

24. 流域・海岸を統合した広域土砂環境の変化の把握

—メコン川流域のダム開発を例として—

CHANGE OF SEDIMENT DISCHARGE TO COASTAL ENVIRONMENT FROM RIVER BASIN—A CASE STUDY OF DAM DEVELOPMENT IN MEKONG RIVER BASIN

駒野裕一*・柴山知也**

Yuichi Komano, Tomoya Shibayama

ABSTRACT ; Many dam projects and dam constructions are increasingly brought forward in Mekong basin. Deposition of sand in dams will cause change of a cycle balance of sediment discharge. It is necessary to integrate numerical information in relation to dam project and sediment discharge. Sediment discharge was calculated by applying MUSLE model. Data of elevation, climate, soil and land use of the year 1998 were used for calculation. Most of sediment discharge in the area distributed from the upper basin to the middle basin. In the area that has large amount of sediment discharge, the discharge rate will be decreased by Dam development.

Keywords; developing country, sediment discharge, basin management

1 はじめに

メコン川流域では近年急速に進むダム開発によって流域への多大な影響が予測される。これらの開発による流量調節により水位の急激な変動、堆砂による土砂移動の停滞が発生し、流域内の水環境は今後大きく変動しようとしている。メコン川流域は6カ国が共有する世界有数の国際河川の流域であるため、各国間が一体となった流域管理が今後期待される。

本研究では、ダム開発により流域に及ぼされる土砂環境への影響を予測する。研究手法としては一次元不等流モデル、MUSLEモデル等を用いて河川流量、土砂流量を予測する。MUSLEモデルは気象や土壌等様々な条件から土砂流量を算定するモデルである。具体的には流域を集水域単位で細区分し、その各区分内における降雨量・気温・蒸発散等の気象条件、表土・土質等の土壌条件、勾配等の立地条件、土地利用条件等を考慮して土砂の流量を算出する。MUSLEモデルは、1975年から現在まで広く用いられているものでその信頼性は高い。このモデル算定の重要な要素である降雨量は地球温暖化が及ぼす気候変動により年々変化し、また急速な流域開発により土地利用形態も変化し続けている。そのため、これらの変化に対応したモデルにより流域全体の土砂移動を算定することが重要となる。

* 横浜国立大学大学院工学府 前期課程

Graduate Student, Civil Engineering Department, Yokohama National University

** 横浜国立大学大学院工学研究院 教授

Professor, Civil Engineering Department, Yokohama National University

2 研究の手法

2.1 土砂生産量の算定

土砂生産量は以下のモデルを用いて算出する。

MUSLE モデル (Modify Universal Soil Loss Equation ,Williams 1975)では1日当たりの算出土砂は以下のように表される。

$$Sed_{(t/km^2/day)} = 11.8(Q_{surf} \times q_{peak} \times area_{HRU})^{0.56} \times K_{USLE} \times C_{USLE} \times P_{USLE} \times LS_{USLE} \quad (1)$$

ここで、 Sed は一日当たりの算出土砂量(t/day)であり、 Q_{surf} は地表流の体積(mmH₂O)、 q_{peak} は最大流出率(m³/s)であり、 K_{USLE} は土壌浸食係数、 LS_{USLE} は斜面勾配係数、 C_{USLE} は土地利用係数、 P_{USLE} は浸食防止係数である。

RUSLE モデル(Revised Universal Soil Loss Equation, Wischmeier and Smith,1965,1978)を用いると年間の流出土砂量は下記のように表される。

$$Sed_{(t/ha/year)} = R \times K_{USLE} \times C_{USLE} \times P_{USLE} \times LS_{USLE} \quad (2)$$

ここで Sed は年間の流出土砂量であり、 R は降雨係数である。

2.2 モデルの適用

MUSLE モデルは、土壌の浸食が進むアメリカ合衆国における農土保全を目的に構成されたが、その特徴として対象地域における気候や土壌、土地利用等の個々の条件をそれぞれ数値化して計算する。これらの条件設定において独自の数値設定をすることが可能なため、気候や風土が異なるメコン川流域においても十分適用可能である。このモデルは既に日本を含めた他の国々において適用されており、その汎用性は高いと言える。

3. 流域における土砂生産量

3.1 考察の手法

モデルを用いて算出した土砂生産量マップを図1に示す。次にメコン川流域を図2のように各小集水域に分け、それぞれの域内における土砂生産量を個別に算出する。これを上流から最下流まで行い、主要区間別における総和をその区間における土砂生産量とする。

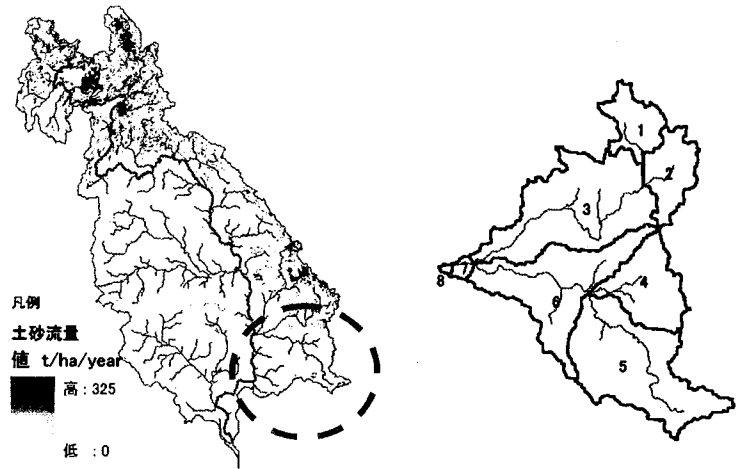


図1 土砂生産量マップ

図2 小集水域マップ

3.2 流域間における土砂生産量

図3は各集水域間で生じる生産土砂移動量を各区間別での総和と上流からの累計で示したものである。これより中国との国境から LuangPrabang 間の上流側における生産量が流域内で発生する土砂生産量の大半を占めていることが分かる。また Kratie 以降の下流域ではその生産量が著しく減少しているが、これは地形勾配が極端に平坦(勾配 0%)であるため、土壌の浸食が起こりにくい条件であることがその要因と考えられる。

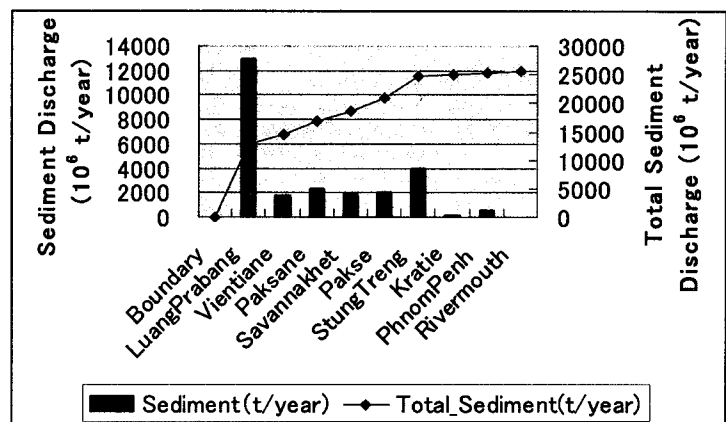


図3 各区間における土砂生産量

図4は各区間における土砂生産量を各区間の集水域面積で除して単位面積当たりの生産量として示したものである。これより、中国国境-StungTreng 間での生産量が多いことが分かり、流域内の土砂生産の大半をこの上中流域間で供給していると言える。

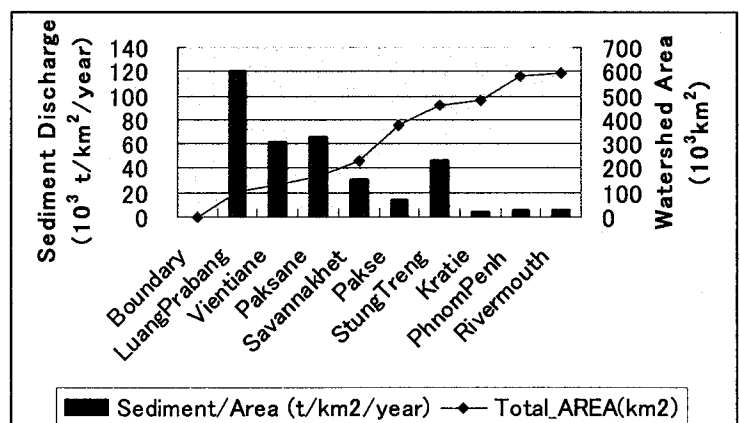


図4 各区間における単位面積当たりの土砂生産量

4. ダム開発による影響についての検討

4.1 検討方法

現在建設中及び計画中のダムが土砂供給に及ぼす影響について考察する。図5はその主なダムサイトを示したものである。

【対象エリア】

本流ダムのほぼ全てが計画段階であるため、建設が進展している支流ダムについて検討する。また土砂供給量は上中流域が大半を占めており、その想定される影響の大きさを考えて、以下の主要なダムについて検討する。

- ①ナム・タ第1～5ダム（上流域）
- ②ナム・グム第1～5ダム（中流域）
- ③ナム・トゥン第1～2ダム（中流域）

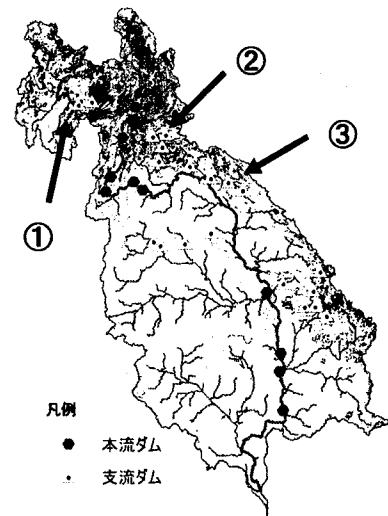


図5 流域内で進行中の主なダムサイト

【手法】

任意の集水域内で生産された土砂はすべて河川に流出し、さらに河床等で停滞することなく上流から下流へ供給されるとして考える。その上で新たに河川にダムを設置する場合、そのほとんどが堆砂するという仮定を設ける。つまり図6に示すように上流側から供給された土砂はダムによって堰き止められ、下流側への供給は0であるとする。この場合、各区間流域内の土砂供給量の変化量を算出し、また流域全体を通した土砂供給バランスの変化について考察する。

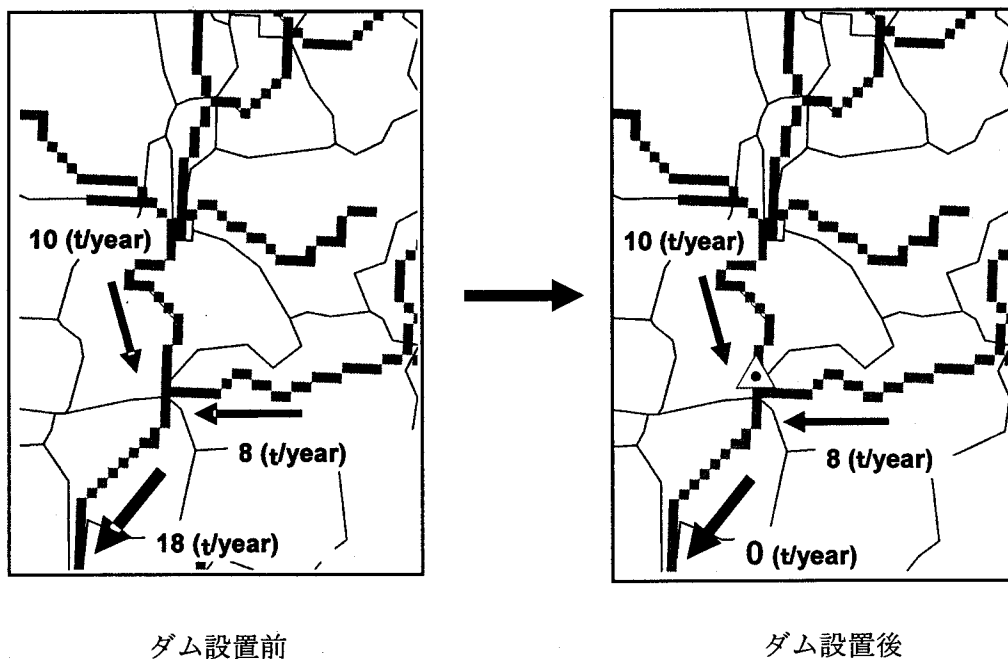


図6 ダムによる影響の仮定

4.2 結果と考察

図7中の三つのダムサイトにおいて検討を行った結果を図8に示す。図8の棒グラフは各区間でダムを設けた際に減少する土砂供給量を示す。また ΔS_1 は各区間内における土砂供給量の減少率、 ΔS_2 は上流からの土砂供給量も加算した場合の土砂供給量の減少率である。この結果より国境からLuangPrabang間における土砂供給量の減少が著しく他の区間の倍以上となっている。一方で、区間内における減少率 ΔS_1 について比較するとLuangPrabangが10%程度であるのに対して、Paksane、Savannakhetでは30%を超えている。この要因としては、まずダムサイトがより大きな集水域を持つエリア内にあり、かつサイトより上流側にも大きな集水域を抱えていることが挙げられる。また山岳地帯は急勾配な地形が続くため、土壌が流出し易いこともその要因と考えられる。

上流からの土砂供給が減少する場合、下流では海岸の侵食や、肥沃な土が奪われる。図8の ΔS_2 の結果から、流域内を通して約10%の土砂供給量が減少することが分かる。河口域では、河口デルタの縮小が少なからず起こることが推測されるが、デルタにおける土砂の粒径は非常に細かく、その動態を把握し定量化することが必要である。

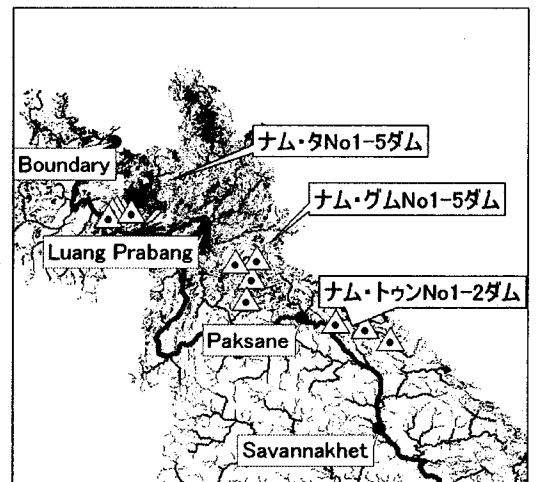


図7 検討区間とダムサイト

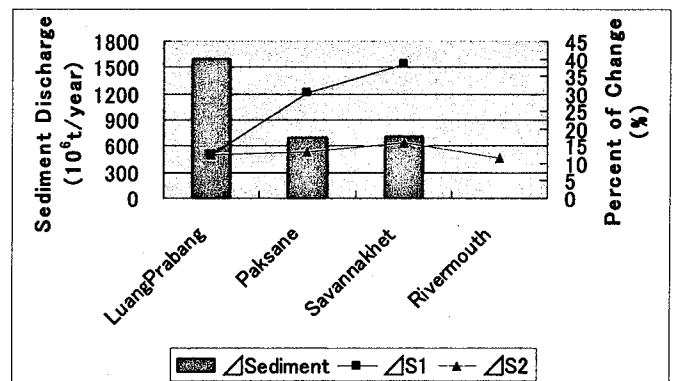


図8 土砂供給の減少量と区間に占める割合

以下の図9は昨年4月、LuangPrabang周辺の河岸において撮影したものである。開始から25分までの時間経過を示しているが、この写真より非常に短時間で土壌が浸食されていることが分かる。これらの河岸はこの乾季で一旦浸食され雨季に堆積し再形成されるが、このように年間の土砂供給サイクルが著しいメコン川流域において土砂供給バランスが変化することは、その地の生態環境に根付いた生活を基本とする現地の人々のライフスタイルを大きく変えることにもつながる。現に河床の変動による船の事故や漁業にも影響が出始めており、このような諸問題はダム開発に際しては避けられない課題となっている。



0分



20分後



25分後

図9 河岸における土壌浸食

5. 結論

モデルによって算出された土砂供給量を細分化した集水域ごとに分けることにより、流域内の土砂供給量を任意の区間に分けて把握することが可能となり、流域内の土砂供給量についての現状を把握した。流域内の土砂供給量について得られた主な特徴とまとめると以下のようなものである。

①中国との国境から StungTreng 間の上中流域における土砂流量が流域全体の大半を占め、特に山岳地帯の続く LuangPrabang までの区間に集中している。

②単位面積当たりの供給量についても中国国境から StungTreng 間の供給量が多い。

また3つの区間においてダムを設置が流域内の土砂供給に及ぼす影響について検討し、その傾向を把握した。その主な内容としては以下のようなものである。

①LuangPrabang ではナム・タダムの設置により約 12%, Paksane ではナム・グムダムの設置により約 30%, Savannakhet ではナム・トゥンダムにより 38%の土砂供給量が減少する。

②流域の各区間では約 10～16%の土砂供給が減少し、河口デルタでは約 12%減少する。

ダム開発が流域に及ぼす影響は数多くあり、その要素も複雑である。土砂供給はその内一つであるが、本研究では土砂供給の現状とダム開発による土砂供給への影響を明らかにした。

参考文献

- (1) Wischmeier, W.H. and D.D. Smith 1978 “Predicting rainfall erosion losses” A guide to conservation planning. Agriculture Handbook 282. USDA-ARS
- (2) Al-Soufi, R “Soil Erosion and Sediment Transport in the Mekong Basin”
http://www.wrrc.dpri.kyoto-u.ac.jp/~aphw/APHW2004/proceedings/OHS/56-OHS-A339/56-OHS-A339_resubmit.pdf#search='soil%20erosion%20and%20sediment%20transport%20in%20the%20mekong%20basin'
- (3) Le Trung Tuan “A Method for Evaluation of Total Sediment Discharge to Coastal Environment Using GIS” Coastal Engineering Journal, Vol.45 pp.275-293 (2003)
- (4) Joel Nobert and Tomoya Shibayama “Integrated Model for Estimating Sediment Discharge to Coastal Environment from River Basin –A Case Study of Sakawa river” JGEE vol.12 pp13-32 (2007)
- (5) 駒野裕一 “途上国における環境変化と開発の進行が土砂環境へ及ぼす影響” 横浜国立大学卒業論文
- (6) 柴山知也・Le Trung Tuan・磯畑理 “数値地図情報を用いた流域から海岸に供給される土砂収支の地球規模での算定方法” 海岸工学論文集 第 49(2002) p.606-p.610
- (7) 河田恵昭・井上雅夫・鹿室宏・珠久和孝 “大井川・駿河海岸系における海岸土砂収支について” 海岸工学論文集 第 41 卷(1994) p.516-p.520
- (8) 河田恵昭・井上雅夫・植木実・丸山正・石川真紀子 “海浜過程に及ぼすダム堆砂の影響—天竜川水系を対象として—” 海岸工学論文集 第 44 卷(1997) p.606-p.610
- (9) 河田恵昭・植木実 “天竜川・遠州海岸系の海浜過程について” 海岸工学論文集 第 45 卷(1998) p.616-p.620
- (10) 佐藤慎司・宇多高明・岡安徹也・芹沢真澄 “天竜川—遠州灘流砂系における土砂移動の変遷と土砂管理に関する検討” 海岸工学論文集 第 51 卷(2004) p.571-p.575