36	1.35	1.08	0.50	0.52
TYPE 3	29	-0.443	-0.896	0.08	0.19	17.80	8.45	1.46	4.97	0.43	0.29
TYPE 4	14	-1.044	0.428	0.08	1.12	52.53	5.84	1.54	27.86	0.47	0.22
TYPE 5	5	2.180	1.156	0.42	3.49	83.70	56.84	1.27	0.22	0.48	0.54
TYPE 6	2	1.872	-0.045	0.29	0.87	48.00	56.00	1.24	0.05	0.57	0.55
TYPE 7	4	0.680	0.919	0.21	2.30	84.83	33.40	1.43	6.03	0.39	0.41
TYPE 8	2	0.682	2.800	0.21	14.80	104.25	38.85	1.53	4.49	0.58	0.46
TYPE 9	2	-1.005	2.454	0.05	12.25	94.90	12.45	1.53	30.25	0.65	0.21
TYPE10	1	-1.958	2.885	0.04	10.00	87.50	3.40	1.55	75.20	0.89	0.13
TYPE11	1	-1.821	4.033	0.03	18.00	95.00	9.90	1.57	67.30	0.33	0.17
TYPE12	1	4.870	1.317	0.43	5.00	94.70	93.60	0.00	0.00	0.61	0.70
TYPE13	5	-	-	0.40	0.99	27.36	39.40	1.43	0.90	-	-
TYPE14	4	-	-	0.18	0.83	27.20	40.40	1.23	0.03	-	-

また各タイプごとの平均的な流域形状を知るため、因子得点の平均値と分析に用いた各指標の平均値を算出した。その結果は表4にまとめられる。表中タイプ13とタイプ14は2.2で述べたように分析時に除外した特異な例である。この各指標値の平均値を用い、図の総面積を一定にして収束計算を行い各タイプごとの流域モデルを作成した結果を図11に示す。これにより各グループとタイプの流域形状の特徴が容易に理解される。以上の結果をもとに、各グループとタイプの特徴を以下に記す。

G 1 (TYPE 1, 2, 3, 4) : 因子得点が第1と第2ともに原点に近い値をもつ流域である。図10にTYPE 1の筑後川を上げた。これらのタイプは標高の高い部分が小さく、100m等高線が比較的深く山側に入り込んでいるグループである。グループ内については、TYPE 1は比較的平地部が広く、TYPE 2は平地部が比較的広く谷形状の入り込みが鋭い、TYPE 3は平地部が比較的小さく谷形状が鋭い、TYPE 4は高地部が比較的広い、等の特徴を有す。

G 2 (TYPE 5, 6, 7, 8) : G 1に比べて第1因子の影響が大きい。図10に例としてTYPE 7の利根川を上げた。100m等高線が幅広く山側に向けて入り込み、かつ海に向けて平地部が開けている。グループ内で、TYPE 5は特に平地部の広がりが大きく、TYPE 6は100m等高線の入り込みが大きい。TYPE 7はTYPE 5やTYPE 6に比べ第1因子が小さく、このグループ内では海へ向けての広がりが小さい方にあたる。TYPE 8は、G 2の中でも第2因子が大きく、海側への広がりが大きく山側への谷形状の入り込みは少ないことが確認される。このタイプには荒川と土器川のみが分類された。

G 3 (TYPE 9, 10, 11) : 第1因子が負で第2因子が正で大きい。高地部が広く、海側への広がりは大きいとはいえない。TYPE 9が庄川、TYPE10が黒部川、TYPE11が常願寺川の各1河川流域である。

G 4 (TYPE 12) : 図9から第1因子が最も大きく、特に平地部が広いタイプである。鶴見川のみ分類された。

以上のように、地形を表現する指標から導かれた因子をもとに、流域地形の特徴が表現され分類が可能となった。

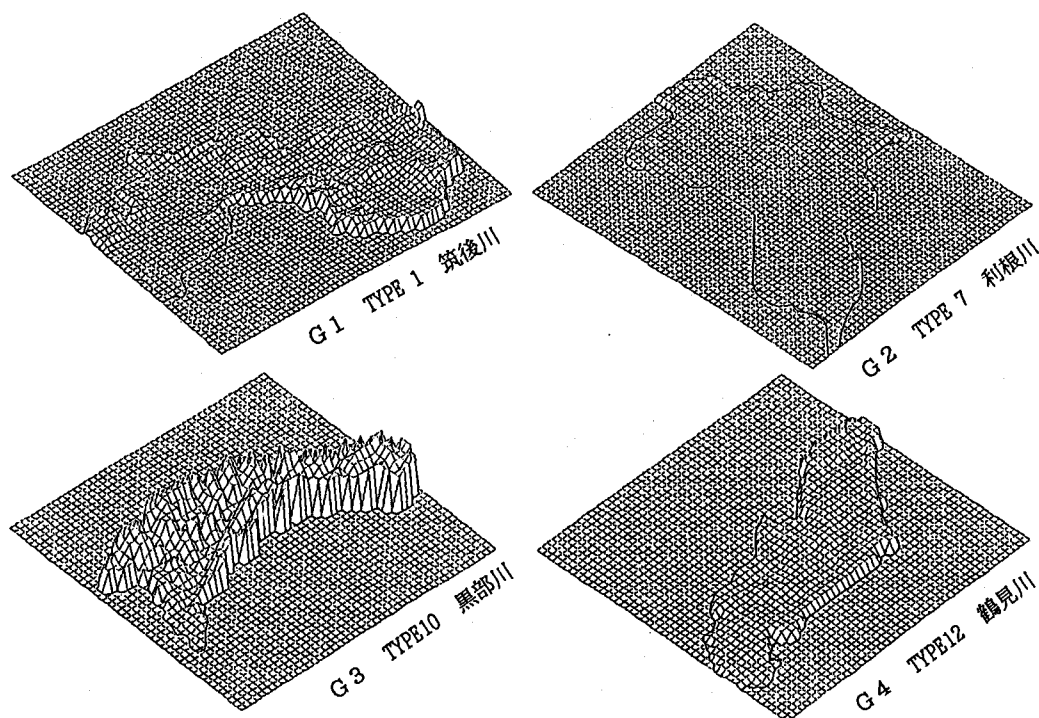


図10 分類された流域の例

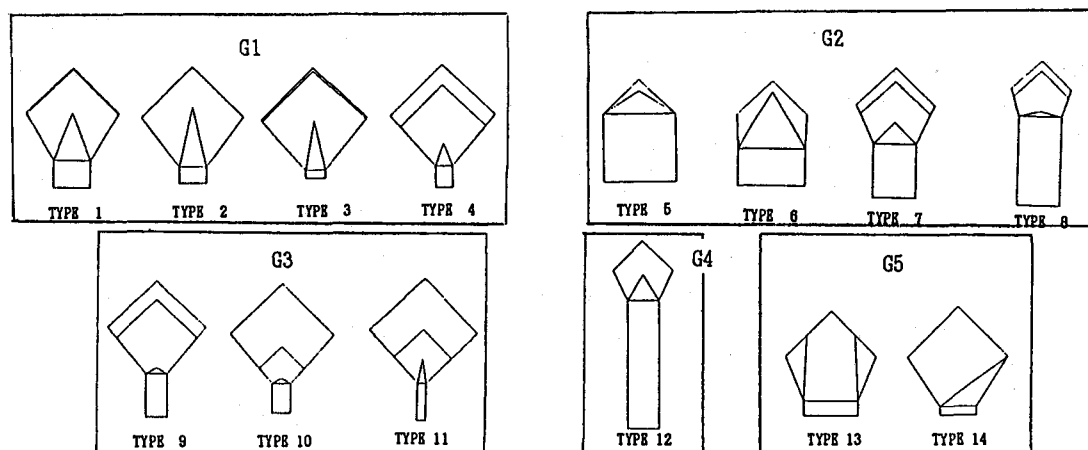


図1 1 一級河川各タイプの流域モデル

4. 結論

本研究では、日本の河川流域における空間構成の理解を目的とし、その幾何学特性の指標化、流域地形の決定要因の明確化、地形分類を行う方法と結果等を提示した。研究の成果は以下にまとめられる。

- 1) 流域の地形特性を表現する指標を新たに提案し、一級河川流域においてそれらの指標のもつ意味や指標間の相関を明らかにした。その結果、流域の地形分類に有効な指標を提示することができた。
- 2) この指標をもとに流域地形の特徴を総合的に表現する因子を明らかにした。低地部あるいは高地部の広さ、谷形状の山側への入り込み具合や海側への広がり等が流域地形の分類に寄与することがわかった。平野部が狭く河川延長が短い、また山が多く起伏に富む我が国の地形においてこのような因子が抽出されたことは理解できる。
- 3) その因子に基づき一級河川 109流域を5グループ、14タイプに分類した。また各タイプごとに指標の平均値を算出しそれをもとに各タイプの流域モデルを作成した。これらの結果から、設定した指標や因子が流域の分類に有効なことを確認し、流域の類型化が可能であることを明らかにした。

参考文献

- 1) 高山茂美：河川地形、共立出版 1974
- 2) 島野安雄：日本の河川流域における水系網の特性について、地理学評論 Vol.51 No10 pp776-784 1978
- 3) 須賀伸一：数値地形モデルの統計的分析による四国島の地形特性、地理学評論 Vol.58 No12 pp807-818 1985
- 4) 斉藤享治：クラスター分析による東北地方の扇状地の分類、地理学評論 Vol.53 No11 pp721-729 1980
- 5) 徳永英二：河川の分布と流域構成について、数理科学11 pp45-50 1981
- 6) 前川知己、中園真人：一級河川流域の地形分類—河川流域の地域景観構造に関する研究（1）—、日本建築学会中国支部研究報告書第17巻 pp277-280 1992
- 7) 前川知己、中園真人：河川水路網の2次元解析—河川流域の地域景観構造に関する研究（2）—、日本建築学会中国支部研究報告書第17巻 pp281-284 1992