

# Responses of suspended sediment yield to topography and land use in the Yellow River Basin, China

Mar. 2020 Environmental Information Science 47 – 186622 ZHANG, Ruiqi

Supervisor: OGUCHI, Takashi

Keywords: The Yellow River Basin, water discharge ( $Q$ ), suspended sediment concentration ( $SSC$ ), topography, land use

## 1. Introduction

The Yellow River used to be one of the most sediment-laden rivers in the world. To trap eroded soil, large-scale soil conservation measures such as tree-planting and terrace-land construction have been put into practice since the 1970s, which may inevitably change the land surface conditions, and thus lead to the regime shift of sediment transport. However, a reinvestigation for the regularities of suspended sediment yield ( $SSY$ ) has not been extensively conducted based on the newly released hydrological data on river discharge ( $Q$ ) and suspended sediment concentration ( $SSC$ ) for the years 2008–2012 on the entire Yellow River Basin. Besides, many previous studies examined  $SSY$  using suspended sediment load ( $SSL$ ), defined as the product of  $SSC$  and  $Q$ , instead of examining them separately. This approach may obscure the true reasons behind the changes of  $SSY$ , since  $SSC$  and  $Q$  can contribute separately. To address the scientific issues mentioned above, this research is conducted with three objectives: 1) to reinvestigate the spatial variation of  $Q$  and  $SSC$  over the Yellow River Basin using the newly available hydrological data for 2018–2012; 2) to correlate environmental factors on topography and land use with  $Q$  and  $SSC$  for watersheds delineated using GIS; and 3) to detect meaningful contributing factors for  $Q$  and  $SSC$ . The obtained results may help people better understand the regularities of suspended sediment yield in the Yellow River Basin under the current topographic, land use and climatic conditions.

## 2. Methodology

This research quantifies watershed characteristics from the perspective of hydrology, topography and land use. Daily  $SSC$  and  $Q$  data are available for 94 watersheds in the Yellow River Basin, and 70 watersheds can be successfully delineated in ArcGIS 10.5. The quantification of hydrological characteristics are performed for all the watersheds, whereas the topographic and land-use characteristics are quantified for the 70 successfully extracted watersheds.

To quantify the hydrological characteristics, mean daily  $Q$  ( $Q_{\text{mean}}$ ,  $\text{m}^3/\text{s}$ ) and the maximum daily  $SSC$  ( $SSC_{\text{max}}$ ,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ) during the flooding seasons (July to September) were calculated. To quantify the topographic characteristics, 25 topographic variables were originally selected based on the literature review, of which 14 variables were finally picked up after the removal of some strongly correlated variables. To quantify the land-use characteristics, the percentages of cropland, grassland, forest, and shrubland were calculated.

Considering the complex geographic settings of the Yellow River Basin, this study classified the watersheds into different groups using the Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise (DBSCAN) method before conducting Pearson correlation analysis among the selected variables. For analyzing the effect of watershed area ( $A$ ) on  $Q_{\text{mean}}$ , the DBSCAN was applied to classify 94 watersheds into small and large ones based on the base-10 logarithm of  $A$  and  $Q_{\text{mean}}$ ; for analyzing the relationship between  $Q_{\text{mean}}$  and  $SSC_{\text{max}}$ , the DBSCAN was applied to classify 70 successfully extracted watersheds into watersheds with high  $SSC_{\text{max}}$  and those with low  $SSC_{\text{max}}$  based on the base-10 logarithm of  $Q_{\text{mean}}$  and the decimal value of  $SSC_{\text{max}}$ . After the DBSCAN analysis, the Person correlation analysis was employed for each cluster to explore the relations between  $Q_{\text{mean}}$ ,  $SSC_{\text{max}}$  and the selected topographic and land-use variables described above.

### 3. Results and discussion

$Q_{\text{mean}}$  tends to increase with  $A$  for small watersheds, while it tends to be constant for large watersheds. The latter observation may reflect that the increase in baseflow with  $A$  due to channel deepening becomes limited after  $A$  reached a certain value, and evapotranspiration increases with  $A$  in response to the increase of gentler areas.  $SSC_{\text{max}}$  in the tributary watersheds is not correlated to  $A$  probably due to limited change in sedimentation space among small watersheds as well as the complex physical and land-use settings that cause highly variable characteristics of small watersheds. However,  $SSC_{\text{max}}$  tends to be positively correlated to  $A$  for the mainstream watersheds, which suggests increasing sediment supply for large watershed encompassing the Loess Plateau.

Both topography and lithology affect the spatial distribution of watersheds with different  $SSC_{\text{max}}$  values. Based on the  $SSC_{\text{max}}$  threshold of  $200 \text{ kg/m}^3$  detected by the DBSCAN, 70 successfully extracted watersheds were classified into watersheds with high  $SSC_{\text{max}}$  ( $> 200 \text{ kg/m}^3$ ) and those with low  $SSC_{\text{max}}$  ( $< 200 \text{ kg/m}^3$ ). Both topography and lithology affect the spatial distribution of the watersheds with high  $SSC_{\text{max}}$  and those with low  $SSC_{\text{max}}$ . The former are located mostly in the central part of the Yellow River Basin, where the surface is covered by thick unconsolidated sediment, serving as abundant sediment sources; whereas, the latter are located mostly in the marginal part where the surface is characterized by either resistant bedrock or gentler topography favorable for sediment deposition.

For the 70 watersheds, the effects of topography on  $Q_{\text{mean}}$  are more evident than those on  $SSC_{\text{max}}$ , for both watersheds with high  $SSC_{\text{max}}$  and those with low  $SSC_{\text{max}}$ . Of the 14 topographic variables,  $Q_{\text{mean}}$  is affected by  $A$ , maximum elevation, circularity ratio, relative relief, mean slope, percentage of slopes less than 9% and percentage of slopes larger than 9% and less than 18%. In contrast,  $SSC_{\text{max}}$  is only affected by mean elevation and maximum elevation. Compared with topography, the effects of land use on both  $Q_{\text{mean}}$  and  $SSC_{\text{max}}$  are weak. Of the four land-use variables, only  $Q_{\text{mean}}$  is correlated to the percentage of grassland. However, this correlation could be superficial without a cause–effect relationship.

This study has utilized the newly available data and reinvestigated the regularities of water and suspended sediment yield in the Yellow River Basin in terms of the effects of watershed size, topography and land use. The results have revealed the major influence of topographic factors. The Yellow River Basin is also known for intensive human activities in recent years, including the implementation of large-scale soil conservation programs. Future research is needed to investigate the impacts of such activities in the basin.

# 中国黄河流域における地形および土地利用と浮遊土砂量との関係

2020年3月 環境情報学分野 47-186622 張 瑞琪

指導教員 教授 小口 高

キーワード：黄河盆地、水流量(Q)、浮遊砂濃度(SSC)、地形、土地利用

## 1. はじめに

黄河はかつて世界で最も土砂量の多い河川であった。黄河流域の土壤侵食を抑制するために、1970年代から植林や等高線耕作などの大規模な土壤保全策が実施されており、これが地表の状況と土砂輸送に影響していると考えられる。一方、2008年から2012年にかけて黄河流域で収集され、最近公開された流量(Q)と浮遊土砂濃度(SSC)のデータに基づく浮遊土砂量(SSY)の再検討は、まだほとんど行われていない。また、SSYを検討した大半の先行研究では、SSCおよびQを単独で調査せず、SSCとQの積として定義された浮遊土砂負荷量(SSL)という変数を使用している。しかし、SSCおよびQは、土砂流出に対して個別に影響する可能性がある。以上の点を考慮し、次の三つの内容を本研究の目的とした。(1) 新たに公開された水文データに基づき、2008年から2012年における黄河流域におけるQとSSCの空間分布と変動を再検討する。(2) 地形と土地利用に関する環境要因と流域のQおよびSSCとの関係をGISを用いて調べる。(3) QおよびSSCに対する寄与が高い要因を抽出する。本研究は、現在の地形、土地利用および気候条件の下で、黄河流域における浮遊土砂量がどのように決まるのかを理解することに役立つと考えられる。

## 2. 方法

黄河流域の特徴を、SSY、地形および土地利用の観点から定量化した。SSYの特徴については全94流域のQおよびSSCを用いて検討し、地形と土地利用の影響については、GISによって正確な抽出が可能であった70流域のデータを用いて検討した。

SSYについて検討するために、河川の流出が卓越する六月から九月におけるQの日平均値( $Q_{\text{mean}}, \text{m}^3/\text{s}$ )と、SSCの日最大値( $SSC_{\text{max}}, \text{kg}/\text{m}^3$ )を使用した。地形の特徴の指標として、流域の形態、スケール、位置などに関する25種類の変数が先行研究に基づいて選択した。次に、ピアソンの相関係数を用いて一部の高い相関を持つ変数を除外して余剰性を減らし、残った14種類の変数を用いた分析を行った。また、土地利用の特徴として農耕地、草地、森林および灌木が流域内で占める比率を算出した。

黄河盆地の複雑な地理的特徴を考慮し、本研究は密度準拠クラスタリングアルゴリズム(DBSACAN)を用いて流域をいくつかのグループに分類した。全ての94流域の $Q_{\text{mean}}$ の特徴を分析する際には、DBSACANに入力したA(流域面積)および $Q_{\text{mean}}$ の対数に基づいて流域を小流域と大流域に分類した。上記した70流域の $Q_{\text{mean}}$ と $SSC_{\text{max}}$ の相関を分析する際には、DBSACANに入力した $Q_{\text{mean}}$ の対数と $SSC_{\text{max}}$ 値に基づいて $SSC_{\text{max}}$ が高い流域と低い流域を区分した。次に、各クラスターの $Q_{\text{mean}}$ および $SSC_{\text{max}}$ と、選択された地形および土地利用の関係を調べるために、グラフの作成をピアソンの相関係数の算出を行った。

### 3. 結果と議論

$Q_{\text{mean}}$ は全体的には $A$ とともに増加するが、 $A$ が大きくなると $Q_{\text{mean}}$ が一定になる傾向がある。後者は $A$ の増加に伴い河川の下刻が進んで地下水の供給による基底流が増えるという傾向が、非常に大きな流域では不明瞭になることが一因と考えられる。また、 $A$ が増加すると平坦な地域が増え、それとともに蒸発散が増加することも一因と思われる。一方、支流域の $SSC_{\text{max}}$ に対する $A$ の影響は不明瞭であり、小流域では $A$ の増加に伴う平坦地の増加が不明瞭なことや、黄河流域の複雑な環境による小流域の多様性が原因と考えられる。ただし、本流の流域では $SSC_{\text{max}}$ が $A$ と正の相関を持つ傾向があり、大流域が土砂供給量の多い黄土高原を含んでいることが一因と考えられる。

選択された70流域の中では、地形と地質が $SSC_{\text{max}}$ が高い流域と低い流域の空間分布を規定していると考えられる。 $SSC_{\text{max}}$ が高い流域は、厚い土層が堆積物の給源になりやすい黄河流域の中心部に位置する傾向がある。一方、 $SSC_{\text{max}}$ 値が低い流域は、侵食に対する抵抗性が強い岩盤が露出している上流域や、土砂の堆積が多い緩傾斜の地形で特徴付けられる下流域といった黄河流域の縁辺部に位置する傾向がある。

70流域では $SSC_{\text{max}}$ が高い流域と低い流域のいずれについても、地形が $Q_{\text{mean}}$ に与える影響が $SSC_{\text{max}}$ に与える影響よりも強いことが判明した。14個の地形の指標の中で、流域面積、最大標高、真円度比、相対緩和、平均勾配、9%未満の勾配の割合、9%~18%未満の勾配の割合が $Q_{\text{mean}}$ に有意に影響しているが、 $SSC_{\text{max}}$ は平均標高と最大標高の影響しか受けていない。土地利用が $Q_{\text{mean}}$ と $SSC_{\text{max}}$ に与える影響はさらに弱く、4つの土地利用の変数の中で草地の比率のみが $Q_{\text{mean}}$ と相関を持つ。また、この相関は因果関係というよりも、地形の影響を間接的に反映している可能性がある。

本研究では新たに入手可能となったデータを用いて、黄河流域の水と土砂の流出を流域の規模、地形、および土地利用との関係で再検討し、地形の要素の影響が大きいことを指摘した。黄河流域は近年、大規模な土地保全政策といった人為の影響を強く受けている。今後、この種の人間活動が水や土砂の流出に与える影響についても検討していく必要がある。