

論文

# 千曲川流域における環境変化と流出率の関係

寒川 典昭\*・富所 五郎\*・小池 一臣\*\*・豊田 政史\*・本間 達志\*\*\*

## The relationship between basin environmental change and runoff ratio on Chikuma basin

Noriaki SOGAWA\*, Goro TOMIDOKORO\*, Kazutomi KOIKE\*\*, Masashi TOYOTA\*, and Tatsushi HONMA\*\*\*

### Abstract

The relationship between basin environmental change and runoff ratio is described on Chikuma basin. First, the improved length of the Chikuma river, the expansion rate of sewerage system, housing area, cultivated area and basin population were used as the variables of environmental change. Next, the principal component analysis was applied to these variables. In result, the first principal component was found to be almost occupied. Therefore, it was defined as the basin development index. Finally, the relationship between the basin development index and the runoff ratio was investigated. The runoff ratio rises at Tategahana and Koichi in proportion to the basin development index. However, the runoff ratio at Kuissege had no change although the basin development index rises with time. The reason can be considered as follows: the runoff ratio rises in proportion to the peak discharge; the peak discharge at Tategahana and Koichi had no change with time, however, the peak discharge at Kuissege decreased with time.

キーワード：環境変化，流出率，主成分分析，千曲流域

Key words：environmental change, runoff ratio, principal component analysis, Chikuma basin

\* 信州大学工学部社会開発工学科  
Department of Architecture and Civil Engineering, Faculty  
of Engineering, Shinshu University

\*\* 和歌山工業高等専門学校環境都市工学科  
Department of Civil Engineering, Wakayama National  
College of Technology

\*\*\* 小木曾建設(株)  
Ogiso Construction Company

本報告に対する討論は平成15年2月末日まで受け付ける。

## 1. はじめに

著者等<sup>1)</sup>は、千曲川流域で1981年から1983年まで3年連続の浸水・堤防決壊の河川災害が続いたのをきっかけに、千曲川水系の変遷に伴う流出形態の変化に関する研究を行った。この研究の成果は次のようなものであった。①千曲川の直接流出率は特に大きな洪水で増加していること、②千曲川流域は開発されてきていること、③貯留関数法の定数変化をみると、杭瀬下流域の一次流出率は経年的に徐々に増加し、又洪水流出時間が早まっていること、④1950年代後半まで上流域で顕著であった浸水被害が、1980年代前半では中・下流に移っていること、などであった。その研究の時からすでに20年弱の年月が流れた。そこで、今一度、千曲川の流出形態がどのように変化してきているかを把握することにした。

本研究では、①、②に着目して千曲川流域における環境変化が流出率にどのように影響を及ぼしているかを検討する。なお、上述の研究で用いた洪水は立ヶ花地点で最大流量が $2,500 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上でデータが整備されている16出水であったが、今回は立ヶ花地点で最大流量が警戒流量である $2,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上の30個の出水を対象としている。

なお、③、④の検討はここでは、行っていないが、これらは今後の課題としたい。

## 2. 対象流域・対象洪水

### 2.1 対象流域<sup>2)</sup>

信濃川本川のうち新潟・長野県境を越えた上流は千曲川と呼ばれている。千曲川の流路延長は214 kmであり、その水源は甲武信岳で、佐久平を流下して、長野市で犀川と合流する。

犀川は北アルプスの槍ヶ岳を水源としており、上流部は梓川と呼ばれ松本平を東に流れ、奈良井川と合流後、犀川となる。また千曲川の流域面積は $7,163 \text{ km}^2$ であり、そのうち山地面積は $6,316 \text{ km}^2$ を占めており、その割合は88.2%におよび平地部はわずか10%程度である。しかし山国といわれている長野県内の平地には、長野市、松本市、佐久市、伊那市といった県下の主要都市が集

中し、経済の中心となっており、伊那市を除いた3つの平地に千曲川・犀川は多大の恩恵を与えているのは言うまでもない。千曲川流域内の気候は、周囲が山脈で取り囲まれており、平地の標高も300~700 mと高いため気温は低温であり、気候は内陸性である。また流域内の年降水量は犀川上流域では1,600~3,000 mmで、千曲川下流域で1,400~1,800 mm、千曲川上流域で1,000~1,400 mm、千曲川中流、犀川下流域で1,000 mm前後となっている。Fig. 1は本研究で対象とした千曲川流域を示したものであり、図中には国土交通省所管の降水観測所、水位観測所、ダム、主要都市、および主要な山の位置を提示している。また、図中の点線は流域界を表し、それぞれの流域面積は、小市 $2773.0 \text{ km}^2$ 、杭瀬下 $2595.9 \text{ km}^2$ 、立ヶ花 $6442.2 \text{ km}^2$ である。

### 2.2 対象洪水

対象洪水は、1958年から1997年までの40年間に立ヶ花地点における警戒流量 $2,000 \text{ m}^3/\text{s}$ を越える30個の洪水である。Table 1にこれら30個の洪水の立ヶ花地点最大流量とその生起年月日を示している。これらの流量は水位—流量曲線を使って、測定された水位から流量に換算している。小市、杭瀬下の流量は、上述の30個の洪水の時のそれぞれのハイドログラフを対象としている。

これら30個の洪水時における小市、杭瀬下、立ヶ花流域内のハイドログラフの特性をTable 2に示す。洪水ごとにそれらの特性は異なる。また、同じ洪水でも、流域ごとで特性が異なることがあり、これらのハイドログラフは時空間的にまちまちであるといえる。一方、立ヶ花流域は小市流域、杭瀬下流域を含むが、それらの流域の残流域があり、小市流域と杭瀬下流域は重複している部分は無い。従って、ハイドログラフの形状は立ヶ花、小市、杭瀬下地点でかなりの相違を見せる場合が多い。その例として、1982年8月3日洪水時のハイドログラフをFig. 2に示す。

## 3. 流域の環境変化

本章では、立ヶ花、小市、杭瀬下の各流域での

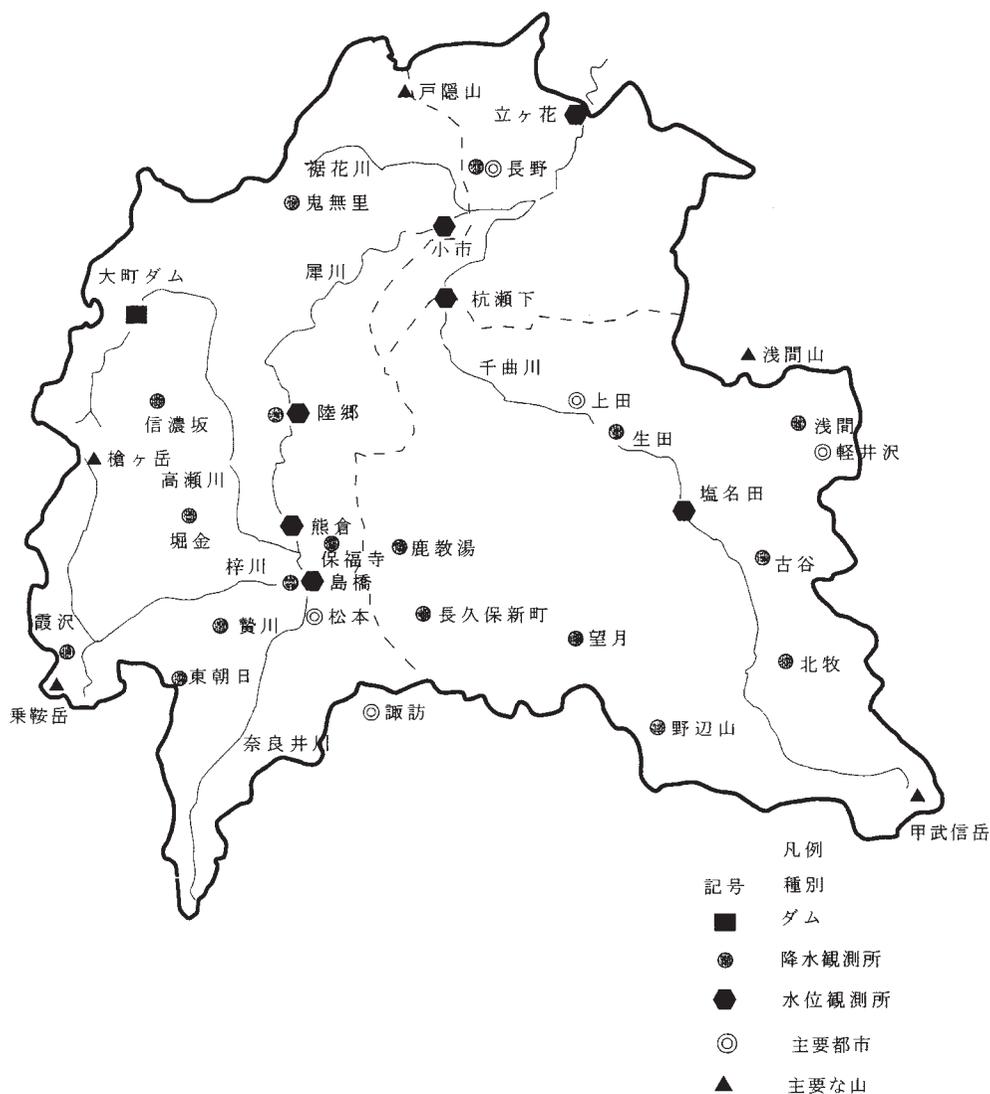


Fig. 1 Tategahana basin of the Chikuma River

環境条件の経年変化を開発の側面から捉えている。そのため、開発に関わる因子を選択し、その内容について述べ、最後に流域の開発指標を算定し、流域の環境変化を定量化する。

### 3.1 環境因子の選択

#### (1) 河川改良進捗状況

河川改良は、河川の通水能力を向上させ、洪水

の流下時間を短縮する。このため、ハイドログラフは先鋭化し、ピーク流量は増加する。この状況を把握するために、本川の改良に関する因子として本川改修長を選択した。本川改修長は本川のうち、建設省管理区間の改修について実施箇所及び距離のデータが得られた。よって各流域ごとで累積延長を集計した。

#### (2) 下水道普及人口

下水道の普及は、市街地における雨水排水を良好にすることにより、河川への流入時間を短縮し、直接流出量を増加させると考えられる。そこで、公共下水道処理人口の変化を取り上げた。データは、各流域の市町村ごとに得られた。

(3) 土地利用形態

土地利用は、その形態により、浸透、保水、通水能力に差異が現われる。これらのデータは市町村単位のものをもとに、各流域に対応するように計算した。なお、ここでは宅地と耕地の面積についてのみ取り上げる。

① 宅地面積：宅地は、家屋等により被覆面積の

Table 1 Object flood

| 年月日       | 最大流量(m <sup>3</sup> /s) | 年月日       | 最大流量(m <sup>3</sup> /s) |
|-----------|-------------------------|-----------|-------------------------|
| 1958.7.26 | 2353                    | 1972.7.13 | 2099                    |
| 1958.9.18 | 4256                    | 1975.7.13 | 2379                    |
| 1958.9.27 | 3332                    | 1981.7.3  | 2249                    |
| 1959.8.14 | 7261                    | 1981.8.23 | 3461                    |
| 1959.9.27 | 3091                    | 1982.8.3  | 4683                    |
| 1961.6.29 | 3825                    | 1982.9.13 | 6754                    |
| 1962.6.14 | 2964                    | 1983.5.17 | 3012                    |
| 1963.6.4  | 2275                    | 1983.8.18 | 2091                    |
| 1964.9.25 | 2562                    | 1983.9.29 | 7440                    |
| 1965.5.27 | 2438                    | 1985.7.1  | 4238                    |
| 1967.7.10 | 2795                    | 1989.9.20 | 2063                    |
| 1968.8.29 | 2146                    | 1991.9.19 | 2525                    |
| 1969.8.11 | 2693                    | 1991.10.2 | 2273                    |
| 1970.6.15 | 2247                    | 1995.7.9  | 2824                    |
| 1971.9.7  | 2820                    | 1995.7.12 | 2906                    |

Table 2 Characteristics of hyetographs

| 年月日       | 小市 | 杭瀬下 | 立ヶ花 |
|-----------|----|-----|-----|
| 1958.7.26 | 後  | 中   | 中   |
| 1958.9.18 | 中  | 中   | 中   |
| 1958.9.27 | 中  | 中   | 中   |
| 1959.8.14 | 後  | 後   | 後   |
| 1959.9.27 | 中  | 中   | 中   |
| 1961.6.29 | 中  | 前   | 前   |
| 1962.6.14 | 中  | 中   | 後   |
| 1963.6.4  | 前  | 前   | 前   |
| 1964.9.25 | 後  | 中   | 後   |
| 1965.5.27 | 中  | 中   | 中   |
| 1967.7.10 | 後  | 後   | 後   |
| 1968.8.29 | 前  | 中   | 前   |
| 1969.8.11 | 中  | 後   | 後   |
| 1970.6.15 | 前  | 前   | 前   |
| 1971.9.7  | 前  | 前   | 前   |
| 1972.7.13 | 中  | 前   | 前   |
| 1975.7.13 | 中  | 中   | 前   |
| 1981.7.3  | 後  | 後   | 後   |
| 1981.8.23 | 後  | 後   | 後   |
| 1982.8.3  | 後  | 後   | 後   |
| 1982.9.13 | 後  | 後   | 後   |
| 1983.5.17 | 中  | 中   | 中   |
| 1983.8.18 | 中  | 前   | 中   |
| 1983.9.29 | 後  | 後   | 後   |
| 1985.7.1  | 中  | 後   | 後   |
| 1989.9.20 | 後  | 後   | 後   |
| 1991.9.19 | 中  | 後   | 中   |
| 1991.10.2 | 後  | 後   | 後   |
| 1995.7.9  | 中  | 中   | 中   |
| 1995.7.12 | 中  | 前   | 中   |

前：前方集中，中：中央集中，後：後方集中

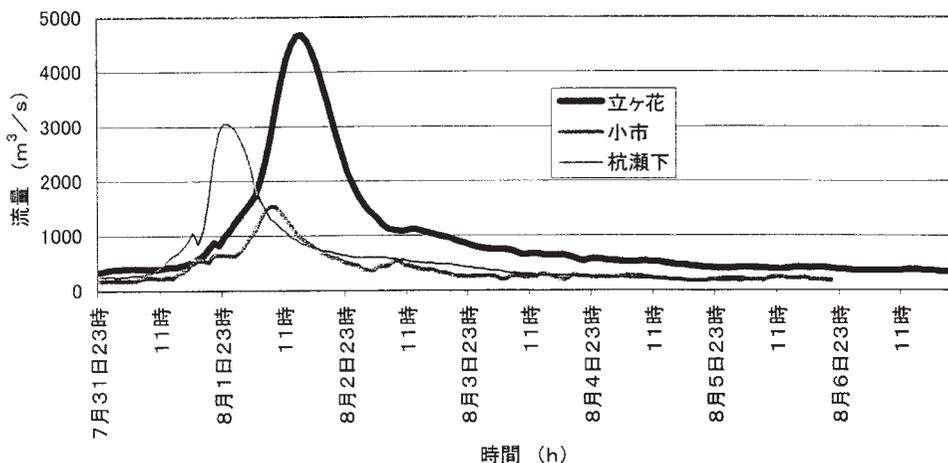


Fig. 2 Hydrographs at Tategahana, Koichi, and Kuisage (1982.7.31~8.6)

割合が大きい。そのため、一般に排水は良好である。従って、宅地面積の増加は河川への流入時間を短縮し、直接流出量の増大を引き起こすと考えられる。

- ② 耕地面積：田地と畑地の合計を持って耕地面積とした。田地は保水能力を有し、畑地は浸透能力を有する。従って、耕地面積が減少すれば、直接流出量が増加すると考えられる。

(4) 流域人口

人口の増加は、流域開発の促進に対し間接的な関係を持ち、データは各流域に対応して得られた。

3.2 環境変量の変化<sup>3)</sup>

環境変量の経年変化を、1960年から1995年までを5年ごとに取り、西暦を横軸に環境変量の値を縦軸にプロットした図に表した。

(1) 本川改修長 (Fig. 3)

立ヶ花、杭瀬下流域ではほぼ右肩上がりの直線を示している。小市流域では上に凸な放物線の形状をしている。

(2) 下水道普及人口 (Fig. 4)

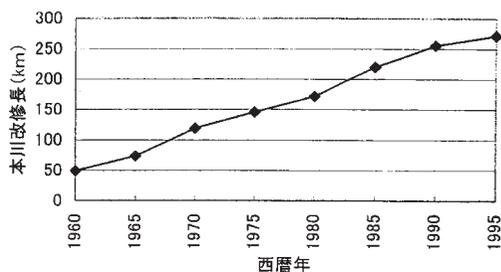
立ヶ花、小市流域では1980年を境に勾配が変わる2つの右肩上がりの直線で近似でき、古い年代の近似直線より新しい年代の近似直線の方が勾配は急である。杭瀬下流域は1960年、1965年、1970年、1975年はほとんど無く、1980年以降右肩上がりの直線で近似できる。

(3) 土地利用形態

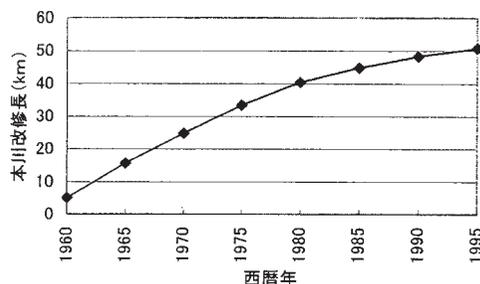
- ① 宅地面積 (Fig. 5)：立ヶ花、小市、杭瀬下流域共に1980年を境に勾配が変わる2つの右肩上がりの直線で近似でき古い年代の近似直線より新しい年代の近似直線の方が勾配が緩やかである。

- ② 耕地面積 (Fig. 6)：立ヶ花、小市流域は1960年から1965年にかけて増加し、その後ほぼ直線的に減少している。杭瀬下流域は1960年から1965年、及び1980年から1985年にかけて増加し、1965年から1980年、及び1985年1995年にかけてはほぼ直線的に減少している。

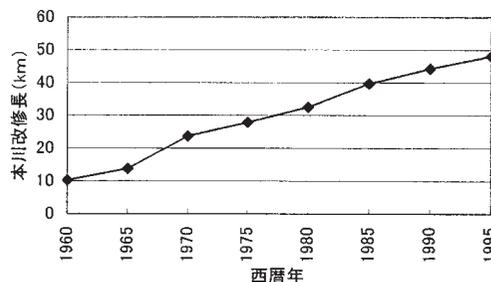
(4) 人口 (Fig. 7)



(a) Tategahana



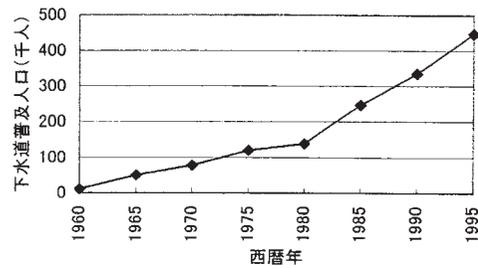
(b) Koichi



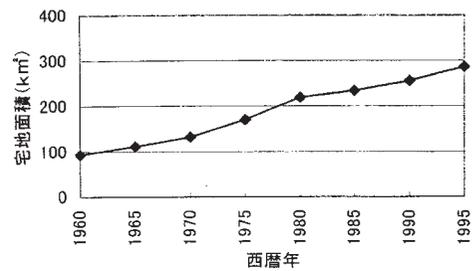
(c) Kuisege

Fig. 3 Improved length of the Chikuma river

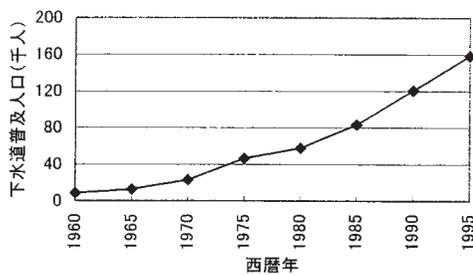
立ヶ花、小市流域ではほぼ直線的に増加している。杭瀬下流域では1960年から1970年にかけてほぼ直線的に増加し、1970年から1980年にかけては増加の勾配が鈍るが、1980年から1995年にかけては1960年から1970年にかけての勾配より更に急な勾配で直線的に増加している。



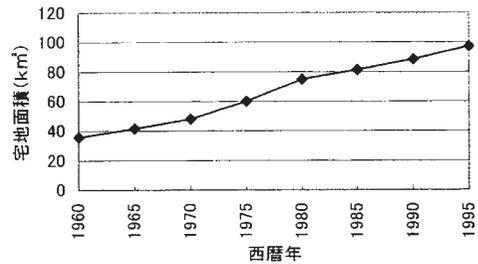
(a)Tategahana



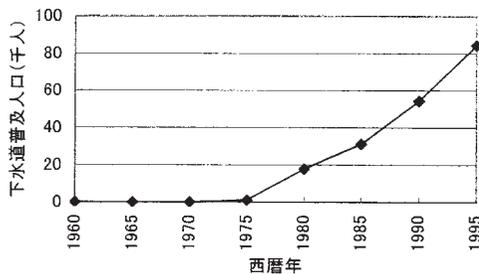
(a) Tategahana



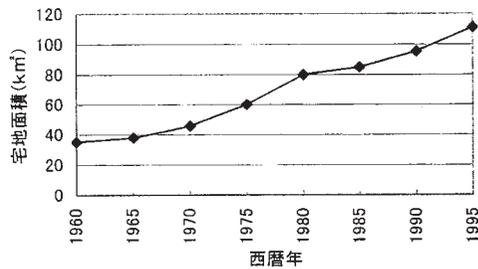
(b)Koichi



(b) Koichi



(c)Kuissege



(c) Kuissege

Fig. 4 Expansion rate of sewerage system

### 3.3 流域開発指標の算定

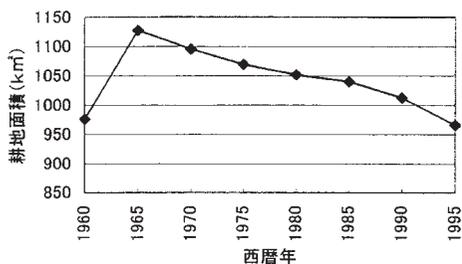
流域の環境変化の要因として、3.1 に掲げた 5 つの変量を採用した。しかしながら、どれか 1 つだけで流域の環境変化全体を説明するのは困難である。そこで、主成分分析法<sup>4)</sup>を使用して、これらを 1 つの総合した指標に纏めることを考える。変量数は上に示した 5 個、各変量のデータ数は 1960 年から 1995 年の 5 年単位で取得した 8 個であり、変量数はデータ数を越えていないので主

Fig. 5 Housing area

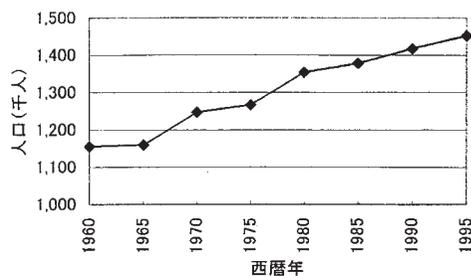
成分分析法を適用することができる。

Table 3 は取り上げた 5 個の変量の相関行列を示したものである。立ヶ花、小市、杭瀬下のどの流域においても耕地面積と他の変量との相関は負の値、他の変量間の相関は正の値を示している。これは、耕地面積の増加は開発を抑制する方向に進み、他の変量の増加は開発を促進する方向に進むためである。特に、杭瀬下では耕地面積と他の変量との相関係数の絶対値が大きいのが目立つ。

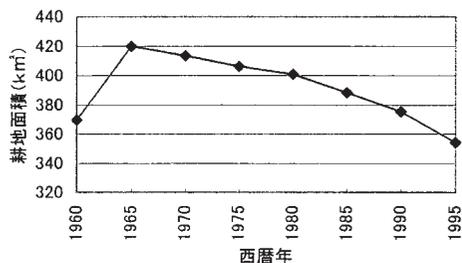
Table 4 は固有値、寄与率、累積寄与率である。



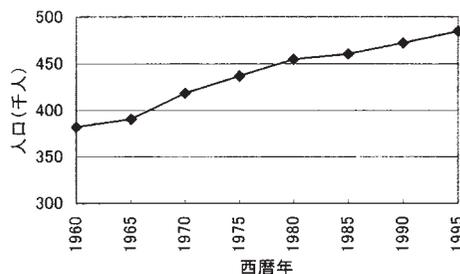
(a) Tategahana



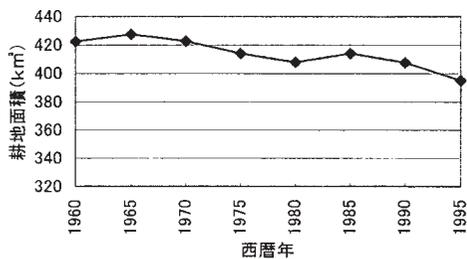
(a) Tategahana



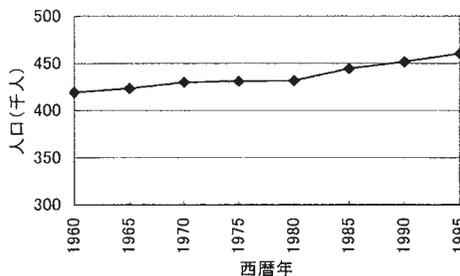
(b) Koichi



(b) Koichi



(c) Kuisège



(c) Kuisège

Fig. 6 Cultivated area

Fig. 7 Basin population

立ヶ花, 小市流域では第1主成分だけで83%以上, 第2主成分までで, 立ヶ花流域では98%以上, 小市流域では97%以上, 杭瀬下流域では第1主成分だけで93%以上となっており, 第1主成分に多くの情報が集まっていることが分かる。

次に, 各変量と主成分との相関をみるために, Table 5 に因子負荷量を示した。立ヶ花, 小市流域では, 耕地面積を除くどの変量とも因子負荷量が0.94以上, 杭瀬下流域ではどの変量とも因子負荷量の絶対値が0.94以上となっている。立ヶ

花流域と小市流域は耕地面積と第2主成分の因子負荷量が高く, 立ヶ花流域では0.808, 小市流域では0.779となっており, 他の変量との相関が低い。従って, 立ヶ花流域, 及び小市流域では第2主成分は耕地面積に起因する指標と考えられる。

以上より, 第1主成分は, 流域の開発に深く関わり, 各変量の情報の大半を集めることにより「流域開発進行度」<sup>1)</sup>と呼び, 流域開発指標として採用する。

Table 3 Mutual relation of environmental factors

## (a)Tategahana

| 相関行列    | 本川改修長  | 下水道普及人口 | 宅地面積   | 耕地面積   | 流域人口  |
|---------|--------|---------|--------|--------|-------|
| 本川改修長   | 1.000  |         |        |        |       |
| 下水道普及人口 | 0.958  | 1.000   |        |        |       |
| 宅地面積    | 0.985  | 0.942   | 1.000  |        |       |
| 耕地面積    | -0.434 | -0.546  | -0.464 | 1.000  |       |
| 流域人口    | 0.987  | 0.929   | 0.991  | -0.469 | 1.000 |

## (b)Koichi

| 相関行列    | 本川改修長  | 下水道普及人口 | 宅地面積   | 耕地面積   | 流域人口  |
|---------|--------|---------|--------|--------|-------|
| 本川改修長   | 1.000  |         |        |        |       |
| 下水道普及人口 | 0.889  | 1.000   |        |        |       |
| 宅地面積    | 0.972  | 0.956   | 1.000  |        |       |
| 耕地面積    | -0.352 | -0.685  | -0.541 | 1.000  |       |
| 流域人口    | 0.860  | 0.892   | 0.917  | -0.720 | 1.000 |

## (c)Kuisege

| 相関行列    | 本川改修長  | 下水道普及人口 | 宅地面積   | 耕地面積   | 流域人口  |
|---------|--------|---------|--------|--------|-------|
| 本川改修長   | 1.000  |         |        |        |       |
| 下水道普及人口 | 0.873  | 1.000   |        |        |       |
| 宅地面積    | 0.977  | 0.922   | 1.000  |        |       |
| 耕地面積    | -0.883 | -0.887  | -0.941 | 1.000  |       |
| 流域人口    | 0.957  | 0.957   | 0.947  | -0.861 | 1.000 |

また、基準化された変量からの第1主成分の推定式は次のようになっている。

立ヶ花流域：

$$z =$$

$$0.480x_1 + 0.476x_2 + 0.481x_3 - 0.288x_4 + 0.480x_5$$

小市流域：

$$z =$$

$$0.450x_1 + 0.451x_2 + 0.450x_3 - 0.450x_4 + 0.434x_5 \quad (1)$$

杭瀬下流域：

$$z =$$

$$0.485x_1 + 0.554x_2 + 0.541x_3 - 0.133x_4 + 0.384x_5$$

ここに、 $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ ,  $x_4$ ,  $x_5$  は本川改修長、下水道普及人口、宅地面積、耕地面積、流域人口の基準化変量である。これより、第1主成分は、立ヶ花、小市、杭瀬下流域ともに、耕地面積が減少すれば増加、他の変量が増加すれば増加すると言える。

Fig. 8 は (1) 式から計算した第1主成分スコアの経年変化を示したものである。1960年から1965年の間には低下しているが、その後は増加

Table 4 Eigenvalue, proportion, and accumulated proportion

## (a)Tategahana

| 主成分   | 固有値   | 寄与率   | 累積寄与率 |
|-------|-------|-------|-------|
| 第1主成分 | 4.184 | 0.837 | 0.837 |
| 第2主成分 | 0.725 | 0.145 | 0.982 |

## (b) Koichi

| 主成分   | 固有値   | 寄与率   | 累積寄与率 |
|-------|-------|-------|-------|
| 第1主成分 | 4.164 | 0.833 | 0.833 |
| 第2主成分 | 0.718 | 0.144 | 0.977 |

## (c) Kuisege

| 主成分   | 固有値   | 寄与率   | 累積寄与率 |
|-------|-------|-------|-------|
| 第1主成分 | 4.682 | 0.936 | 0.936 |
| 第2主成分 | 0.161 | 0.032 | 0.968 |

Table 5 Factor loading

(a) Tategahana

| 環境因子    | 第1主成分  | 第2主成分 |
|---------|--------|-------|
| 本川改修長   | 0.981  | 0.178 |
| 下水道普及人口 | 0.973  | 0.025 |
| 宅地面積    | 0.983  | 0.144 |
| 耕地面積    | -0.589 | 0.808 |
| 流域人口    | 0.981  | 0.138 |

(b) Koichi

| 環境因子    | 第1主成分  | 第2主成分  |
|---------|--------|--------|
| 本川改修長   | 0.949  | 0.313  |
| 下水道普及人口 | 0.979  | -0.108 |
| 宅地面積    | 0.992  | 0.101  |
| 耕地面積    | -0.624 | 0.779  |
| 流域人口    | 0.975  | 0.199  |

(c) Kuisege

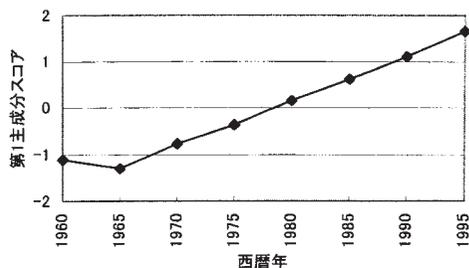
| 環境因子    | 第1主成分  | 第2主成分  |
|---------|--------|--------|
| 本川改修長   | 0.970  | 0.052  |
| 下水道普及人口 | 0.959  | 0.110  |
| 宅地面積    | 0.989  | -0.057 |
| 耕地面積    | -0.944 | 0.317  |
| 流域人口    | 0.976  | 0.205  |

傾向を続けている。1960年から1965年の低下は、立ヶ花、小市、杭瀬下流域共にこの間で耕地面積が上昇したことにありと推察される。

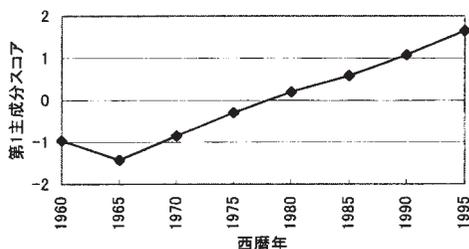
4. 流出率

4.1 流出率の算定方法

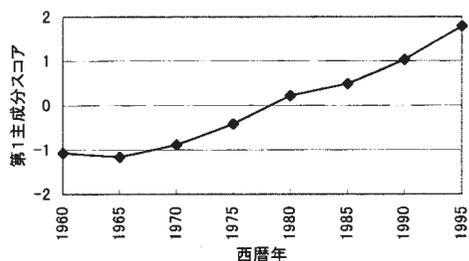
Table 1 に示したように、立ヶ花地点で最大流量が、立ヶ花地点の警戒流量である  $2000 \text{ m}^3/\text{s}$  を越える 30 個の洪水を対象として直接流出量に対する流出率を、立ヶ花、小市、杭瀬下地点で求めた。流出率を求めるための直接流出量は水平分離法を用いたが、洪水の継続時間が長く、ハイドログラフの立ち上がり点から引いた水平線がハイドログラフの低減部を横切らないときには、直接流出量の継続時間を 7 日間で打ち切った。これは、立ヶ花、小市、杭瀬下地点共に洪水継続時間が 7 日間を過ぎればほとんどハイドログラフが低減しなくなるからである。



(a) Tategahana



(b) Koichi



(c) Kuisege

Fig. 8 Secular change of first principal component score

4.2 流出率の経年変化

Fig. 9 は立ヶ花、小市、杭瀬下地点の流出率の経年変化である。なお、図中には、最小 2 乗推定直線もあわせて示している。立ヶ花地点の流出率は緩やかな増加傾向を示している。小市地点の流出率は立ヶ花地点のものよりも急な増加傾向を示している。杭瀬下地点の流出率は全く変化しない。しかしながら、この特徴は流出率の経年変化を最

最小2乗直線で求めたものを考察したものであり、流出率は対象洪水がくる前の流域の湿潤状態や降雨の時・空間分布特性により大きく変動するため、各流出率の点が最小2乗直線の周りにかかなりの範囲をもって散らばっていることを念頭に置かなければならないであろう。

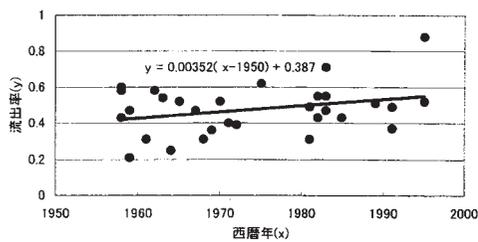
### 4.3 流域開発に伴う流出率の変化

Fig. 9 の流出率の最小2乗推定直線より1960年から1995年までの5年単位の値を読み取り、それに対応する流域開発進行度との関係を最小2乗直線でグラフ化したのがFig. 10である。この

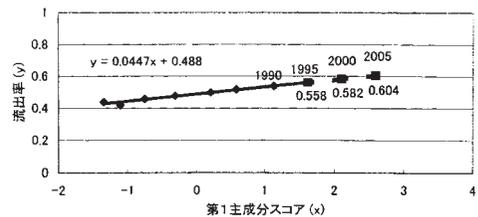
図より、これら8個の点はほぼ直線的な伸びをしていることが分かる。その推定式は、流域開発進行度（第1主成分スコア）を  $x$ 、流出率を  $y$  とすると次式となる。

$$\left. \begin{aligned} \text{立ヶ花流域} &: y = 0.0447x + 0.448 \\ \text{小市流域} &: y = 0.0860x + 0.481 \\ \text{杭瀬下流域} &: y = 0.428 \end{aligned} \right\} (2)$$

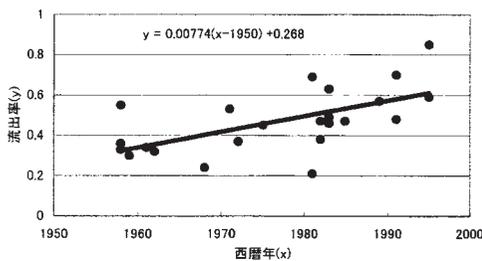
1990年から1995年の流域開発進行度の値の幅を延長して2000年、2005年の流出率を(2)式から計算すると、次のようになる。立ヶ花流域：0.582, 0.604, 小市流域：0.671, 0.719, 杭瀬下流域：0.428, 0.428。これらの伸びは、1990年か



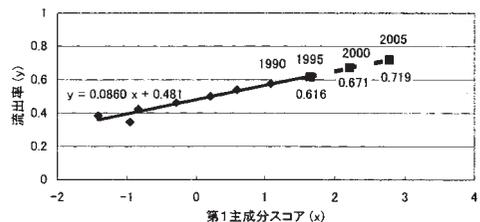
(a) Tategahana



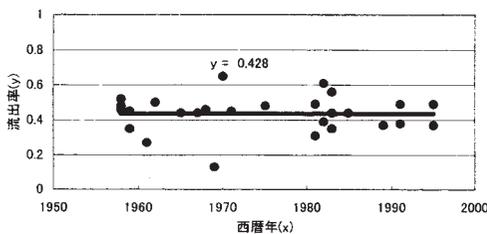
(a) Tategahana



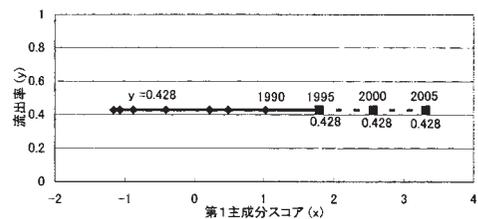
(b) Koichi



(b) Koichi



(c) Kuisege



(c) Kuisege

Fig. 9 Secular change of runoff ratio

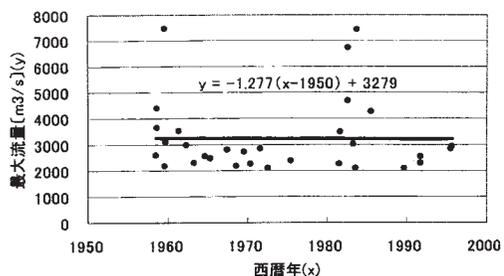
Fig. 10 Relationship between first principal component score and runoff ratio

ら1995年の流域開発進行度の値の幅よりも流出率の経年変化の傾向に支配されており、小市流域が一番大きな伸びを示し、次いで立ヶ花流域であり、杭瀬下流域には流出率の変化は見られない。

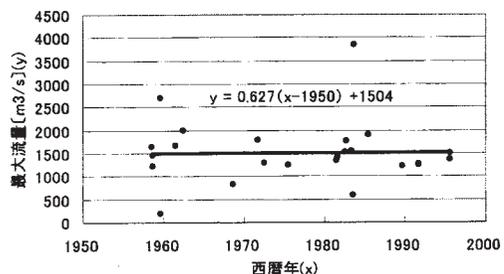
ここで、杭瀬下流域において、流域開発進行度が上昇しているにもかかわらず、流出率が変化していない理由として以下のことが考えられる。

Fig. 11は、最大流量の経年変化を示したものである。立ヶ花流域、小市流域には経年的な変化はほとんど認められない。しかし、杭瀬下流域で

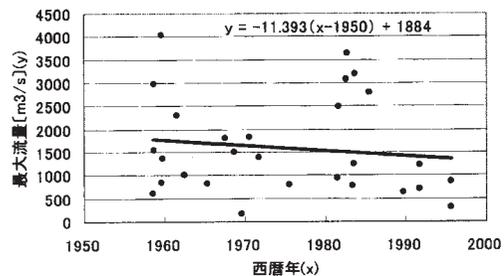
は、近年の最大流量が小さいため、最大流量の経年変化は減少傾向にある。一方、Fig. 12は、最大流量と流出率の関係を示したものである。立ヶ花流域、小市流域、杭瀬下流域ともに、最大流量が増加すれば流出率が増加している。これは、大きな洪水では流域が飽和浸透量に近づき、降雨の大部分が流出するためと考えられる。したがって、杭瀬下流域では、最大流量の経年変化が減少傾向にあるために、経年的に流域開発進行度が増加しているにもかかわらず流出率が変化しない現象が



(a) Tategahana

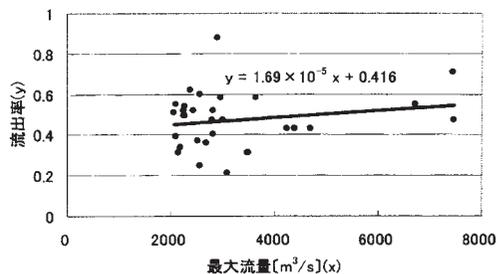


(b) Koichi

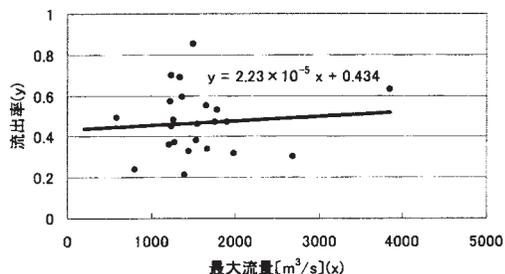


(c) Kuisege

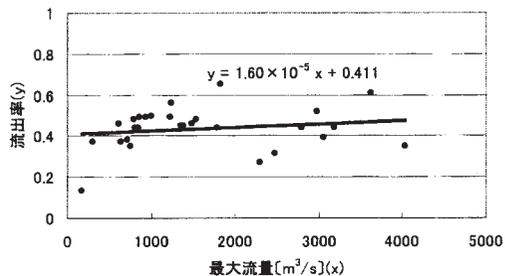
Fig. 11 Secular change of peak discharge



(a) Tategahana



(b) Koichi



(c) Kuisege

Fig. 12 Relationship between peak discharge and runoff ratio

生じたものと推察される。

## 5. あとがき

本研究は、千曲川流域における環境変化と流出率の関係を明らかにするとともに、1995年以降の流域環境変化に伴う流出率を予測したものであり、結果を要約すると以下ようになる。

- 1) 流域の環境変量として、本川改修長、下水道普及人口、宅地面積、耕地面積、流域人口を取り上げ、それぞれの因子の経年変化を把握した。大まかに見ると、西暦年に対して耕地面積は右肩下がりの傾向を示し、その他の変量は右肩上がりの傾向を示した。
- 2) 5種類の環境変量について1960年から1995年の間の5年単位の8個の変量を取って、主成分分析を行った結果、立ヶ花、小市流域では第1主成分だけで83%以上、第2主成分までで、立ヶ花流域では98%以上、小市流域では97%以上、杭瀬下流域では第1主成分だけで93%以上となっており、第1主成分に多くの情報が集まっていることが分かった。
- 3) 第1主成分と因子負荷量との検討から、立ヶ花、小市、杭瀬下の全ての流域の第1主成分は流域の総合的な開発指標と判断され、流域開発進行度と見なされた。
- 4) 1958年から1997年までの40年間で生じた洪水の内、立ヶ花地点の最大流量が2000 m<sup>3</sup>/sを越える洪水について、流出率の経年変化を見ると、立ヶ花地点の流出率は緩やかな増加傾向を示し、小市地点の流出率は立ヶ花地点のものよりも急な増加傾向を示し、杭瀬下地点の流出率は全く変化していなかった。しかしながら、この特徴は流出率の経年変化を最小2乗直線で求めたものを考察したものであり、流出率は最小2乗直線の周りで変動をしていることを念頭に置かなければならない。
- 5) 流出率の最小2乗推定直線より1960年から1995年までの5年単位の値を読み取り、それに対応する流域開発進行度との関係を最小

2乗直線でグラフ化した。この図より両者の関係はほぼ直線的であることが分かった。この関係から、2000年、2005年の流出率を予測すると、立ヶ花流域：0.570, 0.590, 小市流域：0.661, 0.709, 杭瀬下流域：0.436, 0.436となった。

最後に、データの収集にあたっては、建設省北陸地方建設局千曲川工事事務所（現在、国土交通省北陸地方整備局千曲川工事事務所）のご協力を頂いたことを記し、感謝の意を表するものである。

## 参 考 文 献

- 1) 荒木正夫・富所五郎・寒川典昭・松岡保正：千曲川水系の変遷に伴う流出形態の変化に関する研究、自然災害科学, Vol. 5, No. 1, pp. 20-30, 1986.
- 2) 建設省北陸地方建設局千曲川工事事務所：千曲川・犀川三十年のあゆみ, pp. 19-42, 1980.
- 3) 長野県総務部情報統計課：長野県勢要覧昭和35年版—平成7年版, 1961-1996.
- 4) 奥野忠一・久米 均・芳賀敏郎・吉澤 正：多変量解析法, 日科技連, pp. 159-257, 1971.

(投稿受理：平成13年11月28日)

訂正稿受理：平成14年5月17日)