

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

柴 山 知 也*・Le Trung Tuan**・磯 畑 理***

メコン川など主にアジア地域の大河川の流域を解析対象として気象、土壌、地形のデータを集積し、RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) を援用して、GIS 上のモデルで流域内の浸食量を推定する方法を開発した。浸食土砂量の推定には、降雨量変化、表土流出、洪水、河口への土砂の流出とつながる因果連関を設定することができる。アジア諸地域の大河川に比べてデータのそろっている日本国内の河川のうち、安倍川についてまず検討し、モデルの検証を行った。次にメコン川、紅河、長江、イラワジ川の現状についてモデルを適用して検討すると共に、主に降雨量の変動を考慮して、将来の環境変化に対応する河口への供給土砂量変化の推定を行った。

1. はじめに

地球規模で進行しつつある環境変動の一つである河川流域表土の浸食量の変化とそれに伴う海岸への土砂供給量の変化を把握する方法を提案する。世界の海岸域は、大きな転換期に差し掛かっている。我が国を例に取れば、戦後、産業化の過程の中で治山治水を進め、また、水資源の開発のためにダムを建設した。この結果、海岸に河口から供給される土砂の量は急激に低下し、全般的に侵食傾向に変化した。河口付近にいわば砂の貯えとして形成されていた河口テラスが、多くの河口部で失われてしまった今、全国ほとんどの海岸で侵食問題は顕在化している。

一方、途上国ではそれぞれの産業化のプロセスの中で、主に流域土地利用の変化に起因して流域での表土の浸食が進み、河川を通じて河口に大量の土砂がもたらされ、河口での航路の埋没、河口の閉塞などの問題が頻発している。また、途上国の中でも発展段階に応じて治山治水、ダムの建設が進展しており、ベトナムのように日本の昭和 30 年代と同じ海岸侵食のプロセスが進行しつつある国もある(柴山・Tuan, 2001)。このような問題への対処をするために、地球規模での海岸への土砂収支の把握が必要となる。

本研究では、流域からの浸食土砂量を算定するために、メコン川など主にアジア地域の大河川の流域を解析対象として気象、土壌、地形のデータを集積し、RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) (Renard ら, 1997) を援用して、GIS 上のモデルで流域内の浸食量を推定する方法を開発する。このような試みには Paringit・灘岡 (2001) に代表されるような、流出の物理モデルの構成を行う方向もあるが、ここでは地球規模での算定を目指して、RUSLE に代表されるような経験式を用いたモ

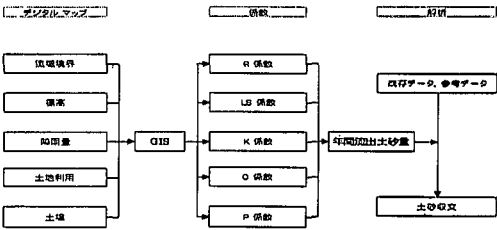


図-1 途上国土砂流出評価手法

デルを採用する。

2. 研究の方法

作業手順を図-1 に示す。具体的には以下のように作業を進めた。

1) 数値地図上で与えられた標高、土地利用、降雨分布 (30 min. lat/long)、流域境界 (Oki, 2001 による)、植生分布、土壌浸食インデックスなどの情報を GIS 上に取り込む。

2) GIS 上で RUSLE モデルに必要な入力情報である、局地的な降雨量、流出量による流出土砂量 (R)、土壌浸食可能性係数 (K)、局地勾配の長さによる係数 (L)、局地勾配の大きさ係数 (S)、表層土地状況係数 (C)、表土保存工の効果係数 (P) などの諸量を算定する。

3) 特性によって区分した小地域ごとに RUSLE を適用し、流出土砂量 A (ton/km²/yr) を、

$$A = R \times L \times S \times K \times C \times P \dots\dots\dots (1)$$

A: 単位エリアごとの流出土砂量

R: 降雨係数: 降雨による浸食 (雪解け水による表面流も含む)

L: 斜面長係数: 同一条件下での斜面長 22.1 m における流出土砂の割合

S: 斜面勾配係数: 同一条件下での斜面勾配 9 % での流出土砂の割合

K: 土壌浸食係数: 平面で人為的に加工されていない状態で勾配 9 %, 斜面長 22.1 m の長さで定義された標準点での流出土砂の割合

* フェロー 工 博 横浜国立大学教授 大学院工学研究院システム
の創生部門
** 学生会員 M.Eng. 横浜国立大学大学院工学府社会空間システム学
専攻
*** 元横浜国立大学学生

C : 土地利用係数 : 土地利用形態における流出土砂の割合

P : 侵食防止係数 : 耕作のための土地の開墾方法により異なる流出土砂の割合

を用いて算定する。

4) A を面的に積分し、流域全体から河川に対する供給土砂量を算定する。

5) 河口への土砂供給量を予測し、周辺海岸への漂砂量を算定する。

3. モデルの検証

本モデルの検証を行うために、必要なデータが利用可能な日本の流域を例として、検証を試みた。安部川について1965-2000年について、大井川について1992-2000年について解析した。GISデータは、流域マップ、降雨量、50 mメッシュ数値地図(標高)、3次メッシュ土壌マップ(一辺が1 km)、土地利用マップ(1/10細分区画マップ)

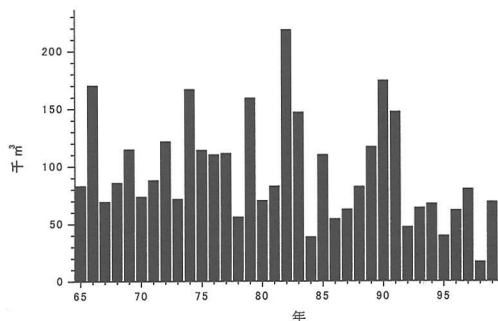


図-2 安部川の流域生産土砂量の算定値

を用いた。河床変動量は国土交通省静岡河川工事事務所(2001)による縦断測量結果を用い、河口への土砂供給量は鳥居(2001)による推定結果を用いている。

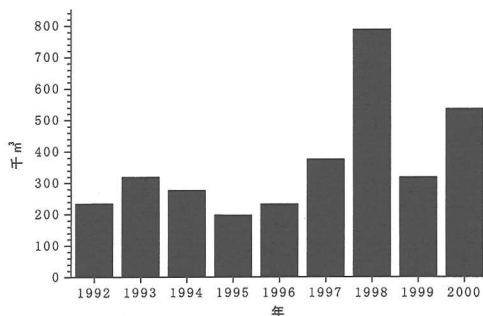


図-3 大井川の流域生産土砂量の算定値

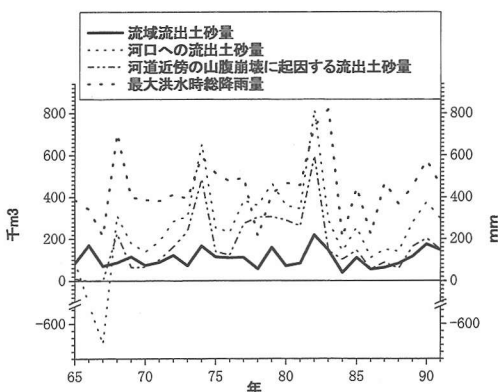


図-4 安部川での検定例

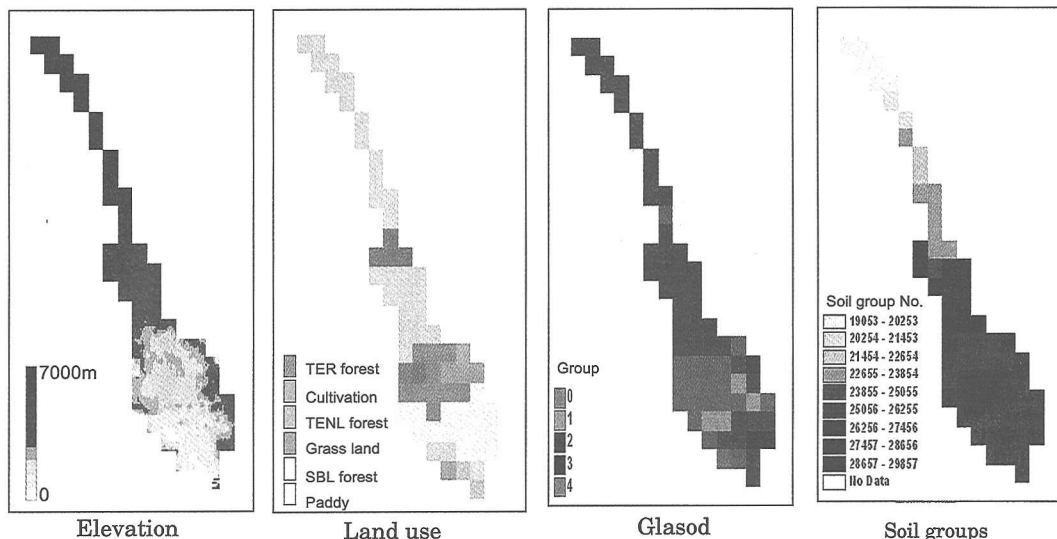


図-5 流域内の各数値データの分布例

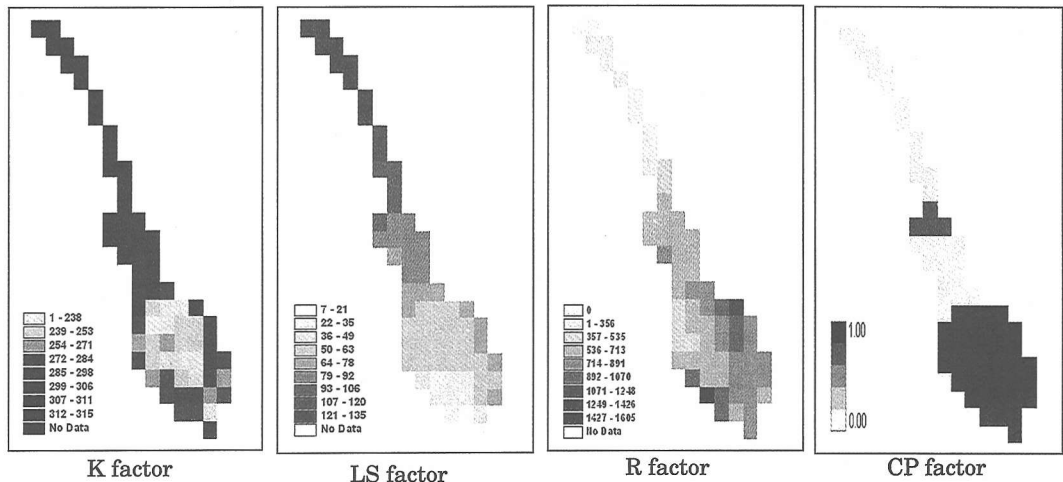


図-6 各係数の算定結果

表-1 各流域の算定結果

Factor	Mekong River	Red River	Yangtze River	Irrawaddy River
Basin Area [km ²]	790,000	120,000	1,940,000	430,000
Average Soil Loss Rate [T/km ² /yr]	1135.77	1346.00	842.38	788.87
Gross Soil Loss (total) [T/yr]	897,256,812	161,520,000	1,600,526,860	339,212,667
Measured Total Sediment Discharge [T/yr]	160,000,000	130,000,000	502,000,000	265,000,000
Sediment Delivery Ratio (SDR)	0.178	0.80	0.314	0.781

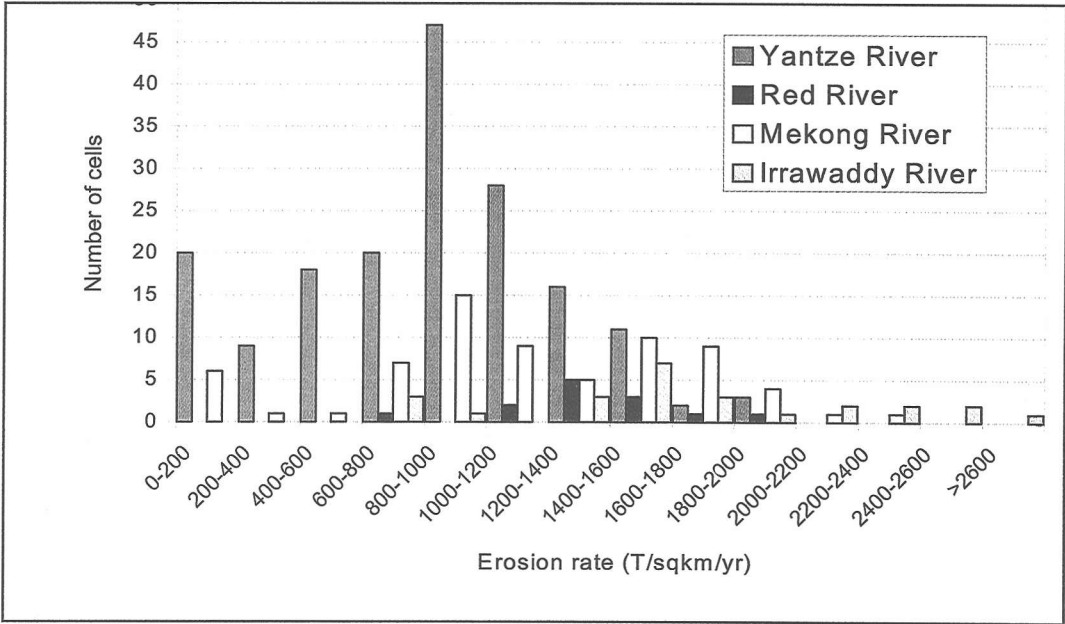
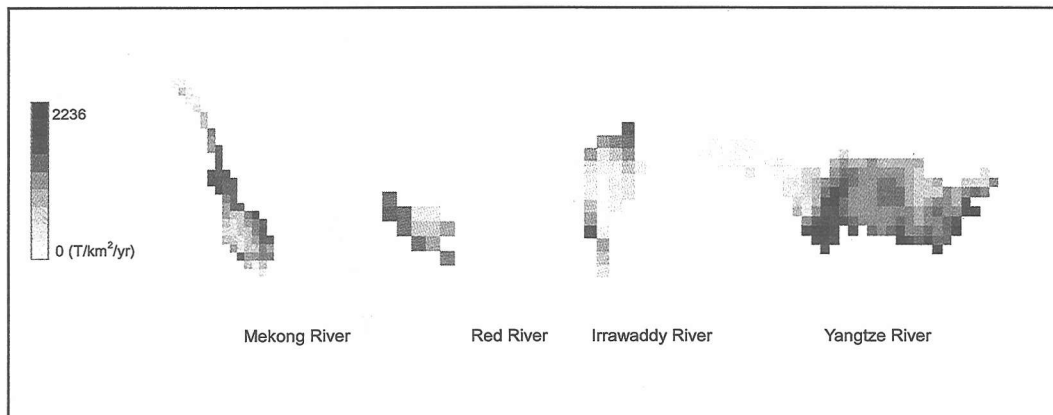
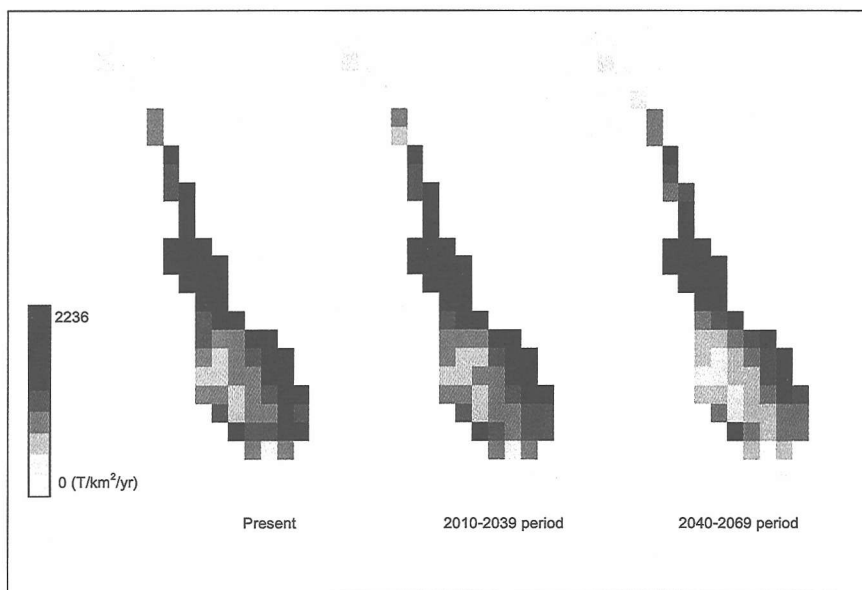


図-7 浸食率の流域別の頻度分布



図一8 各流域の侵食率の分布（縮尺は変えてある）



図一9 メコン川流域の将来予測

流域全体の評価には以下の諸量を評価した。

$$Y + A = B + C + D + E \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで Y ：河道近傍の山腹崩壊に起因する土砂量， A ：流域生産土砂量， B ：河口への流出土砂量， C ：河床変動量， D ：ダム堆砂量， E ：土砂採取量である。ここで， B, C, D, E が既知であり， A を算定し， Y は未知量で，この式を用いて他の量から評価する。図一2に安部川の流域生産土砂量 (A) の経年変化，図一3に大井川の流域生産土砂量 (A) の経年変化を示す。

図一4に安倍川を例として日本の河川での検定結果を示す。安部川の場合，河口に供給される土砂量は，流域から浸食される土砂量と，河道近傍の山腹崩壊によって

生産される土砂量からなっており両者はほぼ匹敵している。また，図にはその年の最大洪水時の総降雨量の年次変化も示してあるが，流域生産土砂量がこの量と強く関係していることが解る。

4. モデルの適用例

(1) アジアの大河川の現在の状況

まず，メコン川流域における算定結果を示す。降雨量，土地利用，土壌，平均勾配などを主要なパラメーターとして浸食土砂量を推算した。それぞれのパラメーターの流域内の分布を，図一5に示す。図はそれぞれ標高，土地利用状況，表面崩壊状況 (Global Assessment of Soil

表-2 各河川流域の将来予測

River Basin	Area (10 ³ km ²)	Total annual sediment discharge (10 ⁶ ton/year)			Change (%)	
		Present	2010-2039	2040-2069	2010-2039	2040-2069
Mekong	790	160	147	132	-8.0	-17.5
Red	120	130	123	108	-5.1	-16.9
Yangtze	1940	502	530	549	+5.5	+9.4
Irrawaddy	430	265	264	253	-0.26	-4.7

Degradation, UNEP), 表面土壌のそれぞれの分布を表す。また、図-6 はこれらのデータと降雨データなどを用いて算定した式(1)の各係数の場所的な分布の例である。左からそれぞれ土壌侵食条件係数 K , 斜面長・傾斜係数 LS , 降雨・流出係数 R , 土壌表面・対策工係数 CP である。このうち、特に R 係数は温暖化に代表される地球環境の変動によって、 CP 係数は途上国の経済発展、産業化、農業開発の進展によって大きく変動していく可能性がある量といえる。

次に表-1 はメコン川、紅河、長江、イラワジ川に関する算定結果のまとめの表である。平均的な土砂生産量では、流域が小さく勾配の急な紅河がもっとも大きい、総量としては流域の広い長江がもっとも大きくなっている。また、すべての侵食土砂が河口に供給されるわけではなく、土砂生産量と河口で別途推定した供給土砂量 (Milliman and Meade, 1983) とを比較して流域ごとの係数 (土砂配送率, SDR) を推定した。メコンでは下流のデルタ地区に多くの土砂が堆積するためにこの値は 0.178 と小さく、もっとも大きな紅河で 0.80 となっている。

図-7 に侵食率の流域別の出現分布、図-8 に場所的な分布を示してある。それぞれの場所的な条件により、侵食率は大きく変動している。

(2) 環境変動による将来の変化

さらに地球環境の変動、特に雨量特性の変化によって、今後土砂供給が変化することが予想されるため、HadCM2 (Johns ら, 1997) による標準的な気候変動シナリオを設定して、土砂供給の動向を予測した。図-9 にはメコン川流域の現在とおよそ 25 年後、およそ 50 年後の将来の土砂生産量の場所的な分布の算定例を示す。場所によって上昇する所と低下する所があるが、全体としては雨量の影響が大きく、雨量が増えるところで土砂生産も増えるし、雨量が減少すると土砂生産も減少するようである。表-2 は紅河、イラワジ川など、東南アジア大河川への適用結果の例である。適用に際して、それぞれの土砂配送率 (SDR) は変化しないと仮定している。

流域別に見ると、メコン川、紅河、イラワジ川河口か

らの土砂供給が減少する可能性があり、航路維持の面からは好ましいものの、今後これらの河口の周辺海岸で、侵食傾向が顕在化する可能性がある。

5. 主要な結論

表土の流失による土砂量変化の推算について、図-1 に示すような評価手法を適用した。浸食土砂量の推定には、降雨量変化、表土流出、洪水、河口への土砂の流出とつながる因果連鎖を設定することができ、将来の河口から海岸への供給土砂量の推定を行った。また、アジア主要河川における河口からの土砂供給と流域生産土砂量の比は、18% から 80% と、ほぼ妥当な値を得ることができた。

本研究の遂行に当たり、国土交通省中部地方整備局並びに同静岡河川工事事務所から安倍川、大井川に関する貴重なデータの提供を受けた。記して謝意を表する。

参考文献

- Enrico Paringit・灘岡和夫 (2001): 衛星画像解析による植生指標と分布型物理モデルに基づいた表層土壌流出モデリング, 海岸工学論文集, 第 48 巻, pp. 666-670.
- 河田恵昭・井上雅夫・鹿室 宏 (1994): 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 巻, pp. 516-520.
- 国土交通省中部地方整備局静岡河川工事事務所 (2001): 平成 12 年度安倍川縦横断測量, 縦横断図縮刷版.
- 国土交通省中部地方整備局静岡河川工事事務所 (2001): 平成 12 年度安倍川・藁科川縦横断測量, 成果表.
- 鳥居謙一 (2001): 流砂系一貫の土砂管理による海岸保全, 第 37 回, 水工学に関する夏季研修会講義集, pp. B-4-13-B-4-15.
- Johns T. C., Carnell R. E., Crossley J. F., Gregory J. M., Mitchell J. F. B., Senior C. A., Tett S. F. B. and Wood R. A. (1997): The second hadley centre coupled ocean-atmosphere GCM: Model description, spinup and validation, Climate Dynamics 13, pp. 103-134.
- Milliman, J. D. and R. H. Meade (1983): World wide delivery of river sediment to ocean, Journal of Geology, Vol. 91, No. 1, 1-21.
- Renarl, K. G., G. R. Foster, G. A. Weesies, D. K. McCool and D. C. Yoder (1997): Predicting soil erosion by water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE).