

輪厚川における流出特性に及ぼす植生 (NDVI) の影響 Influence of vegetation on runoff characteristic in Wattu River.

鈴木 信幸* 馬場 仁志**
Nobuyuki SUZUKI, Hitoshi BABA

降雨の河川への流出には、直接流出・地下流出などがあり非常に複雑である。流域内における都市化などの地被状態の変化により、洪水時の到達時間の早まり、ピーク流量の増加などの影響が現れている。本報告では、札幌市の近郊都市として、団地などが整備され人口増加の大きい北広島市を流れる輪厚川を解析対象流域とした。

解析方法は、都市化などの流域内の地被状況を把握するためにリモートセンシングを用いた。土地被覆分類をクラスター分析により行ない、流域の土地被覆状況、変化を把握する。さらに、NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) を用いて植生状況についての解析を行った。

流出特性については損失機構を考慮した貯留関数法により流出解析を行ない、貯留関数のパラメータの変化により流出特性の変化を表した。流出解析を、衛星データの取得日にあわせて行ない、パラメータと衛星データを比較することにより流出特性に及ぼす植生の影響について検討を行った。

《キーワード：リモートセンシング；NDVI；流出；貯留関数》

Runoff in the river of rainfall is very complicated, because there are direct runoff, underground runoff and so on. Influence has appeared by change of land cover condition, such as the urbanization in basin, for example time of flood concentration is rash and increase in peak discharge. In this research, the basin for analysis is Wattu river in Kitahiroshima city where increase in population as a suburbs city of the Sapporo city.

Land cover condition in the basin analyzed by using remote sensing, such as urbanization. Cluster analysis performs land cover classification and the land cover condition of a basin and change are grasped. Furthermore, analysis about a vegetation condition was performed using NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

Runoff characteristic analyzed by using storage function model with loss mechanisms. Changing of runoff characteristic represent by change of the parameter of a storage function. Runoff analysis unites with the acquisition day of satellite data. I examined influence of vegetation on runoff characteristic by comparing parameter and satellite data.

Keywords: remote sensing, NDVI, runoff, storage function model.

1. はじめに

近年、急速に発達してきた技術に衛星リモートセンシングがある。衛星リモートセンシングは、地球上を広範囲かつ定期的に観測できることから土地利用、水資源、気象、防災、海洋、水産、林業、雪氷、資源探査、環境汚染などの情報を素早く定期的に収集することが可能である。

また、降雨の河川への流出は、地表からの直接流出、地下に浸透して地下流出となって流出するものなどがあり、非常に複雑である。このため、地被状態が流出特性に、どの程度影響を及ぼすかを表現できるモデルを作成することが水文学上の大きなテーマの一つとなっている。

本研究は、都市化により地被状況に変化のある北広島市輪厚川を解析対象流域とし、土地被覆変化・植生状況をリモートセンシングにより解析し把握する。流出特性については損失機構を考慮した貯留関数法により流出解析を行い、貯留関数のパラメータの変化により流出特性の変化を把握する。衛星データの取得日時に合わせ流出解析を行うことにより、流出特性に及ぼす植生の影響について検討を行うものとする。

2. 解析対象流域

解析対象流域は、図-1に示す北広島市輪厚川流域である。この流域は、開発土木研究所が流出試験地として、1970年から雨量、河川水位・流量、地下水位などの水文観測を行っている。北広島市は、札幌郊外の都市として、人口が増加しており、北広島団地の宅地

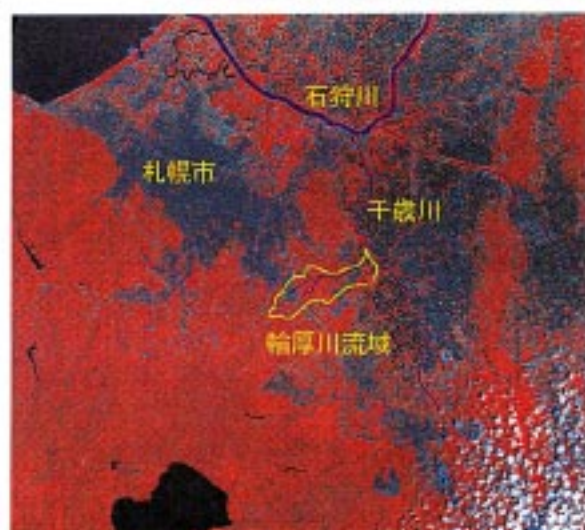


図-1 輪厚川流域図

分譲が本格化してきた1972～1978年には急激な人口増加率を示し、1975年には10,000人を超え、1980年には17,000人を超える団地となっており、都市化が進んでいる。

3. 輪厚川流域の地被状況

3.1. 土地被覆状況

対象流域における土地被覆状況・変化について、リモートセンシングにより解析を行った。使用した衛星は、地上解像度80mのLANDSAT MSSデータで、表-1に示す1980年から1995年のデータを解析に用いた。各LANDSATデータに対して、幾何補正を行い対象流域を切り出した。その結果、対象流域は画素数5020、流域面積32.13km²と求められた。流域内の標高については、250mメッシュデータから求め、以上の結果をまとめたものを表-2に示す。

土地被覆分類方法は、土地被覆の変化を抽出する際には、各シーンごとに教師データも変化することが考えられるため、教師データを必要としないクラスター分析を用いた。

クラスター分析で解析を行う場合には、クラスター数をいくつにするかを定める必要がある。本研究では、最終的に4カテゴリー（市街地、水田、畑、山林）に

表-1 解析に用いたLANDSATデータ

日付	
1980年09月09日	1989年05月26日
1983年06月03日	1990年04月27日
1984年06月21日	1991年06月01日
1985年06月24日	1993年07月08日
1986年09月23日	1994年05月24日
1987年06月06日	1995年06月12日
1988年07月26日	1996年06月14日

表-2 輪厚川流域諸元

画素数	5020
画素サイズ(m)	80
流域面積(km ²)	32.13
流域平均高度(m)	73.8
流域最低高度(m)	6
流域最高高度(m)	188

するため、クラスター数を4にして分類を行うが、思いうような結果は得られなかった。そのため、クラスター数を増やし、クラスター同士を結合させることにより、分類を行うこととした。クラスター数を増やして分類を繰り返し行い、分類結果が大きく変わらなくなる数で分析を行うことにした。今回は、クラスター数を10として分類を行い、分類画像を北広島市の土地利用図、地形図と比較することで、カテゴリを判断し最終的に4カテゴリとした。土地被覆分類結果の比較を、各シーンごとに行うが、季節の違いによる影響が現れているために、かなりばらつきのある結果が得られた。そのため、同時期（6月）における土地被覆の比較を行い、結果を図-2に、土地被覆分類画像と次項で述べるNDVI分布図を図-5に示す。これより、土地被覆状況は、山林が約50%と大半を占めており、市街地・畑が約20%、水田が約10%となる結果を得た。土地被覆変化は、山林は、他のカテゴリに比べて大きく減少し、市街地が増加している様子がわかる。

都市化状況を確認するために、83年と95年の土地被

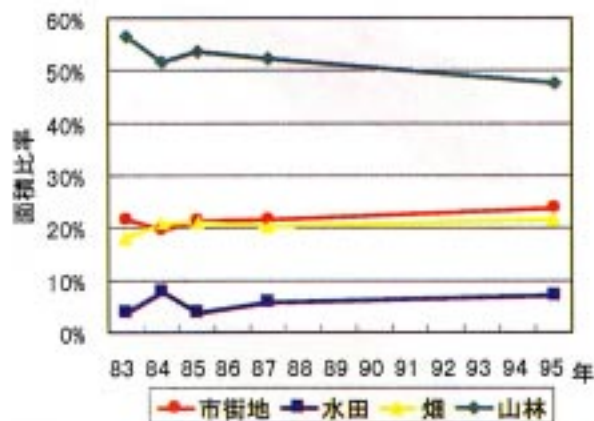


図-2 輪厚川流域土地被覆変化

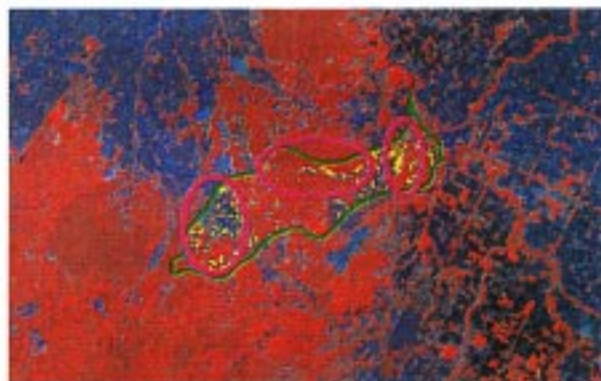


図-3 都市化状況

覆分類画像を比較する。95年において、市街地のカテゴリが83年において、市街地以外のカテゴリの画素を抽出したものを図-3に示す。図に示すとおり、市街地化が、大曲、北広島市内、河道沿いに市街地化が進行している様子がわかる。

3.2. 植生状況

衛星データより植生状況を把握するために、一般的に用いられている次式で表されるNDVI (Normalized Difference Vegetation Index; 正規化植生指標) を用いた。

$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS} \dots (1)$$

ここに、NIR : 近赤外域の輝度値

VIS : 可視域の輝度値

NDVIは植物の可視域での強い吸収特性と近赤外バンドでの強い反射特性を利用したものである。

LANDSAT MSSの場合はNIRにCh. 7、VISにCh. 5があてはまる。NDVI値は-1~+1の範囲で、植生が多いほど、または活力度が大きいほど大きな値を持ち、光合成量の増加、植物の葉面積指数(LAI)の増加、蒸散量の増加、表面温度の減少が予想される。また、植生が少ない市街地、水域などは±0付近から負の値を持つ。

対象流域におけるNDVIの平均値、分布図を図-4、図-5に示す。NDVI分布図を土地被覆分類図と比較すると、似た分布形状を表しており、NDVIにより地被状況の違いが表されることが示されている。

NDVIの分布を比較すると、市街地に関しては、大きな変化は見られない。山林などの植生域については、同じ6月においても変化が見られる。83年と87年の分

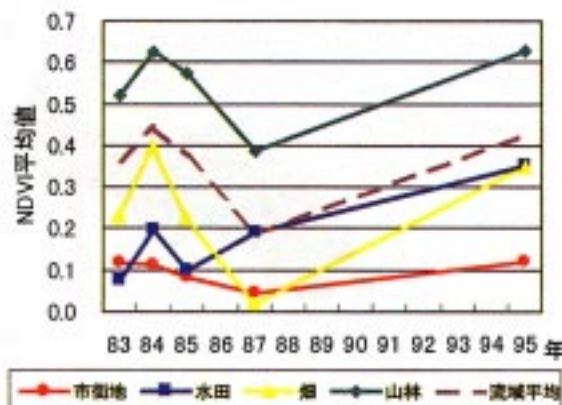


図-4 輪厚川流域NDVI変化

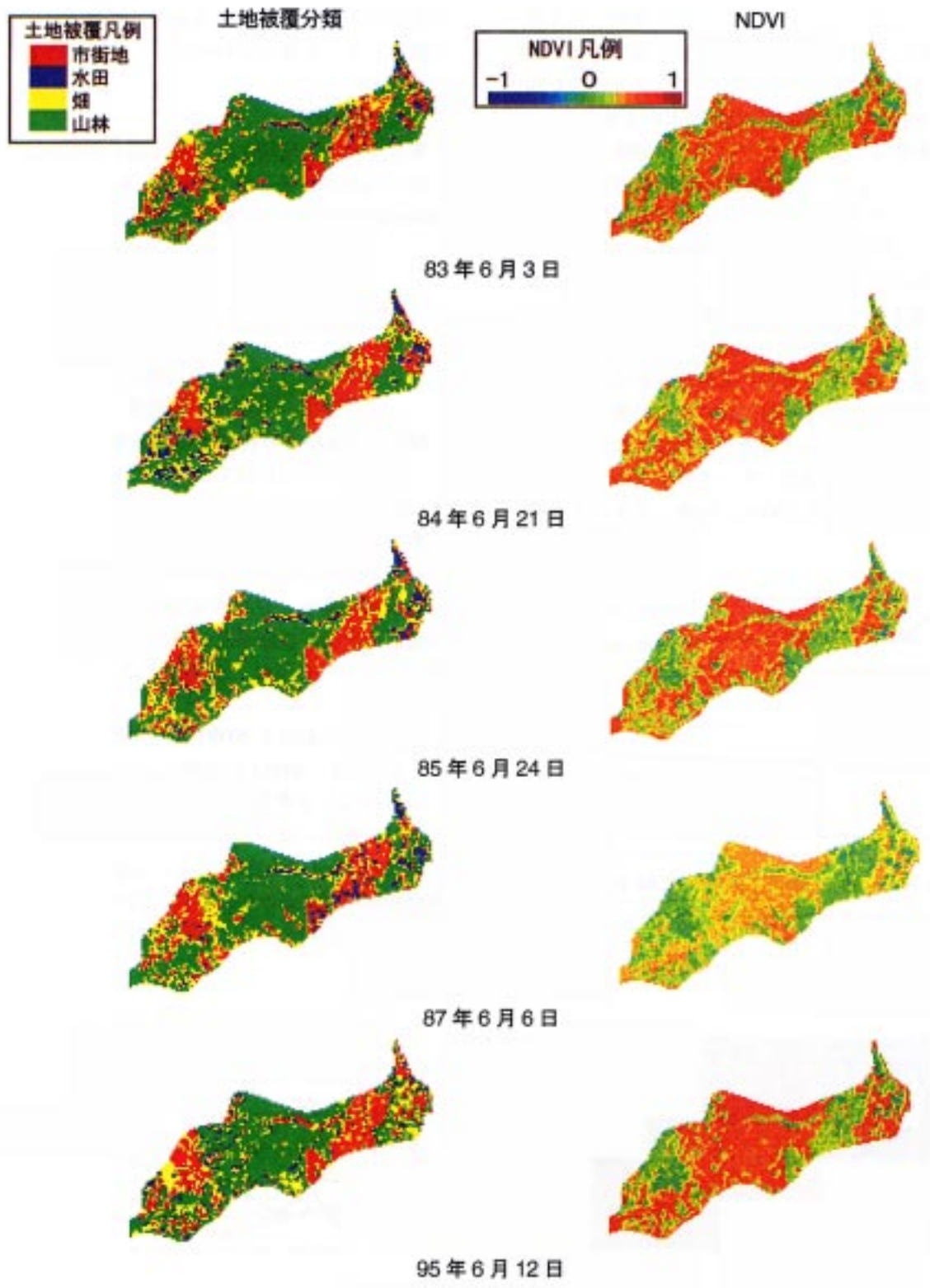


図-5 土地被覆分布とNDVI分布

布図を見ると、他のデータに比べて、植生域において、値が低いのがわかる。これは、83年と87年が6月上旬のデータで、他は、中旬、下旬のデータになっており、観測日時による植生の活力の変化が表れている。

4. 流出特性と植生

4.1. 流出解析手法¹⁾²⁾

対象流域内における流出特性の変化を把握するために流出解析を行った。今回、用いた流出解析法は、次式で表される損失機構を考慮した貯留関数法を用いた。

$$s = k_1 q^{p_1} + k_2 \frac{d}{dt} (q^{p_2}) \quad \dots (2)$$

$$\frac{ds}{dt} = r - q - p \quad \dots (3)$$

$$p = \alpha q \quad \dots (4)$$

ここに、s：貯留高(mm)、q：流出高(mm/h)
p：損失高(mm/h)

k_1 、 k_2 、 p_1 、 p_2 、 α ：モデルパラメータ

モデルパラメータについては、星ら³⁾の研究によれば表面流にマニング則を用いた場合、流域によらず、 p_1 、 p_2 はそれぞれ0.6、0.465を用いることが適当とされている。 k_1 、 k_2 については、等価粗度、流域勾配および平均雨量強度の関数と考えられるが、実測水文資料による同定の結果では、これらのパラメータがハイドログラフごとに変動が大きい。以上のことから、 k_1 、 k_2 、 α を未知のパラメータとして同定させていく。

流出特性は各パラメータによって表し、パラメータによる流出特性の変化は以下ようになる。

k_1 ：ハイドログラフ全体の反応の速さとピーク流出高の大きさに影響、値が高いほど流出が遅れ、ピークが小さくなる。

k_2 ：ハイドログラフの立ち上がり・減衰部のカーブの突鋭度に影響、値が高いほど緩やかなカーブになる。

α ：損失項を支配する係数、値が高いほど、浸透・蒸発散などの効果が高いことを意味し、降雨に対する流出の割合が減少する。

4.2. 流出特性に及ぼす植生の影響

輪厚川における流出特性に及ぼす植生の影響について、検討を行っていく。

都市化による植生域の減少による流出特性の変化については佐々木ら²⁾によると、流出解析の各パラメータは経年的に減少している傾向を示し、ピーク流出高の増加、ピーク到達時間が以前より早くなっていることが示されている。

本研究では、経年的な植生域の面積による流出特性の変化ではなく、降雨時における地被状態が及ぼす流出特性への影響を知るために、NDVIを用いて解析を行った。NDVIは植生の活力を表すものであることから、同一の土地被覆カテゴリ内においても、違いが表れてくる。また、NDVIは季節変化があるために、

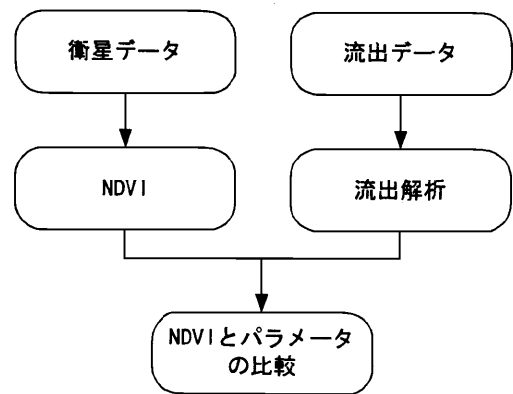


図-6 フロー図

表-3 衛星データと流出データ

衛星データ	流出データ
1983/6/3	1983/6/13
	1983/6/21
	1984/6/17
1984/6/21	1984/6/17
	1984/7/13
	1984/7/25
1985/6/24	1985/7/11
	1985/7/14
	1985/7/17
1995/6/12	1995/6/4
	1995/6/15
	1995/6/26

降雨時ごとに変化する。このため、NDVIを降雨時における地被状態を表すものとして解析を行い、流出特性に及ぼす植生（NDVI）の影響について検討を行った。

今回の解析のフローを図-6に示す。降雨時におけるNDVIにより地被状況を表すために、衛星データ取得日時近傍において、降雨のあったデータを使用する必要がある。今回、検討に用いた衛星データ、水文データは欠測などもあり、表-3に示すとおり、衛星データは4シーン、各シーン近傍の流出データ11例により解析を行った。つぎに、各データに対して、衛星データよりNDVIを求め、流出データに対して流出解析を行いパラメータを求める。求められたNDVIとパラメータを比較することにより、流出特性に対する植生の影響について検討を行った。

NDVIとパラメータを比較するために、相関をとることを試みた。x軸にNDVI流域平均値、y軸に各パラメータをプロットし、近似直線を引いたものを、図-7、図-8、図-9に示す。

この結果、植生域の面積の変化による流出特性の変化と同様に、NDVIの増加にともない各パラメータも増加することを予想していた。しかし、図に示すようにパラメータのばらつきがNDVIに対して大きく、NDVIの増加に伴って、パラメータが大きくなるような関係は得られなかった。また、土地被覆分類結果のカテゴリごとのNDVI平均値を求め、各パラメータと比較を行うが、同様にばらつきが大きく、流出特性に及ぼすNDVIの影響は表せなかった。

この原因としては、衛星データと流出データの日時が最大一ヶ月離れていることなどが考えられる。観測日時の違いにより、NDVI・パラメータの変化の違いによる影響というものが表れていると考えられる。そこで、NDVIとパラメータの変化の違いについて、考察していく。

4.3. NDVIとパラメータの日変化

NDVIとパラメータの変化の違いについて、検討するために、NDVIとパラメータの短期間における変化について解析していく。

まず、パラメータの日変化について解析を行っていく。方法は、95・96年の5月～6月の期間中に降雨のあったデータに対して流出解析を行いパラメータを求める。求められたパラメータと日降雨量を図-10に示す。図に示すとおり、2ヶ月の短期間においても変化にばらつきが見られる。変化の特徴としては、図に

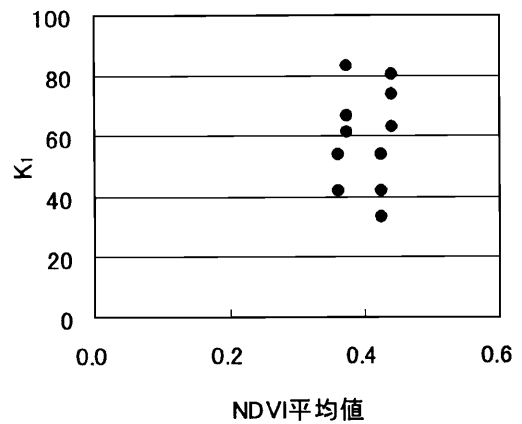


図-7 NDVIとk₁

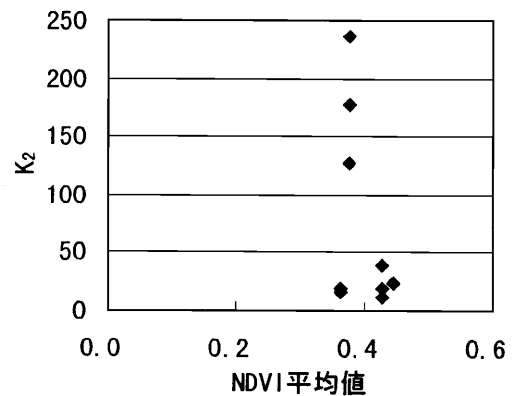


図-8 NDVIとk₂

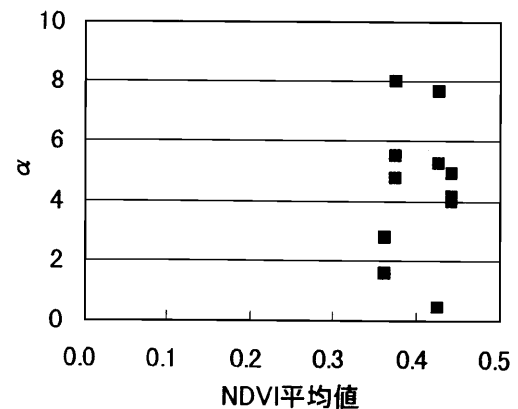


図-9 NDVIとα

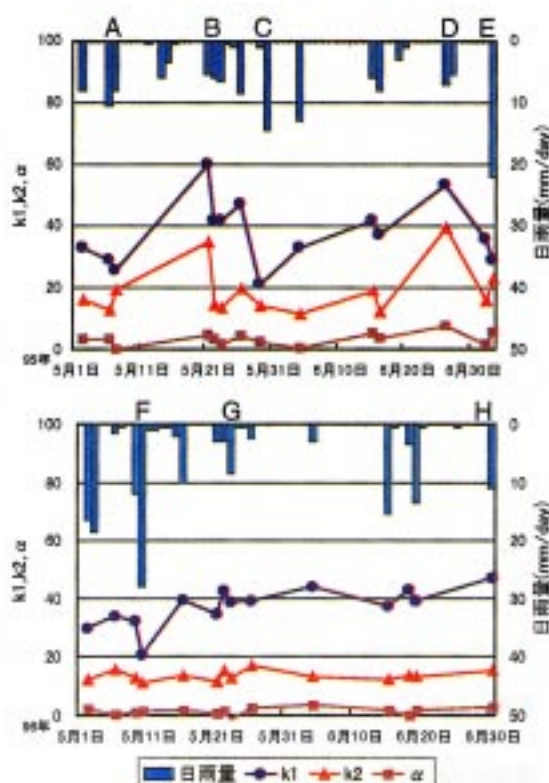


図-10 日降雨量とパラメータ

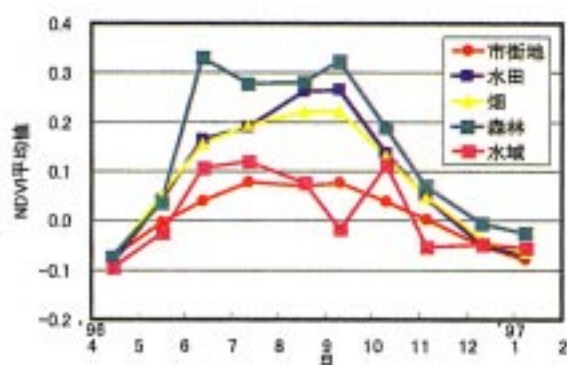


図-11 石狩川流域における NDVI 日変化

示す B, C, E, F でまとまった降雨によりパラメータが減少し、A-B, C-D, G-H の期間のように降雨の少ない期間が続くとパラメータの増加などの傾向が見られる。つまり、降雨、地表面の状態などの環境条件がパラメータの変化に影響すると考えられる。

NDVI の日変化については、LANDSAT の観測周期は約17日のために、日変化の観測は不可能である。そこで、NOAA 衛星による石狩川流域における NDVI の季節変化の研究例⁴⁾⁵⁾により、NDVI の日変化を見

ていく。図-11に石狩川流域における NDVI の日変化を示す。パラメータの日変化を求めた5月～6月における NDVI の変化を見ていく。水田、畑、森林など植生のあるカテゴリーにおいて、NDVI は増加する傾向が示されている。このことは植生の活力が大きくなり、蒸発散量が増える時期であることも意味している。

以上のことより、パラメータと NDVI の日変化を比較すると、5～6月において NDVI は増加するのに対して、パラメータは NDVI に応じた変化は見られない。このことより、流出特性に対しては蒸発散量などの植生状況による影響よりも、降雨量、地表・中間流出層などの環境変化による影響が大きいことがうかがえる。

5. まとめ

本研究で得られた結果としては、輪厚川流域における土地被覆状況、都市化の状況を LANDSAT MSS データから確認することができた。

流出特性と植生の関係については、衛星データから得られる NDVI を利用して、貯留関数のパラメータと比較を行うことにより、降雨時における植生状況が流出特性に与える影響を検討したが、NDVI に対してパラメータのばらつきが大きいため、流出特性に及ぼす NDVI の影響は表せなかった。しかし、NDVI、パラメータの日変化について比較検討したことより流出特性に対しては蒸発散量などの植生状況より、降雨、地表・中間流出層などの環境条件による影響が大きいことがわかった。ただし、今回は流域を分割せず市街地など植生域以外の影響を考慮した解析を行っていないので、流域を分割し、植生域・市街地など土地被覆状況を考慮した解析を行う必要が考えられる。

そのために今後は、ラスタ型データとして得られる衛星データの特徴を生かすために、流域をセル分割した分布型流出解析モデルを構築することが考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、ご助言をいただいた開発土木研究所河川研究室の皆様、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 平澤陽一、馬場仁志、星清：損失を考慮した貯留関数のパラメータ総合化, 土木学会北海道支部論文報告集, 第54号(B), pp. 34~pp. 37, 1998.
- 2) 佐々木靖博、平澤陽一、馬場仁志：輪厚川における流出特性の変化, 土木学会北海道支部論文報告集, 第54号(B), pp. 38~pp. 43, 1998.
- 3) 星清、山岡勲：雨水流法と貯留関数との相互関係, 第26回水理講演会論文集, pp. 273~278, 1982.
- 4) 鈴木信幸、佐渡公明：NOAA データを用いた石狩川流域のNDVI 季節変化, 土木学会第52回年次学術講演会講演概要集, 共通セッション, pp. 254~pp. 255, 1997.
- 5) 加藤晃司、中津川誠、許士裕恭：NOAA 画像データを利用した石狩川流域の森林蒸発散量の推定, 土木学会北海道支部論文報告集, 第54号(B), pp. 70~pp. 73, 1998.



鈴木 信幸*

(財)北海道河川防災
研究センター



馬場 仁志**

開発土木研究所
環境水工部
河川研究室
室長