

流域圏における水系を視点とした景観特性の分析

— 那珂川、霞ヶ浦、鬼怒川、小貝川の各流域を事例として —

王 尾 和 寿*

Landscape Characteristics from the Viewpoint of River Systems in Watersheds: A Case Study of the Nakagawa, Kasumigaura, Kinugawa, and Kokaigawa Watersheds in the North Kanto Region, Japan

Kazuhisa OHBI*

Abstract

Over the last 100 years, regional landscapes in Japan have undergone major changes in land cover and land use, and the relationships between human society and river have also changed dramatically. The purpose of this study is to investigate the characteristics of landscape changes over a 100-year period related to the river systems in four main watersheds—Nakagawa, Kasumigaura, Kinugawa, and Kokaigawa watersheds—in the North Kanto Region. The four watersheds are divided into 801 subwatersheds. Landscape attributes such as recent land use, landform, geology, and soil are obtained from digital national land information provided by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Japan, and land use maps of the Meiji era were retrieved from old edition topographic maps of the Geographic Survey Institute. Data are aggregated at the subwatershed level, followed by GIS and multivariate analysis. First, the composite properties of the physical environment are examined by a principal component analysis, resulting in nine major components. The subwatersheds are classified into five groups by a cluster analysis using the major component scores as variables. Each group shows its unique characteristics of landform, geology, and soil. Next, the relationships between land use patterns and physical environment in the Meiji era and the present in each classified group are illustrated with the stream order proposed by Strahler. Finally, the steady tendency of landscape change in relation to the stream order of river in the four watersheds is identified. The results suggest that: (1) Each classified group in terms of physical environment has a unique land use pattern and direction of change. (2) There is a strong relationship between stream order and landscape characteristics. (3) In the Nakagawa watershed, development of the Nasunogahara area in the Meiji era had a great impact on the distribution of paddy fields. (4) Major changes of land use from forest to dry field on the tephra-covered terraces are observed in the Kasumigaura watershed. (5) Kinugawa and Kokaigawa watersheds are characterized by a paddy field landscape molded along the river, which was inherited from the Meiji era. (6) Rapid urbanization of the terraces and natural levees are observed in all watersheds.

Key words : watershed, landscape characteristic, land use, river system, stream order, multivariate analysis, geographic information systems

キーワード : 流域, 景観特性, 土地利用, 水系, 河川次数, 多変量解析, 地理情報システム

* 筑波大学大学院生命環境科学研究科

* Graduate School of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba

I. はじめに

われわれが生活する地域をとりまく環境は、地形や植生、気候、生物などの自然環境、生産や経済活動に代表される社会経済環境、また歴史的市街地、伝統的町並み、文化などの歴史文化的環境、など多岐にわたる。近年このような環境の総体をあらわす言葉として、「景観」が用いられることが多い。自治体の景観整備や景観条例、都市景観、さらに2004年に施行された景観法などが代表例であり、これらは風景や景色など環境の視覚的、美的側面を重視したものである。一方、地理学や生態学などで対象とする景観は、ドイツ語の *Landschaft*、英語の *Landscape* の訳語としての景観であり、一定の単位として認識される地表の一部であって、生態学的に一定のまとまりを有する空間であると同時に、固有の文化創造の基盤ともなり、また人々が共属感情を持ち得る歴史的地域でもある(井出・武内, 1985)。さらに具体的に、景観の構造や機能とその変化を研究対象とする景観生態学(Forman and Godron, 1986)では、地形、地質、土壌などの景観の無機的部分と、植生や動植物などの有機的部分、さらに人間活動や文化の違いを反映する土地利用が組み合わさり、等質な景観の単位である景観要素が決定され(横山, 1995)、これらの景観要素が集合しモザイク状に配置されたものを景観(Landscape)としている。

このような景観の分析に関する研究は農村計画と関連する分野に多く、Kristensen (2003) や Kristensen *et al.* (2004) は特に農村景観の変化を、農村の特性と関連付けて対応分析により解明している。また多種多様な環境情報を空間と対応させて取り扱う必要から、地理情報システム(Geographic Information Systems, 以下 GIS とする)と多変量解析を併用することが効果的であり、このような景観分析に関する研究として、Skanes and Bunce (1997) は、空中写真や古地図をデータとして、主成分分析を用い、景観変化の方向性を探っている。また地形図、空中写真、土壌図や土地利用図を用い、メッシュ単位で属性

値を集計し、多変量解析により景観変化パターンとその変化要因を探究したものとして、Poudevigne and Alard (1997) や Poudevigne *et al.* (1997) がある。山本(2000)は長期的・広域的な景観構造の変容過程を解明するため、氷見山(1995)によるメッシュ形式の土地利用変化データベースを利用し、郡単位でその変容様式を類型化している。さらに大久保ほか(1999)は国土数値情報の土地利用メッシュデータと数値地図50mメッシュ(標高)を用い、中山間地の傾斜地水田の分布状況を全国的に把握し、水田立地を類型化し環境保全機能の面から考察を加えている。このような広域景観の分析と関連して、近年、総合治水事業を始めとした河川事業、生物多様性保全計画、生態的な都市計画、市民活動や地域政策の単位としての流域に対する関心が高まり(岸, 2000)、広域景観を分析する際の流域の重要性が認識されている。なぜなら流域は水系を通じて結びつき、階層構造を持つ自然地形的な範囲であり、水利用の合理化を図るための基礎単位として重要なばかりでなく、流域生態系とも呼ぶべき環境要因の有機的結合をささえる環境単位として、空間計画の各段階において重要な役割をはたしう(武内, 1980)からである。加えて明治期までのわが国の社会は水田を中心とした農耕社会であり、利水・舟運を通じて河川を中心とする流域が広域的な生活圏を形成していた(金蔵, 1997)。

しかし流域を視点として多種多様な環境条件により構成される景観特性をとらえる手法ははまだ確立されていない。そこで本研究では北関東の4流域の比較分析を通じて、流域の水系構造にしたがい景観特性を解明する手法、およびその一般化について考察する。前述のように本来の景観は自然条件や社会経済的条件が相互に影響しあい形成されるものであるが、本研究では、景観の基礎を成す自然環境条件として地形・地質・土壌・標高および傾斜を、社会経済活動が地域に投影されたものとして土地利用を選択し、これらの組み合わせを「景観」ととらえ、景観が示す空間的特徴や社会経済的影響による景観の変化を総称して「景観特性」と呼ぶ。また同一流域に属し共通の河口

を持つすべての流路を「水系」と呼び、後述の河川次数により等級化されたものを「水系構造」とする。

GISを利用して景観特性を解明する場合、最も基礎的かつ結果を大きく左右するものとして、使用するデータの種類・タイプおよび解析単位があげられる。前述の Poudevigne and Alard (1997) や Poudevigne *et al.* (1997) はデータとして紙地図や航空写真を利用しているが、それらの情報を最終的にメッシュ単位で集計し解析している。同様に、李ほか (1989) は多摩川中流域においてメッシュ形式の環境基礎情報データベースを作成し、解析単位としている。メッシュ形式のデータは構造が単純で重ね合わせも容易なことから、国土数値情報や数値地図 50 m メッシュ (標高) など、標準地域メッシュ体系をもとに、わが国の地理情報整備の初期段階から多く用いられており、特に広域を対象とする場合これらのデータ形式に合わせてメッシュを解析単位とすることが多い。しかしメッシュは規則的に地域を区分したものであり、解析単位としてのメッシュ自体に特別の意味あるいは関連性は存在しない。

これに対して、Skanes and Bunce (1997) は、村落を解析単位として用い、山本 (2000) は、第 2 次世界大戦前と戦後の景観変容を解析する場合に、近代化以前から地域社会の重要な単位である郡を解析単位とすることの有効性を説いている。このように景観分析を行う場合、時間的・空間的スケールにより解析単位を設定することが有効であり、本研究のように流域を対象とする場合、全体流域を構成する小流域を解析単位とすることにより、水系を通じて結びついた流域の階層性を表現することができる。このような例として、篠沢・池口 (1993) は国土数値情報を用い、土地自然的、社会的環境特性から小流域分類を行い、得られた分類結果が河川空間や治水整備の特性を反映することを明らかにした。しかしその目的は河川環境整備のための河川特性や治水上の要請の把握であり、また小流域単位で分類を行っているが、水系構造に応じた小流域間の関連性については考察されていない。また、Kato *et*

al. (1997) は国土数値情報や環境省の自然環境保全基礎調査による現存植生図などのメッシュデータを解析し、土砂崩壊防止、土壤侵食防止、水涵養、大気浄化の 4 つの機能を流域単位で評価しているが、全体流域を評価の単位として用い、小流域レベルでの議論がなく、また景観を対象としたものでもない。

これに対し本研究は、自然環境および土地利用の組み合わせとしての景観を対象として、小流域単位で自然環境に関する類型化を行い、類型地域と土地利用との関連性を水系構造にしたがい整理することにより景観特性を解明する手法、およびその一般化について考察するものである。

そのためには、複数の地域を対象に、そこに共通して見出せる景観に関する性質、傾向を把握するとともに、差異を生み出している要因について分析する必要がある。そこで、栃木県那須郡の那須岳を源とし、東南方向に流下し太平洋に流入する那珂川、栃木県の鬼怒沼に端を発し利根川に流入する鬼怒川、西の鬼怒川と並行して南流し、利根川に合流する小貝川、そして茨城県の東南に位置する霞ヶ浦の 4 流域を対象に (図 1) 比較分析を行った。これらの流域では、多様な地形配列と、変化に富む土地利用がみられ、歴史的には江戸時代に奥州から江戸への物資輸送の舟運等により栄えた地域であると同時に、古くから治水事業や新田開発が行われ、現在もなお河川整備が進められているなど、自然環境および社会経済の両面から多様性に富むと同時に、河川と関係の深い地域である。

II. 使用データと研究方法

1) 使用データ

近年、GIS による分析に利用できる多くのデータが無償で公開されるようになった。国土交通省が提供している国土数値情報や、国土地理院提供の数値地図等はその代表的なものである。本研究では表 1 に示すように、国土数値情報から地形、地質、土壤、流域界、河川流路および 1997 年の土地利用データを利用した。また標高データは国土地理院発行の数値地図 50 m メッシュ (標高)

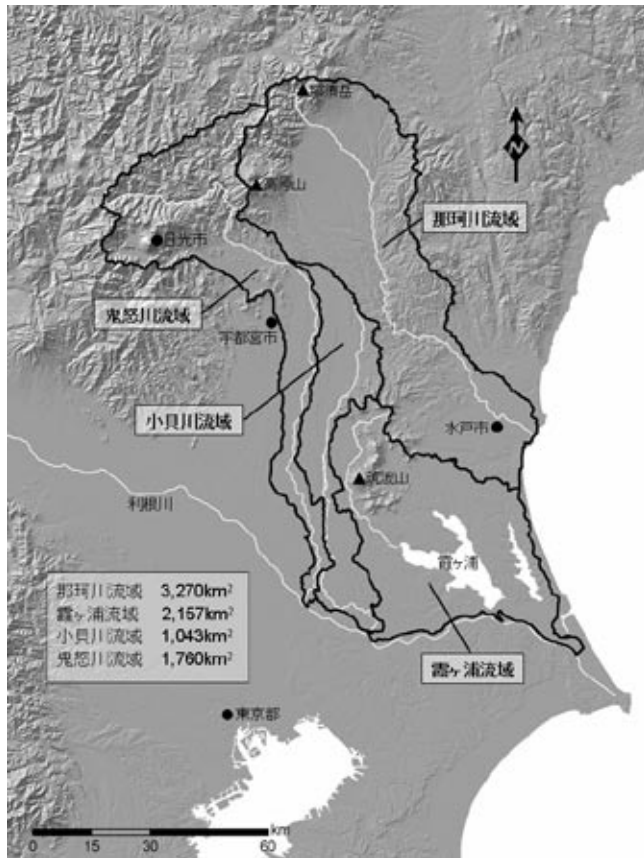


図 1 研究対象地域：北関東に位置する那珂川，霞ヶ浦，小貝川，鬼怒川の各流域。

Fig. 1 Location of the study area: the Nakagawa, Kasumigaura, Kokaigawa, and Kinugawa watersheds in the North Kanto Region, Japan.

を利用し，地形傾斜度は GIS ソフトにより標高データから作成した。

2) 明治期土地利用図の復元

明治以降の近代化，産業構造の変化により，わが国の国土利用は著しく変化しており，流域圏の景観もその影響を受けている。そこで明治期と現在の比較を行うため，明治期における対象流域の土地利用を復元した。過去の土地利用形態を GIS 上に再現し解析に利用するためには，正確な位置情報を有する地形図が必要である。そこで国土地理院発行の 5 万分 1 旧版地形図からメッシュ形式のデータを作成することとした。使用した旧版地形図は明治 36 (1903) 年から大正元 (1912)

年に測図された単色図 33 枚である。まずこれらの旧版地形図をスキャナーで読み取り，ラスタ画像として GIS に格納した。次に GIS 上でベクタ形式のメッシュを旧版地形図に重ね合わせ，目視により各メッシュ枠内で最も優占する土地利用一種を，当該メッシュの土地利用として属性値を与えた。メッシュの大きさは，比較対象である国土数値情報の土地利用メッシュサイズ (1/10 細分メッシュ，約 100 m × 100 m) にそろえることが望ましいが，計測基図の縮尺が国土数値情報 (25,000 分 1) とは異なる点，すべて目視による手作業で行うという作業上の制約を考慮し，基準地域メッシュを縦横 4 等分した，1/4 細分メッ

表 1 使用したデータ.

Table 1 List of data sets used in this study.

データ名	データ形式	出典
地形	基準地域メッシュ (約 1 km × 1 km)	国土交通省 国土数値情報 土地分類メッシュ (G05-54M)
地質	基準地域メッシュ (約 1 km × 1 km)	国土交通省 国土数値情報 土地分類メッシュ (G05-54M)
土壌	基準地域メッシュ (約 1 km × 1 km)	国土交通省 国土数値情報 土地分類メッシュ (G05-54M)
小流域 (単位流域)	1/10 細分メッシュ (約 100 m × 100 m)	国土交通省 国土数値情報 流域・非集水域メッシュ (W07-52M)
河川流路	ラインデータ	国土交通省 国土数値情報 流路 (ks-272)
標高	50 m メッシュ (50 m × 50 m)	国土地理院 数値地図 50 m メッシュ (標高)
傾斜	50 m メッシュ (50 m × 50 m)	標高データを用い GIS ソフトにより作成
1997 年土地利用	1/10 細分メッシュ (約 100 m × 100 m)	国土交通省 国土数値情報 土地利用 (L03-09M)
明治期土地利用 (1903-1912)	1/4 細分メッシュ (約 250 m × 250 m)	国土地理院発行の 5 万分 1 旧版地形図 より復元

シュサイズ (約 250 m × 250 m) とした。土地利用種については、田、畑、森林、荒地、市街地、河川湖沼の 6 区分を用いた。データ作成にあたっては、大正 7 (1918) 年に行われた標準経度値の +10.4 秒修正 (国土地理院, 1997) を考慮して位置の補正を行い、さらに世界測地系に変換し GIS 上で他のデータとの重ね合わせができるようにした。

3) 研究方法

はじめに、対象流域における景観の基礎を成す自然環境条件を理解するため、全体流域を構成する小流域ごとに、標高、傾斜、地形、地質、土壌データを集計し、主成分分析によりそれらの関連性を把握した上で、クラスター分析による類型化を行った。次に河川次数により流路を階級区分し、水系構造を把握した。対象流域ごとに、類型地域別、河川次数別および河川からの距離帯別に、明治期と近年の土地利用変化を比較分析し、最終的に対象 4 流域の景観特性を、水系構造か

らみた類型地域の構成と土地利用変化との関連性により考察した。

GIS ソフトウェアとしては ArcView 9.2 (ESRI Inc.) を、多変量解析には JMP (SAS Inst.) を使用した。

III. 自然環境情報による地域分類

景観は、前述のように地形、地質、水系等の無機的環境と植生を中心とした有機的環境、そして人間の土地利用という組み合わせにより決定されるが、本章では景観の構成基盤として重要な、地形、地質、土壌等の自然環境情報間の関連を考察したうえで、地域の類型化を行う。

1) データ概要

本章の分析に用いたデータは、地形、地質、土壌、標高、傾斜度である。標高および傾斜度はセルサイズ 50 m × 50 m のラスタデータであり、地形、地質、土壌データは基準地域メッシュ単位 (約 1 km × 1 km) で提供されている。データに

より分解能が異なるため、分析に際して、地形、地質、土壌データはセルサイズ 50 m × 50 m のラスタデータに分割して用いたが、データ精度自体は基準地域メッシュの分解能と変わらない。

2) 解析単位としての単位流域の抽出

全体流域はいくつかの流域に分割され、流域はさらに小さな小流域に分割されるという階層構造を成している（岸, 2002）。これらの小流域は水循環を中心に、地形、地質、土壌、動植物などが組み合わさり、地域生態系を構成する環境単位として重要である（李ほか, 1989）。そこで本研究ではこれらの小流域を解析単位として利用し、以後、単位流域¹⁾と呼ぶことにする。単位流域の抽出にあたっては、国土数値情報の流域・非集水域メッシュデータを利用した。同データは 1/10 細分メッシュサイズ（約 100 m × 100 m）で提供されており、これをベクタ形式に変換し、対象流域全体で 801（那珂川流域 393、霞ヶ浦流域 130、小貝川流域 92、鬼怒川流域 186）の単位流域を抽出し解析単位とした（図 2）。

3) 自然環境情報による地域分類

GIS ソフト上で 801 の単位流域と、標高、傾斜度、地形、地質、土壌の各ラスタデータを重ね合わせ、単位流域ごとの平均標高と平均傾斜度を算出し、地形（7 区分）、地質（8 区分）、土壌（10 区分）については、区分ごとの面積率を算出した結果、単位流域ごとに 27 の変数が得られた。これらの変数について多重共線性を取り除き、相互が無関係の新しい成分を抽出することにより対象流域の環境特性を把握するため、主成分分析を適用した。変数を標準化し相関行列を用いた主成分分析を行った結果、表 2 に示す固有値 1 以上の 9 主成分が得られ、これらで全分散の 72% が説明できた。合わせて表 2 には各主成分と元の変数との相関を表す因子負荷量を示した。

第 1 主成分は寄与率 22.23% で、絶対値が大きい因子負荷量としては、平均勾配 (0.934)、山地 (0.905)、平均標高 (0.799)、褐色森林土 (0.719)、ローム台地 (-0.671)、ローム (-0.662)、黒ボク土 (-0.530) があげられる。標高が高く険しい山地に関連する変数が強い正の相関を示し、

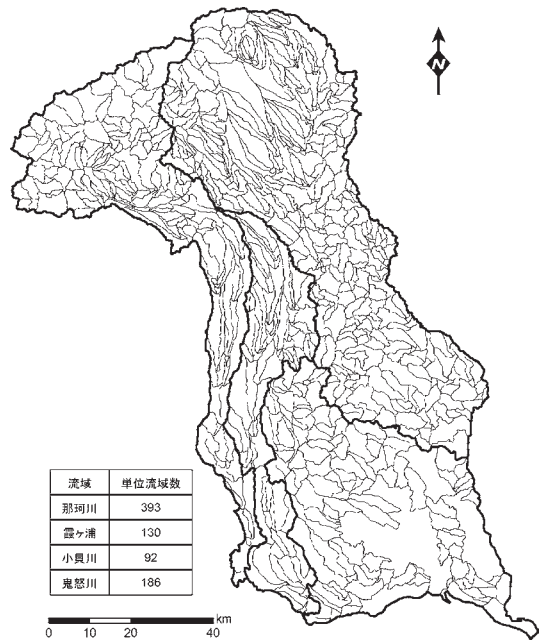


図 2 単位流域図。対象流域は 801 の小流域から構成され、これらを単位流域と呼び、地域分類のための解析単位とした。

Fig. 2 801 subwatersheds that were used as analysis units for land classification.

平坦な台地に関する変数が負の相関を示していることから、地形の険しさあるいは高低差を示す成分であると考えられる。第 2 主成分では三角州性低地 (0.726) や泥・シルト (0.740)、グライ土 (0.518) が正の強い相関を示し、河川沿いに形成された三角州低地を示すものである。第 3 主成分はローム台地 (0.588)、ローム (0.595)、黒ボク土 (0.497) と強い正の相関、扇状地性低地 (-0.449) や低地土 (-0.517) と強い負の相関があり、台地と低地域を分離する成分であると考えられる。また第 4 主成分は砂礫台地 (0.346)、扇状地性低地 (0.387)、礫・砂 (0.474)、低地土 (0.479) との相関が強く、位置的には、鬼怒川中流域および小貝川上流域の河川沿い地域を示す成分である。第 5 主成分は丘陵地 (0.634) および火山碎屑物 (0.768) が高い因子負荷量を示し、第 6 主成分は自然堤防 (-0.574) と強い負の相関を示した。第 7 主成分は深成岩 (0.560) およ

表 2 各主成分の固有値，寄与率，累積寄与率，因子負荷量の値。

Table 2 Eigenvalues, contributions, cumulative contributions, and factor loadings of principal components.

主成分	1	2	3	4	5	6	7	8	9
固有値	6.00	2.86	2.52	1.94	1.61	1.21	1.18	1.09	1.04
寄与率	22.23	10.61	9.32	7.19	5.95	4.48	4.39	4.04	3.85
累積寄与率	22.23	32.84	42.16	49.35	55.31	59.79	64.18	68.21	72.06
因子負荷量									
標高・勾配									
平均標高	0.799	0.098	0.357	0.358	0.132	-0.012	-0.008	-0.018	0.026
平均勾配	0.934	0.142	0.133	0.034	-0.075	0.001	0.036	0.014	-0.001
地形									
山地	0.905	0.115	0.061	-0.079	-0.166	0.014	-0.006	0.048	-0.113
丘陵地	-0.019	-0.306	-0.289	-0.282	0.634	-0.143	0.053	0.001	0.110
ローム台地	-0.671	-0.133	0.588	-0.097	-0.256	-0.093	-0.018	-0.015	0.055
砂礫台地	-0.169	-0.338	-0.047	0.346	-0.136	0.385	-0.206	0.126	-0.413
扇状地性低地	-0.118	-0.398	-0.449	0.387	-0.048	0.177	0.243	-0.192	0.363
三角洲性低地	-0.465	0.726	-0.095	-0.031	0.108	0.307	-0.035	-0.067	-0.003
自然堤防	-0.266	0.340	-0.303	0.285	-0.034	-0.574	-0.183	0.164	-0.187
地質									
礫・砂	-0.192	-0.575	-0.309	0.474	-0.104	0.328	-0.107	0.060	-0.029
泥・シルト	-0.461	0.740	-0.299	0.133	0.085	-0.041	0.054	-0.068	-0.043
火山碎屑物	0.035	-0.269	-0.026	-0.089	0.768	-0.142	0.042	0.018	-0.018
ローム	-0.662	-0.101	0.595	-0.154	-0.226	-0.131	0.066	0.008	0.074
半固結-固結堆積物	0.348	-0.142	-0.394	-0.510	-0.256	0.008	-0.352	-0.131	0.017
火山性岩石	0.675	0.160	0.277	0.254	0.130	0.007	-0.124	-0.036	0.082
深成岩	0.370	0.099	0.049	0.009	-0.202	-0.010	0.560	0.253	-0.186
変成岩	-0.006	0.033	-0.080	-0.069	-0.052	0.003	0.660	0.138	-0.021
土壌									
岩石地	0.204	0.044	0.048	0.078	-0.094	0.113	-0.001	-0.156	0.517
岩屑性土	0.283	0.115	0.245	0.298	0.186	-0.036	-0.186	-0.125	0.030
未熟土	-0.070	0.118	-0.085	0.083	0.023	-0.015	-0.269	0.778	0.174
黒ボク土	-0.530	-0.446	0.497	-0.037	0.227	0.048	0.019	0.074	-0.160
褐色森林土	0.719	-0.090	-0.343	-0.447	-0.190	-0.005	-0.028	0.036	-0.058
ポドゾル	0.459	0.210	0.341	0.456	0.138	-0.016	0.025	-0.047	0.004
低地土	-0.305	-0.038	-0.517	0.479	-0.157	-0.364	0.104	-0.153	-0.079
グライ土	-0.294	0.518	-0.124	-0.082	0.174	0.441	0.043	0.275	0.211
泥炭土	-0.365	0.474	0.096	-0.102	0.007	0.131	-0.067	-0.362	-0.165
砂礫・市街地	-0.204	-0.021	0.110	0.070	-0.259	-0.265	-0.088	0.098	0.467

太字：因子負荷量の絶対値＞0.5

び変成岩 (0.660)，第 8 主成分は未熟土 (0.778)，第 9 主成分は岩石地 (0.517) と砂礫・市街地 (0.467) が高い因子負荷量を持っていた。

次に 9 つの主成分に対して単位流域ごとの主成分得点を求め，クラスター分析により，単位流域を類型化した。個体数が多いことから非階層的

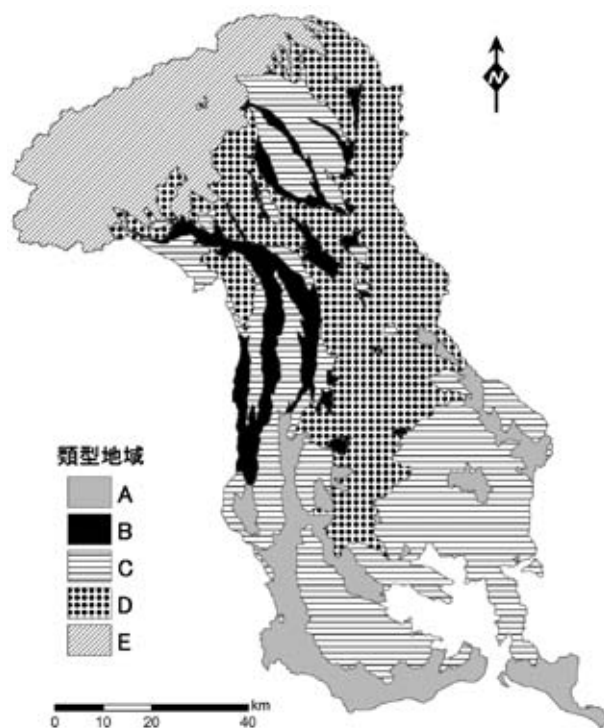


図 3 自然環境情報による単位流域の類型化。主成分分析により、標高、傾斜、地形、地質、土壌などの自然環境情報間の関連を分析した上で、主成分得点を変数としたクラスター分析により、対象流域を5つに類型化した。

Fig. 3 Distribution of the physical environment types. The composite properties of the physical environment such as altitude, landform, slope, geology and soil were examined by principal component analysis (PCA), resulting in nine major components. Using all of the components as variables, watershed units were classified into five clusters.

手法である k-means 法を用い、クラスター数を変化させながら検討した結果、類型間の違いが明確に現れる 5 分類を採用し、図 3 にその空間分布を示した。また各類型の特徴を理解するため表 3 に示すように、類型ごとの平均主成分得点、平均標高、平均勾配、そして地形、地質、土壌の面積割合を算出した。

最も寄与率が高く、標高および傾斜に関する成分である第 1 主成分の得点を比較すると、類型 A, B, C が負の値を示し台地から低地域に分布すること、逆に類型 D, E は正の値を示し標高の高い山地から丘陵地域に分布するものと考えられる。他の主成分得点および地形、地質、土壌等の面積割合と合わせて各類型の特徴を考察すると、

類型 A は第 1 主成分得点が最も低く (-2.671)、三角州性低地や泥・シルトと強い正の相関を示す第 2 主成分の得点が最も高い (3.240)。地形区分の面積割合も三角州性低地 (44.81%)、自然堤防、ローム台地の割合が高く、地質では泥・シルト (70.26%) が高いなど、鬼怒川、小貝川の下流域および那珂川の下流域を中心に、河川に沿った地域に分布している。類型 B も第 1 主成分得点は負の値を示し (-1.326)、第 4 主成分得点が高い (1.825)。第 4 主成分は砂礫台地や扇状地性低地、礫・砂、低地土との相関が強く、地形区分の面積割合では扇状地性低地 (30.48%)、砂礫台地、ローム台地等の割合が高く、地質区分では礫・砂 (61.20%) が高い。鬼怒川中流域、小

表 3 平均主成分得点, 平均標高, 平均勾配, および地形, 地質, 土壌の面積割合による各類型の特性.

Table 3 Characteristics of physical environment types defined by the nine major component scores, mean altitude, mean slope, landform, geology, and soil.

	類型 A	類型 B	類型 C	類型 D	類型 E
平均主成分得点					
第 1 主成分	-2.671	-1.326	-2.404	1.175	3.733
第 2 主成分	3.240	-2.033	-0.337	-0.512	0.834
第 3 主成分	-1.207	-1.270	1.759	-0.893	1.266
第 4 主成分	0.455	1.825	-0.532	-1.013	0.994
第 5 主成分	0.323	-0.425	-0.370	0.248	0.108
第 6 主成分	-0.075	0.790	-0.253	-0.123	0.017
第 7 主成分	-0.267	-0.015	0.099	0.003	0.058
第 8 主成分	-0.002	-0.210	0.039	0.049	0.015
第 9 主成分	-0.197	0.059	0.177	-0.094	0.042
平均標高 (m)	18.89	155.94	89.30	254.90	1140.78
平均勾配 (度)	1.18	2.10	1.90	9.39	23.33
地形 (%)					
山地	2.27	5.11	2.84	55.54	98.45
丘陵地	1.33	8.68	5.82	28.31	0.00
ローム台地	26.58	29.21	75.92	5.62	0.37
砂礫台地	0.28	20.75	0.91	0.12	0.00
扇状地性低地	1.66	30.48	2.67	9.71	1.18
三角州性低地	44.81	0.07	10.97	0.48	0.00
自然堤防	23.07	5.70	0.86	0.22	0.00
地質 (%)					
礫・砂	3.32	61.20	4.60	9.10	0.53
泥・シルト	70.26	2.48	11.75	4.67	1.29
火山碎屑物	0.00	1.95	1.18	13.50	2.46
ローム	24.25	24.52	77.86	7.06	0.34
半固結-固結堆積物	0.89	6.21	1.39	41.20	11.39
火山性岩石	0.29	2.23	0.97	14.61	64.19
深成岩	0.58	1.24	0.97	7.83	19.80
変成岩	0.41	0.17	1.30	2.04	0.00
土壌 (%)					
岩石地	0.00	0.02	0.09	0.02	3.39
岩屑性土	0.00	0.00	0.00	0.04	3.07
未熟土	1.97	0.00	0.08	0.00	0.00
黒ボク土	21.92	43.45	71.28	23.24	11.86
褐色森林土	2.98	10.59	3.48	65.40	53.20
ポドゾル	0.00	0.00	0.05	0.04	28.19
低地土	30.14	41.85	5.12	8.59	0.06
グライ土	21.80	0.62	6.64	2.25	0.00
泥炭土	17.84	0.02	8.64	0.09	0.00
砂礫・市街地	3.35	3.45	4.63	0.32	0.23

類型ごとの主要な環境情報の組み合わせは次の通りである。

類型 A：三角州性低地, 自然堤防-泥・シルト-低地土, グライ土；類型 B：扇状地性低地, 砂礫台地-礫・砂-黒ボク土, 低地土；類型 C：ローム台地-ローム-黒ボク土；類型 D：山地, 丘陵地-固結堆積物, 火山碎屑物-褐色森林土；類型 E：山地-火山性岩石-褐色森林土, ポドゾル。

貝川上流域の河川沿いに分布している。類型 C は第 1 主成分得点が低く (−2.404), 台地と低地域を分離する第 3 主成分得点が高い (1.759)。さらに地形, 地質, 土壌についての区分割合もローム台地 (75.92%), ローム (77.86%), 黒ボク土 (71.28%) であり, 霞ヶ浦周辺地域から那珂川下流域および上流域, さらに鬼怒川・小貝川流域のローム台地を中心に分布している。類型 D は第 1 主成分得点が正の値 (1.175) で, 丘陵地や火山碎屑物と正の相関を示す第 5 主成分の得点も正の値 (0.248) を示しており, 八溝山地から白河丘陵, 塩那丘陵にかけて広く分布している。類型 E は第 1 主成分得点が最も高く (3.733), 地形区分での面積割合もほとんどが山地で占められており (98.45%), 鬼怒川上流域の男体山から那珂川上流域の那須岳へかけての山地域に分布している。

IV. 水系構造からみた景観特性の分析

全体流域は単位流域から構成され, 各単位流域は水循環を中心に地形, 地質, 土壌, 動植物などが組み合わさった環境単位としての役割を有し, 水系により結びついている。一方, 土地利用もまた農業における水利用, 新田開発, 治水事業, 生活用水および工業用水利用など, 水系構造に強く影響されている。特に明治期以前の水田を中心とした農耕社会においては水系と土地利用とは密接に関連していたと考えられる。したがって流域において景観の基礎を成す自然環境条件および土地利用を統一的に把握する場合に, 水系構造を視点とすることが有効であろう。

そこで以下では, 水系構造を河川次数により把握した上で, 河川次数と, 自然環境情報による類型地域および土地利用の関係を考察するとともに, 河川への近接性と土地利用の関係を含めて視覚的に整理し, 景観特性を把握した。

1) 河川次数による水系構造の抽出と集計単位の設定

対象流域の河川流路は, 国土数値情報の河川流路データ²⁾ (ベクトル形式) を利用した。河川流路は最上流点, 合流点, 河口点等で分割され, 類

型区分された 801 の単位流域と対応している。

はじめに水系構造を把握するため, 河川次数の設定を行った。河川次数については種々の方法が提唱されているが, 作業を機械的に進められる点, 既存研究の多くが採用している点, 次数の値に連続性がある点で Strahler 方式が優れている (高山, 1974) と考えられ, 本研究でも同方式を用いた。Strahler 方式では次数の等しい 2 本の w 次水流が合流すれば, $(w + 1)$ 次水流になるが, 低次の水流が高次の水流に合流しても次数は増加しない。この法則により対象流域の河川流路データの次数設定を行った結果, 那珂川流域では最高次数が 5 次, その他の流域では 4 次が最高であった。また n 次の河川流路を含む単位流域を n 次単位流域³⁾ とし, 河川次数により単位流域を区分すると図 4 のようである。これを用いて流域ごとに河川次数別に出現する, 自然環境情報による類型地域の面積率および明治期と近年 (1997 年) の土地利用面積率 (水域を除く 5 区分) を, GIS ソフトのクロス集計により算出した結果, 表 4 が得られた。

次に, 河川への近接性と土地利用との関連を把握するため, GIS ソフトにより河川流路を中心に 250 m 間隔の連続バッファを生成した (図 5)。最後に, 対象 4 流域界, 自然環境情報による類型地域, 河川次数による区分地域, 河川流路からの 250 m 間隔連続バッファ地域の 4 データを GIS ソフト上で重ね合わせ, 結合させ集計単位とした。この集計単位と, 復元された明治期土地利用および近年の土地利用データを GIS ソフト上で重ね合わせ, クロス集計した結果, 図 6 ~ 図 9 に示すように, 4 流域において河川次数別および類型地域別に, 河川流路への近接性と土地利用との関係を視覚化することができた。

2) 河川次数と自然環境情報による類型地域との関連

対象流域の水系構造からみた自然環境特性を把握するため, 表 4 により, 河川次数と自然環境情報による類型地域の出現パターンとの関係について考察する。那珂川流域では 1 次から 3 次の単位流域は主に類型 D (山地・丘陵地-固結堆積物-

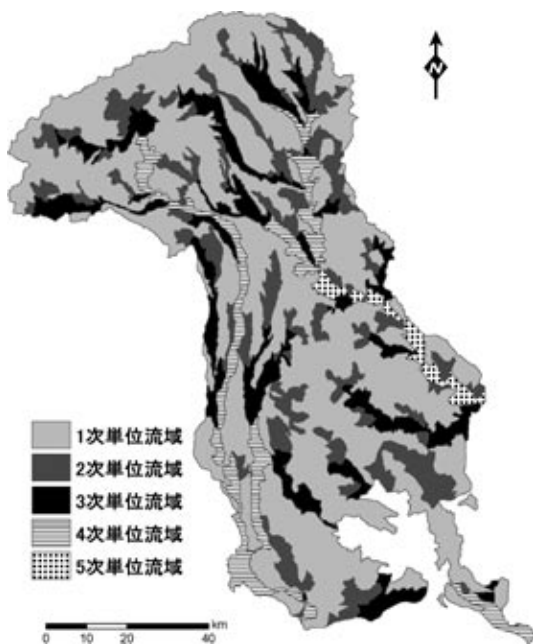


図 4 流路次数による単位流域の区分.

Fig. 4 Classification of subwatersheds by stream order.

褐色森林土・黒ボク土) および C (ローム台地-ローム-黒ボク土), 4 次単位流域は主に類型 B (ローム, 砂礫台地・扇状地性低地-礫・砂-黒ボク土・低地土) および類型 D から構成され, さらに 5 次単位流域は類型 A (三角州性低地・自然堤防-泥・シルト-低地土・グライ土) が 70% 以上を占めている。また鬼怒川流域では 1 次および 2 次の単位流域では類型 E (山地-火山性岩石-褐色森林土・ポドゾル) の面積割合が 60% 以上を占め, 3 次単位流域では類型 E が約 47%, 次いで類型 B が約 40% である。また 4 次単位流域では, 類型 B が約 49%, 類型 A が約 29% となっている。これに対して上流部に山地域 (類型 E) を持たない, 小貝川流域と霞ヶ浦流域では, 1 次および 2 次の単位流域で類型 C (ローム台地-ローム-黒ボク土) が約 55 ~ 65% を占め, 3 次単位流域では類型 A あるいは類型 B の割合が高い。また 4 次単位流域はすべて類型 A で構成されている。

したがって, 各河川次数に対応する単位流域は

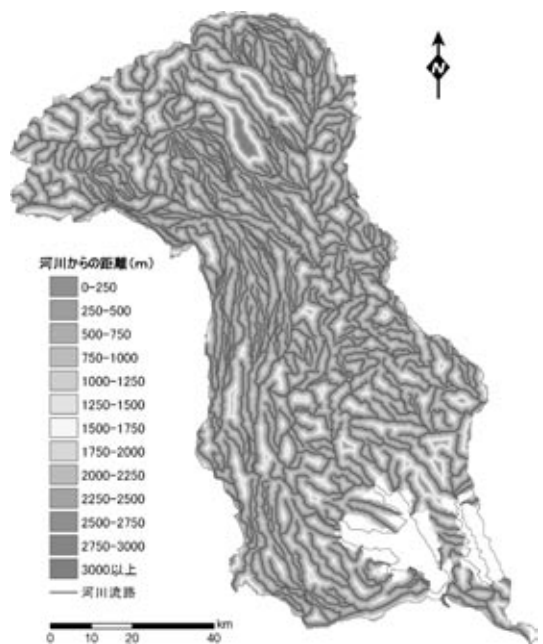


図 5 河川流路からの 250 m 間隔の連続バッファ.

Fig. 5 Continuous 250 m buffers from rivers.

複数の類型から構成されるが, その面積率は河川次数が増加するにつれ, 類型 C, D, E は減少し, 類型 A, B は増加する傾向がみられた。主に台地や低地域に位置し類型 E を有しない霞ヶ浦流域や小貝川流域など, 対象流域により類型間の面積率は異なるが, 河川次数の変化と類型地域の出現パターンには対象流域間で共通の規則性がみられた。

3) 河川次数と土地利用種別との関連

表 4 により河川次数と土地利用パターンの関係を把握した。対象 4 流域における明治期の土地利用は, 河川次数の増加に伴い, 田, 畑, 市街地は増加 (ただし最高次数において田の割合が若干低下し畑が急激に上昇する傾向がある), 森林および荒地は減少するという共通の傾向がみられるが, 増減率や河川次数別の土地利用割合は, 対象流域ごとに特徴を持っている。1 次, 2 次といった河川次数の低い地域に山地 (自然環境による類型 D, E) が存在する那珂川および鬼怒川流域に対して, 山地域を持たず主に台地, 低地および自

表 4 対象流域における河川次数別の自然環境類型および土地利用の構成割合。

Table 4 Physical environment type ratio and land-use ratio by stream order in each main watershed.

流域名	河川 次数	自然環境情報による類型地域面積（％）					土地利用別面積（％）		上段：明治期		下段：近年		合計 面積 (km ²)
		類型 A	類型 B	類型 C	類型 D	類型 E	田	畑	森林	荒地	市街地		
那珂川	1	－	0.24	31.70	51.73	16.33	明治 近年	7.55 15.20	11.00 10.91	70.65 62.09	9.49 1.48	1.31 10.33	1,945
	2	4.44	14.96	11.21	57.87	11.52	明治 近年	13.47 18.53	12.03 11.55	63.43 57.72	8.91 1.38	2.17 10.82	515
	3	8.45	14.00	31.42	39.58	6.55	明治 近年	17.24 25.92	15.30 14.89	57.54 43.72	6.75 1.33	3.18 14.14	459
	4	－	39.36	9.97	50.67	－	明治 近年	19.57 31.84	18.93 10.79	52.30 39.33	6.22 0.82	2.99 17.22	135
	5	70.22	0.54	5.79	23.46	－	明治 近年	16.00 22.30	37.78 23.87	38.18 32.63	1.75 0.79	6.29 20.41	121
霞ヶ浦	1	12.79	－	66.08	21.13	－	明治 近年	20.46 23.72	17.93 25.96	54.51 27.22	2.77 1.81	4.32 21.29	1,086
	2	29.17	4.08	61.83	4.93	－	明治 近年	26.71 28.36	22.23 30.02	43.73 23.20	1.94 1.69	5.39 16.74	297
	3	78.18	－	19.59	2.23	－	明治 近年	47.96 52.41	19.72 14.53	19.23 13.54	5.68 1.86	7.41 17.66	169
	4	100.00	－	－	－	－	明治 近年	40.95 42.41	6.37 8.37	37.21 5.17	10.76 2.54	4.71 41.51	39
	5	－	－	－	－	－	明治 近年	－	－	－	－	－	－
小貝川	1	13.23	10.37	54.84	21.56	－	明治 近年	29.54 40.50	18.96 19.73	44.91 18.74	2.35 0.74	4.25 20.30	599
	2	4.33	29.92	60.19	5.56	－	明治 近年	35.70 39.95	18.89 22.67	38.91 15.75	1.73 0.99	4.77 20.64	156
	3	47.14	28.20	1.64	23.03	－	明治 近年	43.85 55.26	22.42 8.83	26.20 14.50	1.40 1.66	6.13 19.76	93
	4	100.00	－	－	－	－	明治 近年	34.14 44.06	33.46 19.63	20.20 8.50	2.84 2.12	9.37 25.69	103
	5	－	－	－	－	－	明治 近年	－	－	－	－	－	－
鬼怒川	1	5.31	3.42	19.80	8.70	62.77	明治 近年	9.17 13.80	7.93 4.75	74.37 71.06	6.89 1.17	1.64 9.22	1,070
	2	－	10.29	6.27	20.66	62.78	明治 近年	11.51 16.47	4.70 2.67	73.13 72.73	9.60 2.47	1.06 5.66	212
	3	－	39.27	2.69	10.93	47.20	明治 近年	20.49 24.00	8.67 5.86	61.27 55.15	6.01 1.64	3.56 13.35	258
	4	28.87	48.63	6.62	12.22	3.67	明治 近年	19.14 35.94	31.78 16.23	40.33 24.77	3.59 1.45	5.17 21.60	194
	5	－	－	－	－	－	明治 近年	－	－	－	－	－	－

然堤防（自然環境による類型 A, B, C）から構成される小貝川や霞ヶ浦流域では、すべての河川次数において相対的に田，畑，市街地の割合が高

く、森林割合が低い傾向を示した。

明治から近年への土地利用変化を考察すると、すべての流域および河川次数で、田と市街地の増

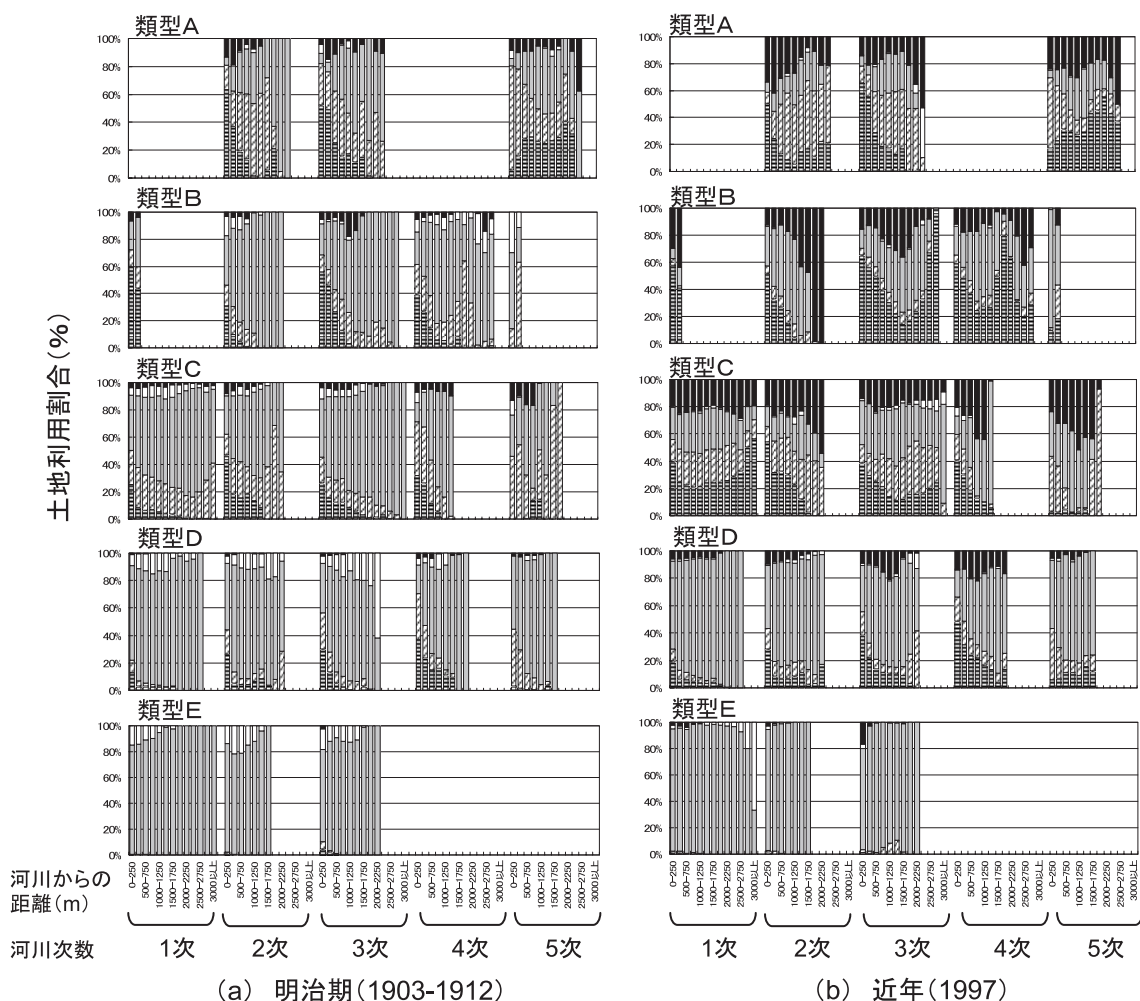


図 6 那珂川流域における自然環境による類型別の土地利用割合。河川から 250 m の距離帯ごとに明治期 (a) および近年 (b) の土地利用割合を算出し、河川流路次数別にまとめたもの。

Fig.6 Land-use type ratio in the (a) Meiji era (1903-1912) and (b) present (1997) in each physical environment type of the Nakagawa watershed. The ratio was calculated from the amount of each land-use type in continuous 250 m distance ranges created around the river, and summarized by stream order.

加および森林の減少がみられるが、河川次数の増加に伴い、田、畑、市街地の割合は増加し、森林は減少する傾向は明治期と同様である。ただし、小貝川流域では田や市街地、また霞ヶ浦流域では畑や市街地が、河川次数の低い地域で急激に増加するなど、河川次数別の土地利用割合の差異が減少し、河川次数の増加に伴う田、畑、市街地の増

加パターンを見出しにくくなるなど、近年において水系構造に沿った土地利用の配列が大きく影響を受けている地域も存在する。

したがって、近年における社会経済的な影響は、自然環境と関連しながら流域ごとに異なる土地利用の変化をもたらしているものの、水系構造すなわち河川次数と土地利用の変化パターンは明

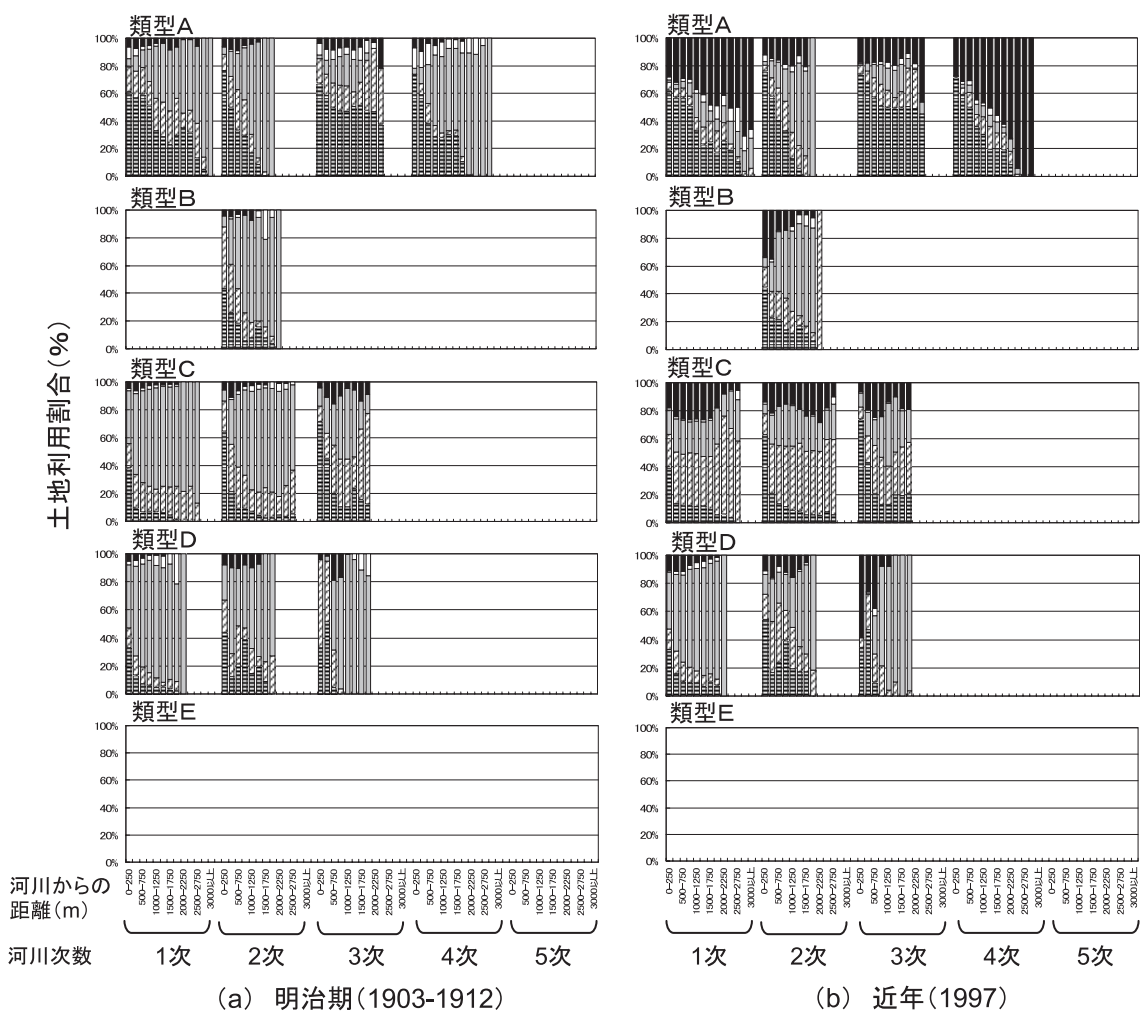


図 7 霞ヶ浦流域における自然環境による類型別の土地利用割合。河川から 250 m の距離帯ごとに明治期 (a) および近年 (b) の土地利用割合を算出し、河川流路次数別にまとめたもの。

Fig.7 Land-use type ratio in the (a) Meiji era (1903-1912) and (b) present (1997) in each physical environment type of the Kasumigaura watershed. The ratio was calculated from the amount of each land-use type in continuous 250 m distance ranges created around the river, and summarized by stream order.

治期と近年を通じて同様の傾向を有していると考えられる。

4) 土地利用と類型地域および河川への近接性との関連

図 6～図 9 は、河川次数別および自然環境情報による類型地域別の土地利用割合を、河川からの距離帯別に表示したものである。これらにより自

然環境と土地利用の関係、また河川への近接性と土地利用の関係について考察する。

対象 4 流域に共通する傾向として、明治期においては類型 D、E の大部分が森林と荒地で占められ、田や畑は河川に近接する距離帯 (0～250 m) で比較的多い。一方類型 A、B、C では田、畑、市街地など人間の社会経済活動を示す土

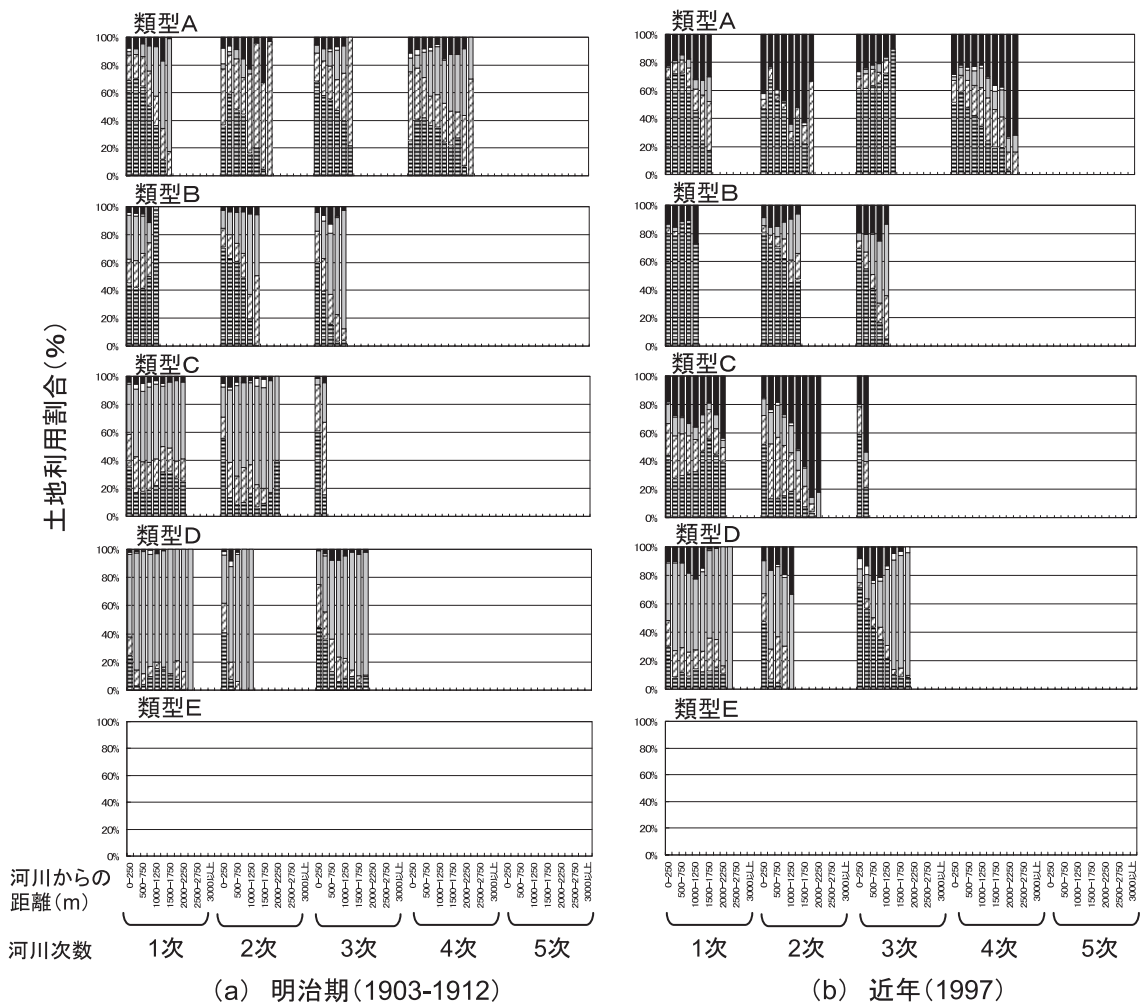
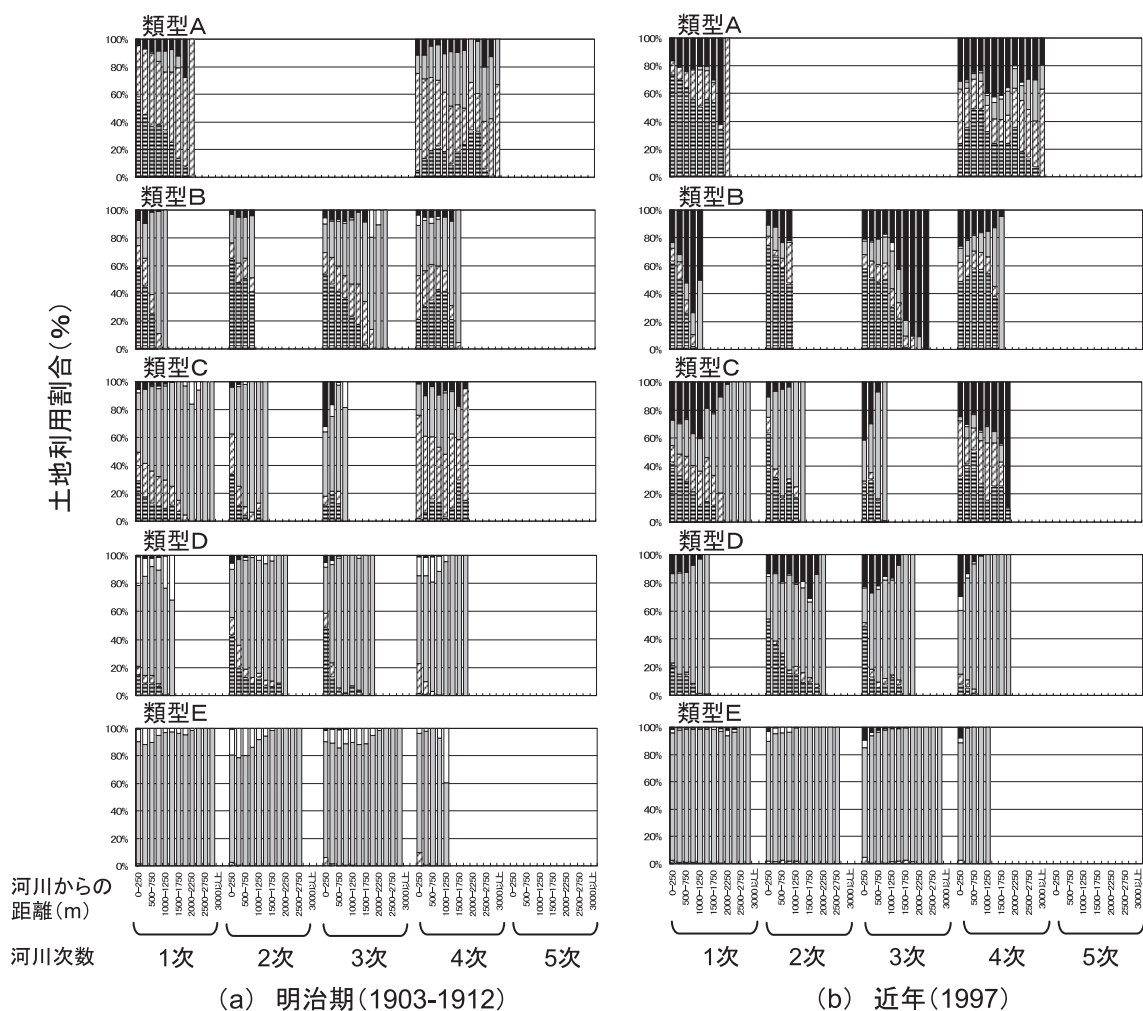


図 8 小貝川流域における自然環境による類型別の土地利用割合。河川から 250 m の距離帯ごとに明治期 (a) および近年 (b) の土地利用割合を算出し、河川流路次数別にまとめたもの。

Fig.8 Land-use type ratio in the (a) Meiji era (1903-1912) and (b) present (1997) in each physical environment type of the Kokaigawa watershed. The ratio was calculated from the amount of each land-use type in continuous 250 m distance ranges created around the river, and summarized by stream order.

土地利用区分の割合が高くなる。明治期から近年への土地利用変化をみると、類型 E では植林により荒地が減少しているほかは大きな変化はない。類型 D では明治期にほとんどみられなかった市街地が出現している。また類型 A, B, C では田、畑、市街地の割合がさらに増加しているが、対象流域ごとに特徴を有している。例えば霞ヶ浦流域

では明治期から近年にかけては、戦後の揚水機の導入による湖水利用が進み、畑地灌漑や開墾事業により、燃料・肥料・木材等の供給源であった平地林の畑地化が進行し（松浦ほか, 1992）、さらに首都圏に近く生鮮野菜や果樹栽培が盛んになった結果、類型 C で著しい畑の増加と森林の減少がみられる。また明治 22（1889）年に水戸線、



【鬼怒川流域】 田 畑 森林 荒地 市街地

図 9 鬼怒川流域における自然環境による類型別の土地利用割合。河川から250mの距離帯ごとに明治期(a)および近年(b)の土地利用割合を算出し、河川流路次数別にまとめたもの。

Fig. 9 Land-use type ratio in the (a) Meiji era (1903-1912) and (b) present (1997) in each physical environment type of the Kinugawa watershed. The ratio was calculated from the amount of each land-use type in continuous 250 m distance ranges created around the river, and summarized by stream order.

明治29(1896)年に常磐線が開通し、これら鉄道路線に沿った市街地の拡大も著しい。小貝川流域では主に低地域に分布する類型A、Bを中心に明治期においてすでに、田の面積割合が非常に高いことがわかる。江戸時代初期まで小貝川と鬼怒川は現在の常総市で合流し、流域の低地域は古く

から洪水に見舞われていたが、1621年に両河川は分離され、氾濫源であった一帯の本格的開発が始まり、護岸工事や多くの用水路・取水堰の設置が行われた結果、明治期には有数の穀倉地帯となり(鬼怒川・小貝川読本編纂会議編集委員会, 1993)、現在に受け継がれている。

次に河川への近接性と土地利用との関連については、一般的に田の割合は河川に近接するほど増加する明確な傾向がみられ、水田の分布と河川流路との強い結びつきを示している。しかし、類型 A、B を中心に低地域に分布する場合と、類型 C の台地域に分布する場合とでは、異なる特徴を持っている。広い平坦面を持つローム台地上の類型 C では、内部に向かい細い谷が入り込む谷津（谷地）地形が多くみられ、そのほとんどが水田として利用されてきた（松浦ほか、1992）結果、河川流路に最も近接する 0 ～ 250 m の距離帯で田の割合が高く、250 m 以遠では急激に減少し、畑および平地林としての森林が広く分布している。また那珂川流域の類型 B、C では明治期以降、那珂川と箒川に挟まれた那須野ヶ原において、大規模な開拓が行われ、那須疏水を始めたとした用水路の建設、および地下水利用の灌漑により、米作地帯へと急激に変化した（黒磯市誌編さん委員会、1975）結果、近年の土地利用において、河川から遠い距離帯で田の急激な増加がみられる。

V. 水系構造からみた景観特性の把握

本研究では 4 流域を対象に、水系構造すなわち河川次数と自然環境条件の関連、また河川次数と明治期および近年の土地利用の関連を考察した結果、河川次数が増加するにしたがい、山地、丘陵地（類型 C、D、E）や森林、荒地の割合が低下し、逆に低地や自然堤防（類型 A、B）、また田、畑、市街地等の割合が増加する傾向が共通してみられた。

土地利用は人間の生産および社会経済活動が地域に投影されたものであり自然環境条件に大きく影響され、同時に土地利用状況そのものが、自然環境に影響を与えるという相互関係を有している。これを流域の水系構造にあてはめると、河川次数の低い地域は、自然環境条件により人間活動が強く制約を受けている地域（標高の高い山地、荒地）であり人為的な影響力としては植林事業や観光産業が中心となる。一方河川次数が増加するにつれ、自然環境条件が人為的活動に及ぼす制約が徐々に低下し、人為的活動が自然環境に対して

強い影響力を及ぼしている地域（田、畑、市街地）が増加すると考えられる。これはある流域の景観特性を把握する場合、河川次数を手がかりに、おおその自然環境条件や土地利用状態を把握することが可能であることを示唆している。これらについては、さらに研究対象流域を増やし分析を行い、一般化する必要があるが、本来、地形、地質、土壌などの環境条件や生態系が水系構造と深い関連を有し、土地利用がこれら環境条件から強い影響を受けることを考えれば、水系構造すなわち河川次数により土地利用や環境の状態を類推できることは、容易に理解できる。

また河川次数と自然環境条件および土地利用との間には流域間で前述の共通の傾向がみられるものの、同時に自然環境条件の相違あるいは明治期と近年の社会経済条件の変化など、共通の傾向の下での差違が存在し、これが景観の相違を生み出している。本研究では自然環境条件を一定として明治期から近年への土地利用変化を観察しているため、そこに現れた土地利用の差は、開拓や新田開発、鉄道の開通、エネルギー革命（薪炭林の需要減少）など人為的な影響力を反映しており、図 6 ～ 図 9 によりそれらを視覚的に理解することができる。これは、岸（2000）が提唱するような流域ベースの都市計画を実現させるための、住民参加による計画策定等において、情報共有化を行う上でも有効である。

したがって広域の景観特性を把握する場合、まず河川次数を知ることにより、おおその自然環境や土地利用の状態を推測することができ、次に河川次数ごとに環境情報や土地利用を整理することにより、それらの関連性を把握することができる。さらに複数の流域で比較することにより、地域の景観特性や社会経済的な背景の相違を評価することができる。

現在、生態系の保全、防災計画、地域資源管理などを統合し、自然環境を重視した持続可能な地域計画、市民参加のための圏域として、流域の再評価が進んでおり、水系を視点とした景観特性の把握の重要性が、今後さらに増大するものと考えられる。

VI. おわりに

従来、景観分析に関する研究は、比較的小規模な地域の事例研究的なものが多かった。むしろ特定の地域の景観の成り立ちを深く掘り下げる研究は重要ではあるが、一方、他の地域との相互比較や広域的な分析、また分析手法を一般化して他の地域に適用することが困難であった。これには使用するデータおよび分析手法の両面から課題を指摘することができる。まず景観は自然環境から人文社会環境まで広範囲な分野を対象とし膨大なデータを扱うため、それらを体系的に整理し、地域と関連付けて統合的に管理するデータベースが必要である。また多種多様なデータ間の関連性を探るための、多変量解析的な手法を実行できるシステムを必要とし、GISの登場により景観に関する膨大な空間データを統合管理し、分析することが可能となった。またGISによる地形の3次元表示をはじめとした、分析結果を様々な角度から視覚的に表現できる機能は、住民参加による景観計画や地域計画の策定において、地域を理解し意思決定を支援するツールとして非常に有効である。さらに特別なソフトウェアを必要とせず、誰もがウェブ上で景観を把握し情報共有化が可能なWebGISを用いた情報発信は、景観研究や行政サービス、市民活動の幅をさらに広げている。

本研究で用いた国土数値情報は、自然環境や土地利用をはじめ多種多様なデータを含み、また日本全国をカバーする貴重なデータである。本研究によるGISを用いた分析手法と国土数値情報を利用すれば、少なくとも土地利用データが整備されている年度(1976, 1987, 1991, 1997)については日本全国の流域を対象にその景観特性を把握することができる。これにより広域での景観特性の把握および異なる地域の景観を同精度で比較検討することが可能となり、広域での環境管理計画等への応用も期待できる。

またGISによる景観研究をさらに発展させ、広域レベルから市町村レベルへのシームレスな分析を行うためには、データモデルやメタデータをはじめ、空間データの標準化を一層推進すると

もに、全国を対象とした高精度な地形、地質、植生、土地利用などの景観に関するデータベースの構築と定期的な更新が必要である。また研究機関や行政機関、民間事業所等に散在する研究成果そのもののアーカイブ作成と公開により、情報共有を進めることも景観研究の推進を図る上で重要である。

謝 辞

2名の匿名査読者および編集委員会からは、本論を改善する上で貴重なコメントを多く頂きました。記して感謝いたします。

注

- 1) 数値地図ユーザーズガイド(国土地理院, 1998)によると、最上流点、合流点、河口点などで分断された河川区間を単位流路と呼び、単位流路の下流端における流域から、その上流端における流域を除いた地域を単位流域としており、本研究でもこれを用いた。
- 2) 数値地図ユーザーズガイド(国土地理院, 1998)によると、計測対象河川は、河川法による1級直轄区間、1級指定区間、2級河川区間を含む、流路延長3 km以上のものであり、それ以外の河川は河口あるいは分合流点からの流路延長が5 km以上のものである。ただし、地形図上で表示された流路でも、農工業用水路、運河、人工的な網目状流路などは対象としない。
- 3) 一般にn次流域という場合、n次およびそれより低次(上流)の河川流路により形成される流域全体を指す。これと区別しn次の河川流路を含む単位流域のみを示す言葉としてn次単位流域を用いた。

文 献

- Forman, R.T.T. and Godron, M. (1986): *Landscape Ecology*. John Wiley & Sons, Inc., 3-32.
- 氷見山幸夫 (1995): 国土利用変化の概要. 氷見山幸夫・新井 正・太田 勇・久保幸夫・田村俊和・野上道男・村山祐司・寄藤 昂編: アトラス—日本列島の環境変化. 朝倉書店, 1-16.
- 井手久登・武内和彦 (1985): 自然立地的土地利用計画. 東京大学出版会, 5-18.
- 金藏法義 (1997): 流域と国土形成. 地域開発, **389**, 44-54.
- Kato, Y., Yokohari, M. and Brown, R.D. (1997): Integration and visualization of the ecological value of rural landscapes in maintaining the physical environment of Japan. *Landscape and Urban Planning*, **39**, 69-82.
- 鬼怒川・小貝川読本編集会議編集委員会 (1993): 鬼怒川小貝川—自然文化歴史. 鬼怒川・小貝川サミット会議, 80-100.

- 岸 由二 (2000): 流域の計画と都市. 都市計画, **48** (6), 5-8.
- 岸 由二 (2002): 流域とは何か. 木平勇吉編: 流域環境の保全. 朝倉書店, 70-77.
- 国土地理院 (1997): 5 万分 1 地形図作成・所蔵目録. 日本地図センター.
- 国土地理院 (1998): 数値地図ユーザズガイド (第 2 版補訂版). 日本地図センター, 281-283.
- Kristensen, L.S., Thenail, C. and Kristensen, S.P. (2004): Landscape changes in agrarian landscapes in the 1990s: The interaction between farmers and the farmed landscape. A case study from Jutland, Denmark. *Journal of Environmental Management*, **71**, 231-244.
- Kristensen, S.P. (2003): Multivariate analysis of landscape changes and farm characteristics in a study area in central Jutland, Denmark. *Ecological Modeling*, **168**, 303-318.
- 黒磯市誌編さん委員会 (1975): 黒磯市誌. 栃木県黒磯市.
- 松浦茂樹・石崎雅和・矢倉弘史 (1992): 湖辺の風土と人間—霞ヶ浦. そしえて, 139-145.
- 大久保 悟・加藤好武・山本勝利 (1999): 数値地理情報を用いた傾斜地水田の類型化. 農村計画論文集, **1**, 289-294.
- Poudevigne, I. and Alard, D. (1997): Landscape and agricultural patterns in rural areas: A case study in the Brionne Basin, Normandy, France. *Journal of Environmental Management*, **50**, 335-349.
- Poudevigne, I., Rooij, S., Morin, P. and Alard, D. (1997): Dynamics of rural landscape and their main driving factors: A case study in the Seine Valley, Normandy, France. *Landscape and Urban Planning*, **38**, 93-103.
- 李 東根・恒川篤史・武内和彦 (1989): 多摩川中流域における環境基礎情報の整備と環境構造の把握. 造園雑誌, **52**, 288-293.
- 篠沢健太・池口 仁 (1993): 流域を基礎単位とした荒川水系の環境特性の把握. 第 28 回日本都市計画学会学術研究論文集, **28**, 673-678.
- Skanes, H.M. and Bunce, R.G.H. (1997): Directions of landscape change (1741-1993) in Virestad, Sweden - characterized by multivariate analysis. *Landscape and Urban Planning*, **38**, 61-75.
- 高山茂美 (1974): 河川地形. 共立出版, 1-33.
- 武内和彦 (1980): 流域環境整備の生態学的方法—赤土流出の著しい沖縄県北部小流域を事例として—. 応用植物社会学研究, **9**, 1-15.
- 山本勝利 (2000): 日本の 2 km メッシュ土地利用データに基づく郡を単位とした景観構造の変容解析. 第 14 回環境情報科学論文集, **14**, 13-18.
- 横山秀司 (1995): 景観生態学. 古今書院, 1-43.

(2007 年 8 月 31 日受付, 2007 年 12 月 21 日受理)