

# データマイニングを用いた 安倍川流砂系の土砂動態把握

## INTEGRATED ANALYSIS OF SEDIMENT TRANSPORT SYSTEM OF THE ABE RIVER BY USING DATA MINING

五島 暢太<sup>1</sup>・谷岡 広太郎<sup>2</sup>・行方 敏剛<sup>3</sup>・戸田 祐嗣<sup>4</sup>  
Yota GOSHIMA, Kotaro TANIOKA, Toshitaka NAMEKATA and Yuji TODA

<sup>1</sup>正会員 修(工) 株式会社建設技術研究所中部支社 (〒460-0003 名古屋市中区錦1-5-13)

<sup>2</sup>非会員 学士(工) 名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻 (〒464-8303 名古屋市千種区不老町)

<sup>3</sup>非会員 学士(工) 前国土交通省中部地方整備局静岡河川事務所 (〒420-0068 静岡市葵区田町3-108)

<sup>4</sup>正会員 博(工) 名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻 (〒464-8303 名古屋市千種区不老町)

The recent development of measurement technology has enabled us to utilize the frequently-observed and high resolution topographical data for river management. For the further improvement of the integrated management of sediment transport system, it is important for river engineers to make full use of those high resolution data efficiently. In this study, the data mining methodology was applied on the topographic data obtained by airborne laser survey and the hydrological data in the sediment transport system of the Abe river. The result of the analysis suggests that the topographical change of the river can be classified into 4 clusters depend on the distance from tributaries and the changing point of bed slope. It was also suggested that the effects of large flood on the topographical change have at least continued 2 years in the study site.

**Key Words :** *Sediment transport system of the Abe river, Data mining, Airborne laser survey*

### 1. 序論

山地、河川、河口部、海岸など各領域で生じている土砂動態に関する問題を統合的に解決するために、各地で流砂系の総合的な土砂管理の検討が進められている<sup>1)</sup>。総合土砂管理計画の検討では、山地から海岸に至る流砂系の土砂動態を、数十年という長期的視点で明らかにする必要があるが、直轄河川で最初に策定された安倍川総合土砂管理計画においても、蓄積されたデータの量や質、シミュレーション技術などの課題から、流砂系の土砂動態を十分な精度で把握できる状況には至っておらず、計画策定後の実績データの蓄積・分析と、これらを用いたシミュレーションモデルの精度向上を行い、計画のフォローアップを実施することが重要であるとしている<sup>2)</sup>。

土砂動態を把握するため、山地を対象とした流砂観測<sup>3)</sup>や、洪水時の多地点の同時流砂観測<sup>4)</sup>により、土砂動態の直接的な把握が試みられている。これらの手法は短期的、局所的な流砂現象や一出水での土砂動態の把握に向けて期待が大きい、長期的な流砂系の土砂動態を把握するには限界がある。そのため、総合土砂管理計画の検

討では地形変化やそれを再現できる河床変動シミュレーションより、流砂系の土砂動態を推定する手法がとられている<sup>2)5)</sup>。その際、地形変化は河道において数年おきに実施される縦横断測量などによって把握されるが、時間解像度の粗さや、測量断面データの区間代表性（測量地点が当該区間の河床変動状況を代表しているのか）などの課題が多い。一方、近年では航空レーザ測量の活用が進み、安倍川の直轄区間では毎年、航空レーザ測量が実施されるなど、高頻度・高解像度の地形データの取得が進んでいる<sup>2)6)</sup>。航空レーザ測量は水面下の河床地形を把握できないという欠点があるが、平水時の水域が狭い安倍川のような河川では航空レーザ測量により河床地形の変化を概ね把握することが可能であると考えられる。

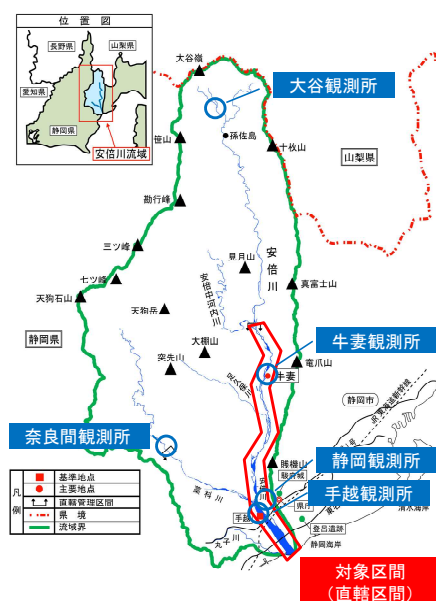
本研究の目的は、航空レーザ測量による高頻度・高解像度の地形データに対してデータマイニング手法を活用し、流砂系の土砂動態を分析することである。データマイニングとは、「大量のデータに対し網羅的な分析を行うことで新たな知見を得る」ことであり、本研究では、安倍川での航空レーザ測量を用いて地形変動状況を高い時間空間密度で把握し、データマイニングとして、異なる地点、時点での地形変動量と、流域内の雨量、流量など

の水文データとの相関関係を網羅的に分析することで、安倍川流砂系の土砂動態特性を把握することを試みた。

## 2. 地形変動量の整理

地形変動量は、国土交通省中部地方整備局静岡河川事務所より提供された航空レーザ測量より整理した。

本研究では、平成22以降、毎年の航空レーザ測量が実施されている図-1に示す安倍川直轄区間（約22km）を対象に、ArcGIS ver10.4を用いて、図-2に示す7期間の平均標高差を地形変動量として算出した。



※安倍川総合土砂管理計画<sup>2)</sup>に観測所、対象区間を加筆

図-1 対象区間：安倍川直轄区間の約22km

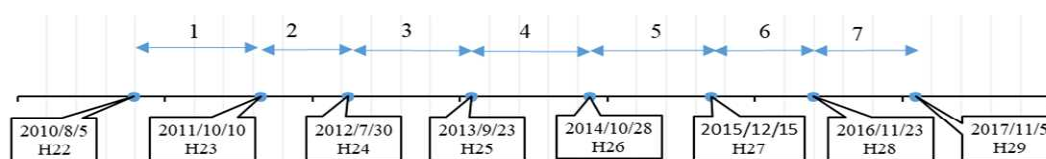


図-2 航空レーザ測量の実施日と地形変動量の整理期間

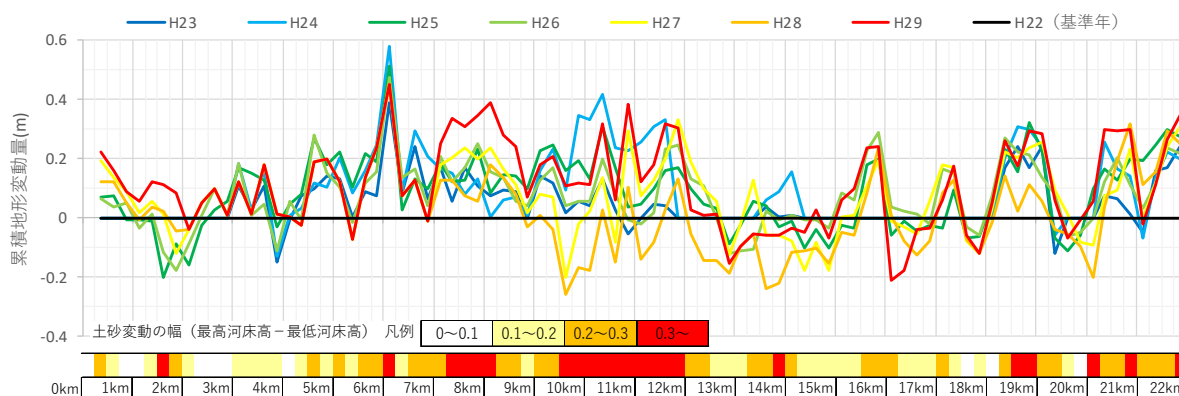


図-3 平成22年度から平成29年度までの各区間の累積地形変動量、土砂変動の幅

その際、対象区間の地形変動を捉えるため、河口から距離標ピッチ（250m間隔）の区間に分け、分割した計87区間の空間平均された地形変動量を整理した。網状河川である安倍川は局所的な地形変化が激しい河川であるが、対象域の砂州の最小波長は200m程度であることから、距離標ピッチで整理することにより砂州スケールでの平均化された地形変動特性の把握を試みた。

平成22年度から平成29年度までの各区間の空間平均された地形変動量とその土砂増減の幅（期間中の最高平均河床高と最低平均河床高の差）を図-3に示す。なお、地点によってはデータの欠損が多く見られたものもあるため、後述する分析はデータが揃っている範囲で行った。

## 3. 水文指標の整理

土砂動態に影響を与える可能性のある指標を網羅的に分析するために、国土交通省の水文水質データベース (<http://www1.river.go.jp/>) から複数の観測所で計測された水文データを整理した。使用した観測所を図-1および表-1に、それぞれの観測所で得られたデータから整理した指標を表-2に示す。

雨量や流量は上流域、中流域、下流域、支川流域の4つの観測所のデータを用いて、年間の流出ボリュームに関する指標や洪水のピーク規模に影響を与える指標を複数設定した。なお、上記の指標は図-2の7期間それぞれで整理しており、ここでいう最大や平均とは各期間の中での最大や平均を指す。また、指標によっては欠測の年度もあるため、データの揃っている範囲で分析を行った。

表-1 使用した観測所

| 観測所名   | 項目         | 備考      |
|--------|------------|---------|
| 大谷観測所  | 雨量         | 上流域     |
| 牛妻観測所  | 雨量, 水位, 流量 | 中流域     |
| 手越観測所  | 水位, 流量     | 下流域     |
| 静岡観測所  | 雨量         | 下流域     |
| 奈良間観測所 | 水位, 流量     | 支川藁科川流域 |

表-2 整理した水文指標

| 項目 | ボリュームに関する指標              | ピーク規模に関する指標           |
|----|--------------------------|-----------------------|
| 雨量 | ・日最大降雨量<br>・総雨量<br>・降水日数 | ・最大3時間降雨量<br>・最大時間降雨量 |
| 水位 | ・年平均水位                   | ・年最高水位                |
| 流量 | ・年平均流量                   | ・最高流量                 |

## 4. クラスター分析

### (1) 分析手法

本研究では、対象区間における87区間を分類対象とし、それぞれが持つ7期間の地形変動量のデータから似た性質の区間をクラスタリングした。クラスター分析は、統計分析ソフトHADを用いて分析を行った<sup>7)</sup>。分析の方法はウォード法を用い、距離の計算にはローデータによるユークリッド距離を用いた。樹形図の表示法については距離の1乗で表示した。

### (2) 分析結果

分類によって作成された樹形図を図-4に、各クラスターの位置図を図-5にそれぞれ示す。また、各クラスターの地形変動量の平均値と標準偏差を図-6に示す。本研究では大きく4つのクラスターに分け、各クラスターの地形変動特性を整理した。

これらの結果より、各クラスターは表-3に示す特徴を有している。クラスターは支川合流点や勾配変化点（距離標10.0km地点、図-7参照）の下流に位置する①②とその下流に位置する③④に大別される。いずれのクラスターも堆積傾向であるが、クラスター④は地形変動量の標準偏差が大きく、年による地形変動のばらつきが大きいなど、クラスターによって異なる地形変動特性を有している。

表-3 各クラスターの特徴

| クラスター | 位置                | 地形変動量の標準偏差 | 傾向      |
|-------|-------------------|------------|---------|
| ①     | 支川合流直後<br>勾配変化点直下 | 小          | 堆積傾向    |
| ②     | 支川合流後<br>勾配変化点下流  | 小          | 堆積傾向    |
| ③     | ①, ②の下流側          | 小          | 若干の堆積傾向 |
| ④     | ①, ②の下流側          | 大          | 堆積傾向    |

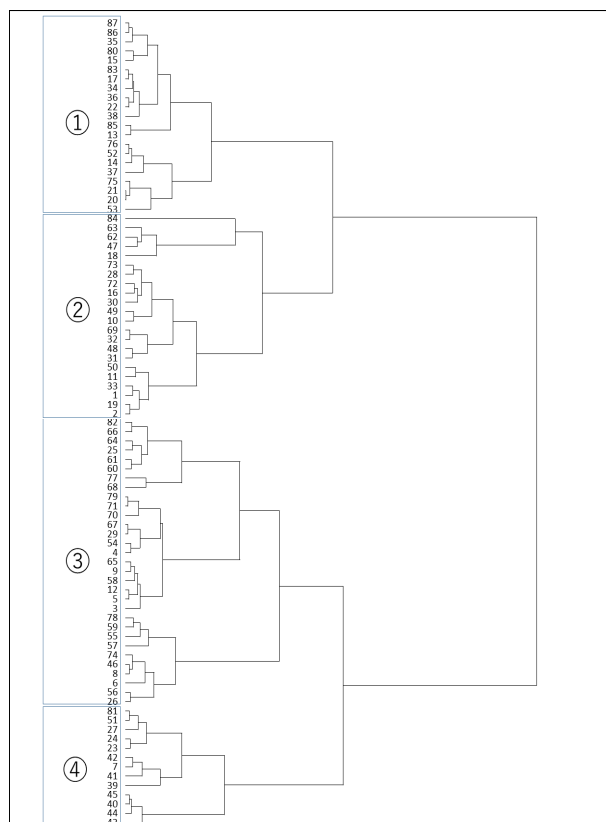


図-4 クラスター分析による樹形図

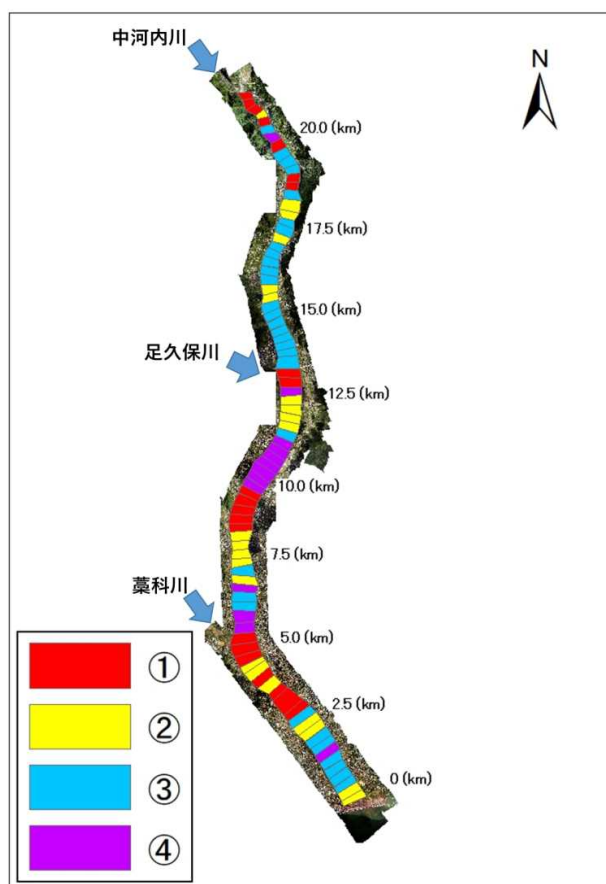


図-5 各クラスターの位置図

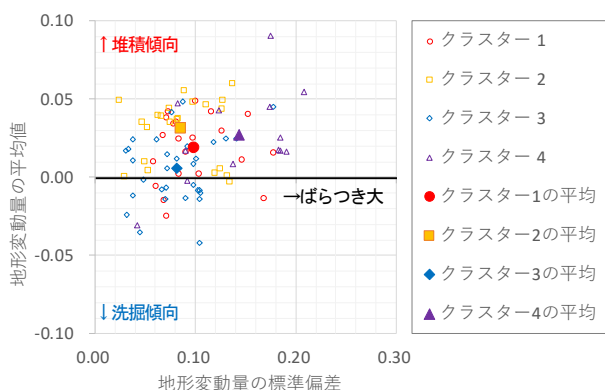


図-6 各クラスターの地形変動量の平均値と標準偏差

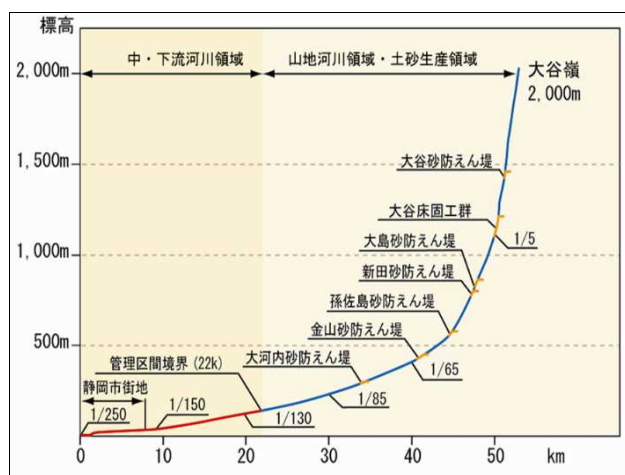


図-7 安倍川縦断面図 (出典：安倍川総合土砂管理計画<sup>2)</sup>)

## 5. 関連性の高い指標の判定

地形変動量と水文指標の関連性は、各クラスターにおいて相関係数および回帰係数によって評価した。

その際、土砂動態が単年で完結しない可能性があることから、当年の指標のみでなく、前年、前々年の指標との関連性についても分析した。

- 1) 当年の指標：地形変動量と各指標をそれぞれ対応した期間で関連性を分析
- 2) 前年の指標：地形変動量とその一つ前の期間の指標で分析し1年前の指標の関連性を分析  
(例) 期間2の地形変動量と期間1の指標を比較
- 3) 前々年の指標：地形変動量とその二つ前の期間の指標で分析し2年前の指標の関連性を分析  
(例) 期間3の地形変動量と期間1の指標を比較

地形変動量と水文指標の関連性を判定する際、相関係数 $r$ によって2変数間の相関性の高さを判断することはできるが、 $x$ 軸の変数(水文指標)の $y$ 軸の変数(地形変動量)に対する影響の強さを評価することができない。2

変数間の関係を散布図にしたときの回帰直線の傾きが大きくなれば $x$ 軸の変数が $y$ 軸の変数に与える影響が大きくなることを意味することから、相関係数 $r$ と回帰直線の傾きである回帰係数 $B$ をあわせて分析することで各水文指標の土砂増減に対する影響の強さを含めて関連性を評価することができる。

ただし、単位の異なる水文指標の回帰係数 $B$ は単純に比較することができないため、 $x$ 軸の標準偏差 $\sigma_x$ と $y$ 軸の標準偏差 $\sigma_y$ を用いた式(1)によって補正された回帰係数 $\beta$ を算出し、評価に用いた。

$$\beta = B \times \sigma_y / \sigma_x \quad (1)$$

ここで、 $\beta$ ：補正後の回帰係数、 $B$ は補正前の回帰係数、 $\sigma_x$ 、 $\sigma_y$ ： $x$ 軸、 $y$ 軸の標準偏差である。

関連性が高いとした評価する基準は「相関係数の絶対値 $>0.6$ かつ回帰係数の絶対値 $>0.6$ 」とした。この基準は、近年、データが充実してきた安倍川においても、依然、利用可能なデータの年度数は限られており、統計学的な有意性の判断には不足するため、本研究で独自に定めた暫定的な基準である。

- ・相関係数 $>0.6$ かつ回帰係数 $>0.6$   
→正の関連性が高い：指標増加→堆積
- ・相関係数 $<-0.6$ かつ回帰係数 $<-0.6$   
→負の関連性が高い：指標増加→洗掘

各クラスター内の6割以上の区間で関連性が高いと判定された水文指標を表-4に示す。

表-4 関連性の高い水文指標一覧

| 比較年     | クラスター | 正の関連性   | 比較年     | クラスター | 負の関連性                                             |
|---------|-------|---------|---------|-------|---------------------------------------------------|
| (1) 当年  | ①     | なし      | (1) 当年  | ①     | なし                                                |
|         | ②     | なし      |         | ②     | なし                                                |
|         | ③     | 年平均流量   |         | ③     | なし                                                |
|         | ④     | 年平均流量   |         | ④     | なし                                                |
| (2) 前年  | ①     | 年平均水位   | (2) 前年  | ①     | なし                                                |
|         | ②     | なし      |         | ②     | 降水日数                                              |
|         | ③     | なし      |         | ③     | なし                                                |
|         | ④     | 年最高水位   |         | ④     | 最大3時間降雨<br>最大時間降雨<br>最大時間降雨                       |
| (3) 前々年 | ①     | 最大3時間降雨 | (3) 前々年 | ①     | 日最大降雨量<br>日最大降雨量                                  |
|         |       | 降水日数    |         |       | なし                                                |
|         |       | 降水日数    |         |       | 最大流量<br>日最大降雨量                                    |
|         |       | 降水日数    |         |       | 年平均水位<br>日最大降雨量<br>最大流量<br>最大流量                   |
|         | ②     | なし      |         | ②     | なし                                                |
|         | ③     | 最大時間降雨  |         | ③     | 最大流量<br>日最大降雨量<br>年平均水位<br>日最大降雨量<br>最大流量<br>最大流量 |
|         |       | 最大3時間降雨 |         |       |                                                   |
|         |       | 最大3時間降雨 |         |       |                                                   |
|         |       | 最大時間降雨  |         |       |                                                   |
|         | ④     | 最大3時間降雨 |         | ④     | 最大流量<br>日最大降雨量<br>最大流量<br>最大流量                    |
|         |       | 最大3時間降雨 |         |       |                                                   |
|         |       | 最大3時間降雨 |         |       |                                                   |
|         |       | 最大時間降雨  |         |       |                                                   |

色の区分： 大谷 牛妻 手越・静岡 奈良間

## 6. 地形変動と各指標の関連性に対する考察

対象とした期間は全体として堆積傾向であることから、ここでは正の関連性が高い指標について、指標が持つ土砂動態上の意味を考察した。

### (1) 当年の指標

クラスター③④が中流域の年平均流量と正の関連性を持つ。この結果が意味するのは下記のようなことであり、支川からの流入土砂に対する短期的な地形変動特性の違いが現れていると考えられる。

#### 支川合流後（クラスター①,②）

- 支川合流後は出水時に流量が一気に増加し、大きな粒径の土砂が堆積する特性を有する。
- 粒径が大きいと、流出の年間総ボリュームの影響を受けにくい。
- 年平均流量と正の関連性を持たない。

#### それ以外の区間（クラスター③,④）

- 支川合流直後に堆積できなかった小さい粒径の土砂が堆積する特性を有する。
- 粒径が小さく、中小の出水でも移動するため、流出の年間総ボリュームの影響を受けやすい。
- 年平均流量と正の関連性を持つ。

### (2) 前年の指標

クラスター①が中流域の年平均水位とクラスター④が中流域の年最高水位と正の関連性をもつ。この結果が意味するのは下記のようなことであり、出水規模によって、前年の影響が及ぶ範囲が異なると考えられる。

#### 年平均水位（クラスター①）

- 前年の出水規模より、前年の総流量の影響を強く受ける。
- 支川合流直後は、出水規模によらず、出水の影響が2か年に及ぶ。

#### 年最高水位（クラスター④）

- 前年の総流量より、前年の出水規模の影響を強く受ける。
- 支川合流点より離れた位置は、出水規模が大きい場合に、出水の影響が2か年に及ぶ。

### (2) 前々年の指標

クラスター①③④で中下流域の降雨ピーク規模を表す指標と、クラスター①で流域全体の降水日数と正の関連性が高い。この結果は、大規模な降雨、出水の影響は、少なくとも2年以上に及ぶことを示唆する。

## 7. 地形変動量間の相関分析

安倍川をはじめ多くの総合土砂管理では、河床高などの土砂動態に関わる指標を計測する代表地点を流砂系内に複数定め、代表地点の計測結果から土砂動態のモニタリングを行っている。そのような観点から、ある場所の地形変動が他の地点の地形変動とどのような関連性にあるかを分析することは、代表地点の選び方やモニタリング結果の解釈などに有用な情報をあたえるものと期待される。ここでは、ある区間の地形変動量とそこから上流の区間の地形変動量の相関係数（地形変動量に関する自己相関係数）を整理し、地点間の地形変化の関連性を分析した。

地形変動量間に正の相関がある場合、両区間は同様の堆積、洗掘傾向であることになる。例えば、近隣の区間は同様の傾向を示す可能性が高く、正の相関を示すと考えられる。反対に、地形変動量間に負の相関がある場合、両区間は反対の傾向であることになる。図-8に示すように、例えば、上流で洗掘が生じて下流に洗掘された土砂が堆積した場合や、横断工作部や狭窄部などの上流で土砂が堆積したことにより土砂供給が減少し下流で洗掘が生じた場合は負の相関を示すと考えられる。

このように、負の相関が強まる場合は土砂動態上の因果関係が存在する可能性があることから、地形変動量間で負の相関が強まる縦断距離を整理した。負の相関が強まる縦断距離を整理した例を図-9に、対象区間全体の整理結果を図-10に示す。

整理するためには上流にある程度の延長が必要であることから、対象区間のうち河口から16kmの区間までを分析対象とした。また、分析対象区間でも欠損が多く相関の増減が激しく出すぎてしまう区間は対象外とした。

その結果、負の相関が強まる距離が2km～5kmとなったのが41区間、5km～8kmが16区間、8km～11kmが4区間、対象外としたのが26区間となった。

負の相関が強まることと直接的な土砂の移動距離と関連づけるのは難しいが、（河床）形状としての影響の伝播距離と考えると、対象区間において、上流側で生じた当該年の変化は2～10km程度、下流側までの範囲に影響を及ぼしていると考えられる。以上より、対象区間（約22km）の上流で生じた影響が、対象区間下流まで及ぶには少なくとも2年は要すると推測され、前々年の水文指標との関連性より推測された「出水規模が大きい場合に、出水の影響が2か年に及ぶ」という前述の考察と一致する。また、10km地点下流は負の相関が強まる縦断距離が長く、縦断勾配の変化が影響していると考えられる。

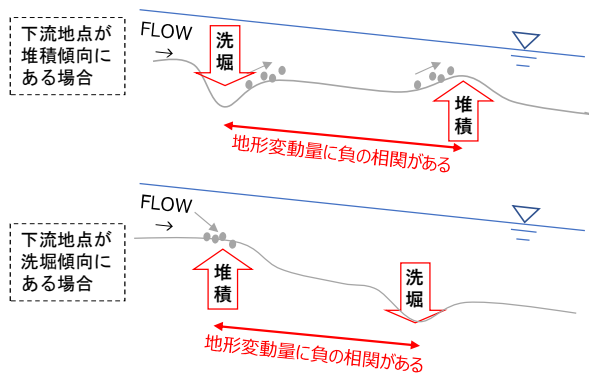


図-8 地形変動量間の負の相関の例

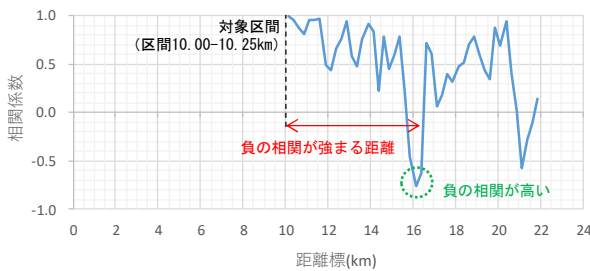


図-9 負の相関が強まる縦断距離の推定例  
(区間10.00-10.25km)

## 8. 結論

本研究では、安倍川流砂系で計測された地形変動量データに対してデータマイニング手法を適用し、複数年にわたる水文データとの相関関係や、地形変動量間同士での相関分析を実施した。現時点においては、統計的な有意性を検証するにはデータ数が不足しているが、一定の相関値以上を有する事象について評価した結果、以下の結論が得られた。

- 地形変動量に対するクラスター分析より、支川合流点や勾配変化点の下流と、これらの地点より離れた区間は異なる地形変動特性を有しており、堆積傾向の違いや地形変動量の標準偏差の大小といった地形変動特性により4つのクラスターに分類される。
- 当年の流出の年間総ボリュームに対して相関性の高い地点は、支川合流直後に堆積できなかった小さい粒径の土砂が堆積する支川合流部より離れた区間に現れる傾向がある。また、前年の年間総ボリュームに対しては支川合流直後で高い相関性を有しており、支川合流直後では前年の出水の影響が翌年に及ぶ。
- 当年の洪水のピーク規模に対して相関性の高い地点は確認されなかったが、前年との相関性が支川合流点より離れた位置で確認されたことから、前年の出水規模が大きい場合は、前年の出水の影響が支川から離れた位置でも翌年に及ぶ。
- 複数年の水文指標との相関分析の結果、大規模な降雨、出水の影響は、少なくとも2年以上に

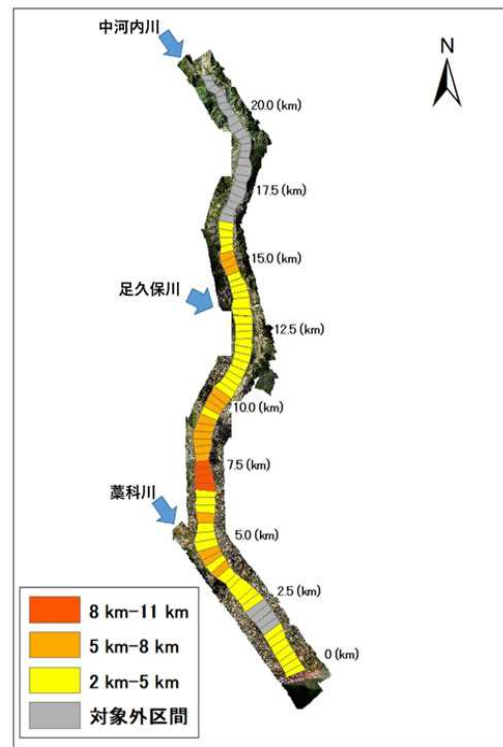


図-10 負の相関が強まる縦断距離

及ぶことが示唆された。このことは、異なる2区間での地形変動量の相関分析の結果からも示唆されており、研究対象区間（約22km）の上流で生じた影響が、対象区間の下流まで及ぶには少なくとも2年は要するものと思われる。

今後、より長期のデータを取得・蓄積し、統計的客観性を検証する必要がある、今後の課題である。

**謝辞：**地形変動を整理するにあたり、国土交通省中部地方整備局静岡河川事務所から航空レーザ測量成果を提供いただいた。記して謝意を表する。

## 参考文献

- 1) 国土交通省：総合的な土砂管理，国土交通省ホームページ，<http://www.mlit.go.jp/river/sabo/dosyakanri.html>.
- 2) 中部地方整備局：安倍川総合土砂管理計画，2013.
- 3) 田中健貴，内田太郎，蒲原潤一，桜井亘：近年の山地流域における流砂観測による成果と課題，土木技術資料，Vol.57，No.7，pp.22-25，2015.
- 4) 西川友幸，高橋正行，加藤善明，安田勇次：安倍川流砂系，砂防学会誌，Vol.58，No.3，pp.67-74，2005.
- 5) 天竜川流砂系協議会：天竜川流砂系総合土砂管理計画【第一版】，2018.
- 6) 静岡河川事務所：安倍川総合土砂管理計画フォローアップ作業部会資料 資料-1，2018.
- 7) 清水裕士：フリーの統計分析ソフト HAD:機能紹介と統計学習・教育，研究実践における利用方法の提案，メディア・情報・コミュニケーション研究，第1巻，pp.59-73，2016.

(2019. 4. 2受付)