

3. 地理情報システムを用いた環境予測手法の開発とモデルの統合化

DEVELOPMENT OF ENVIRONMENT ASSESSMENT METHOD USING THE GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM AND INTEGRATION OF THE ENVIRONMENTAL MODELS

桶谷恵慈*・倉田学児*・原雄一**・北田敏廣*

Keiji Oketani, Gakuji Kurata, Hara Yuuichi, Toshihiro Kitada

Abstract; In a developing country, it is important to estimate a impact of the construction of infrastructure to the environment. The shortage of the geographical data which is applicable to the environmental model is bottleneck of these process. In this report, using global mapping data which is distributed on every 1km mesh by Geographical Survey Institute of Japan, the applicability of these data to atmosphere, hydrology and soil erosion model was examined. In addition, integration of these models to improve the accuracy of model output was discussed.

KEYWORDS; GIS, Global mapping data, Environment model, Model integration

1. はじめに

開発途上国におけるダム建設を始めとしたインフラ整備に伴ってダム湖等による水面域の増加、新たな農地の造成、道路及び工場建設など、直接的・間接的に様々な土地利用の変化が生じるものと予想されるが、それらの変化が環境へ与える影響を予測する手法の開発が求められている。建設省国土地理院によって整備が進められている 1km メッシュの精度を持った“地球地図データ”は、これらの開発途上国等におけるインフラ整備の影響予測には、特に有効に利用できると考えられる。

本研究では、地球地図データ及びその他の各種の属性データと大気・土壌・水文環境モデルを地理情報システムの下で統合化し、これらの土地利用の変化がもたらす大気環境・土壌環境・水文環境への影響の予測を試み、“地球地図データ”の利用可能性及び有用性、課題点などについて検討を行った。また、同時にこれらの環境モデル間には相互に強いループ構造の存在が予想され、個別に計算を進めるよりも、これらのモデルを相互に結合する事で予測精度の向上が期待できると思われる。そこで、これらの各環境モデル間の統合化の方法についても検討を行った。

2. 国際地理情報システムにより収集されているデータ及び使用データ

表 1 は国際地理情報システムにより収集されているデータである。これらのデータは 1km メッシュの精度を持ち、地球全体をデジタルマッピングでカバーすることによって地球地図として整備される。その第一段階として、インドシナ半島を中心としたデータの整備が進められている。

本研究では今後も ODA からの援助によってダム開発等のインフラ整備が計画されているメコン河流域⁽¹⁾を対象領域とする。

3. 環境評価モデルと使用データ

インフラ整備に伴う環境への影響評価には、社会的・経済的な影響を含めた様々なモデルの適用が必要となるが、ここでは主としてインフラ整備に伴う土地利用の変化が引き起こす自然環境への影響を評価することを目的として次のモデルを用いた。

*豊橋技術科学大学エコロジー工学系 Dep. of Ecological Engineering, Toyohashi University of Technology **パシフィックコンサルタンツ (株) PACIFIC CONSULTANTS CO.LTD.

<表1：地球地図データ 使用。>

	主題情報	地図・資料
基本情報	標高	DTED ARC 30"DEM
	河川	DCW (Digital Chart of the World)
	流域界	流域界区分図
	植生	画像処理によって国内で作成
	土地被覆	画像処理によって国内で作成
付加情報	行政界	州境界区分図
	地質	100万分の1全国地質図 (ベトナム、カンボジア、ラオス) 50万分の1全国地質図(タイ)
	土壌	FAO土壌ユニット区分図
	気象	月平均気温、月最大降水量
	交通網	DCW (Digital Chart of the World)
	人口	州単位人口及び人口密度

<表2：各環境評価モデルの必要データと出力>

は地球地図データに有り

モデル	必要データ	出力
MM5	土地利用分類	空間3次元の風場
	DEM(Digital Elevation Model)	温度場
	典型的な気象場 (風速、風向、温度場、水蒸気)	水蒸気場
	客観解析データ	降水量
		地表面の蒸発散量
RUSLE	土地利用分類	年間土壌流出量
	DEM(Digital Elevation Model)	
	土壌分類	
	地質	
IISDHM	日降雨量、降雨強度	河川流量 地下水位の分布 蒸発量の分布
	DEM(Digital Elevation Model)	
	河川網図	
	土地利用分類	
	降水分布	
	蒸発散量	
	土壌分類	
	地下水位	
	帯水層の位置	
	etc	

降水分布を含む局地気象を予測するモデルとしては、PSU/NCAR の MM5⁽²⁾(Mesoscale Model)を用い、土壌環境の変化予測モデルには UNEP/GRID Research の RUSLE⁽³⁾(Revised Universal Soil Loss Equation)を用いた。また水文環境の変化予測モデルには東大生産技術研究所の IISDHM⁽⁴⁾(IIS Distributed Hydrologic Model)を用いる。表 2 はこれらのモデルが入力として必要とするデータと出力されるデータである。

3.1 大気環境モデル：MM5(Mesoscal Model ver.5)

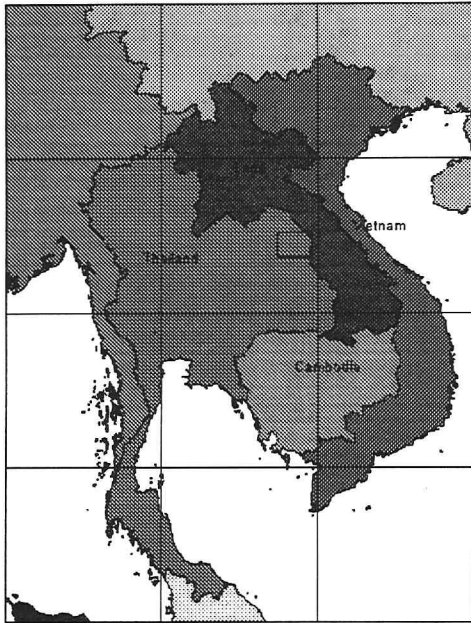
PSU/NCAR で開発された降水分布を含む局地気象モデルであり、局地気象モデルによって、大規模な土地利用改変が微気象に与える影響を予想するとともに、次の土壌流出モデルや水文環境モデルで必要となる降雨の空間分布や降雨強度に関する情報を提供することを目的とする。風速、温度、気圧、水蒸気量を変数とした大気物理過程の方程式系を数値的に解くことによってメソスケールの気象場を再現するものである。大気物理過程として、雲物理モデル、大気境界層モデル、放射モデルなどが含まれており、地形・土地被覆などの情報が予測の精度を左右する。

3.2 土壌環境モデル：RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation)

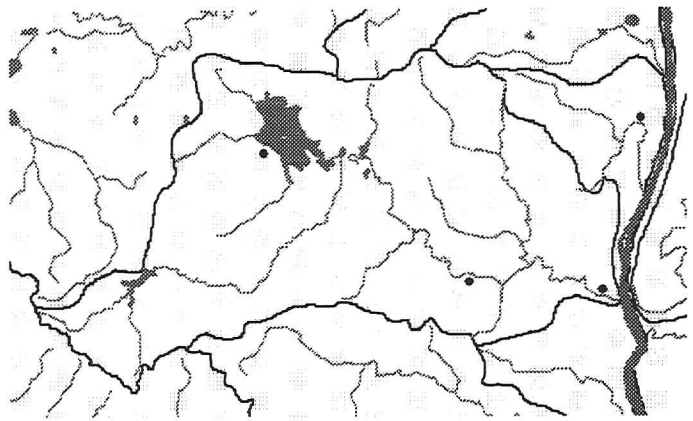
UNEP/GRID Research で 1 万点を超す調査資料の統計処理から得られた年間土壌流出量を予測する経験式であり、水食による土壌の侵食量を予測する式である。水食の原因となる降雨の性質 (R)、土壌の受食性 (K)、斜面の傾斜角と長さ (LS)、作物の種類あるいは土地被覆 (C)、保全対策の有無あるいは方法 (P) という 5 つの要因の積で表される。本モデルの計算については次節で詳しく述べる。

3.2 水文環境モデル：IISDHM(IIS Distributed Hydrologic Model)

東大生産技術研究所で開発された分布型水文モデルである。降雨の植物による遮断・貯留過程、表面流出過程、浸透水の植物への吸収や中間流出過程、さらには地下水の浸透・流出の過程、河川への流出過程などの一連の降雨の挙動を説明するモデルによって河川流量を推定する。



<図1 メコン河流域全領域>



<図2 対象領域（実線部：流域界、・：降雨量観測点）>

4. モデルの実行

各モデルを実行するためには、地球地図からのデータのみでは実行不可能であり、表2に示すような各データが入力として必要となる。そこで現在はこれらの属性データを収集する一方、最低限の情報で実行可能なように変形させた RUSLE によって年間土壌流出量の予測を行っている。本報告では、RUSLE の計算について以下に述べる。

4.1 RUSLE の計算法及び計算結果

4.2 計算領域及び計算年

対象領域は図2に示したタイのコラート高原の一画、Nam Kam 河流域全体をカバーする東経約 103 度～104 度、北緯約 16 度～17 度である。計算は土地利用、地質、傾斜及び日降水量データに基づいて行った。

4.3 計算法

RUSLE は次式によって定義される。

$$A = R \cdot K \cdot C \cdot P \cdot LS$$

A[ton/km² yr] : 年間土壌流出量

R[KJ/km² yr h] : 降雨ファクター

K[(ton/yr)/(km² hr/KJ)] : 土壌受食性ファクター

C[-] : 土地利用ファクター

P[-] : 侵食防止ファクター

LS[-] : 傾斜と斜面長のファクター

4.4 各ファクターの決定方法

各ファクターは地球地図のデータ及び日降水量データに基づいて以下のように算出した。

(A) R ファクター

R ファクターは、土壌浸食を生じさせる第一の原因である降雨が土壌浸食に及ぼす影響を表現するものであり、降雨エネルギーと降雨強度の積の年間積分値で表される。

R ファクターは次式により決定される。

$$R = \sum EI$$

$E[\text{KJ}/\text{km}^2 \text{ mm}]$: 降雨エネルギー

$$E = 74.996 \times (11.89 \times 8.73 \log I) Ni \times 10^{-3}$$

$I[\text{mm}/\text{hr}]$: 降雨強度

$$I_T = \frac{Ni}{24} \left(\frac{24}{T} \right)^{\frac{2}{3}}$$

$Ni[\text{mm}/\text{hr}]$: 日降雨量

日降雨量のデータを入手し、上式⁽³⁾⁽⁵⁾にしたがって R を算出する。本研究では図 2 に示した流域の 4 個所の観測データをもとに流域平均降水量を推定して用いた。観測点の日降水量データのみでは降水の空間的・時間的分布を推定するには限界があるが、局地気象モデルによってこれを推定することが今後の課題である。

(B) K ファクター

K ファクターは土壌の受食性を表現するものであるが、地質によりある程度決定されることが示されており⁽⁶⁾、今回は地球地図の地質のデータから表 3 のように値を定めた。

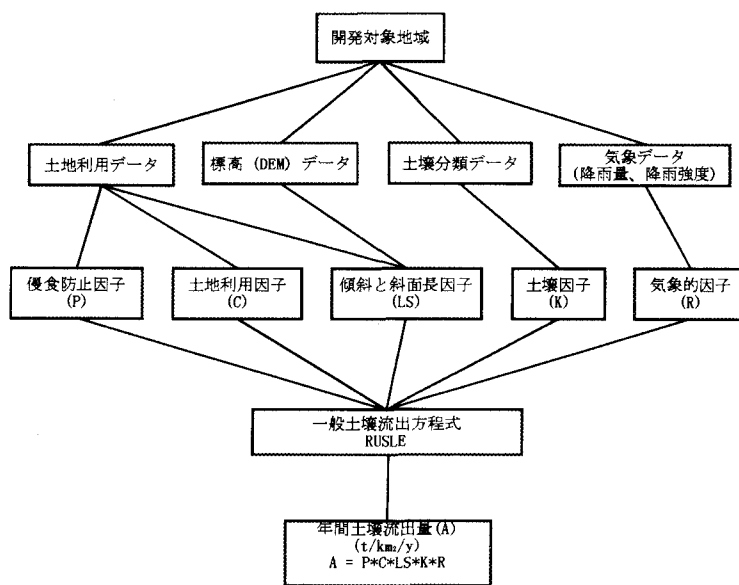
(C) C、P ファクター

C、P ファクターはそれぞれの土地利用形態に依存して決定される土地被覆状態と侵食防止効果の係数であるが、これらは土地利用分類によって決定されることが示されており⁽⁶⁾、今回は地球地図の土地被覆のデータから表 4 のように値を定めた。

(D) LS ファクター

LS ファクターは土地の傾斜及び斜面長によって決定される係数であるが、土地利用分類ごとの傾斜と斜面長によって値を決定する表が用意されているので⁽⁷⁾、ここから値を抽出した。

これらのファクターを GIS 上でマッピングしオーバーレイさせることによって年間土壌流出量を算出した。図 3 は対象領域の地球地図データと日降雨量データを RUSLE の入力として計算する方法を示したものである。



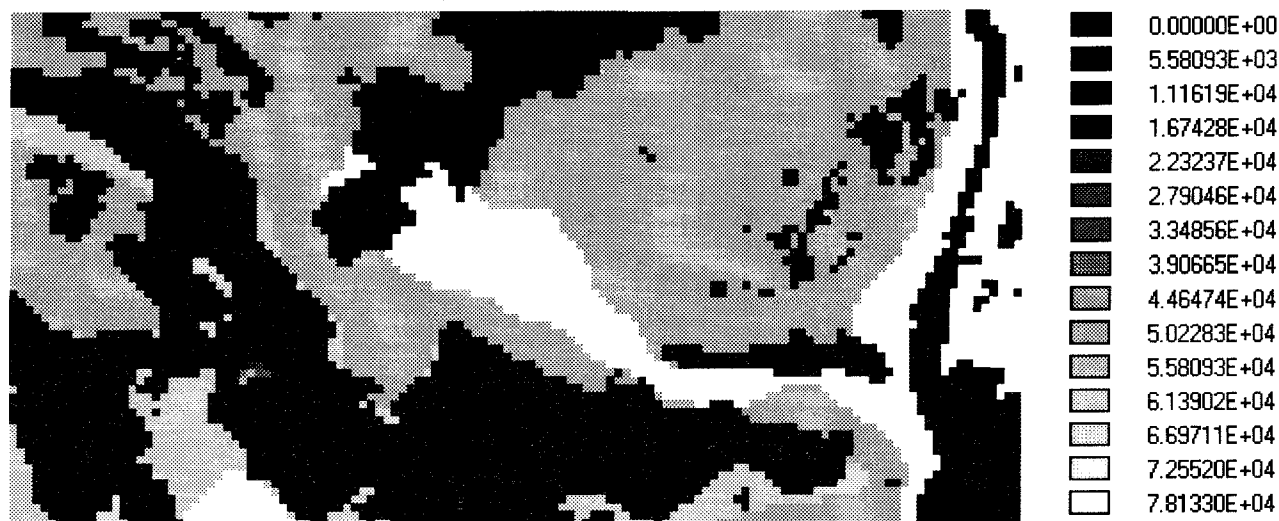
<図 3 地球地図データを用いた RUSLE の計算法>

<表 4 土地利用と C,P 値>

Class-name	識別名	C値	P値
Drainage/Water	下水・水	1.000	1.000
Built up Area	市街地	1.000	1.000
Barren Area	荒廃地	0.280	1.000
Forest	森林	0.001	1.000
Agricultural Area	農業地	0.650	0.500
Paddy Field	稲作地	0.100	0.300
Grassland/Shrub	牧草地・低木	0.150	0.500
Wetland	湿地	0.560	1.000
Mixture	混合	0.50	1.000

<表 3 地質と K 値>

地質学的年代	K 値
第四紀 完新紀	0.1674
第四紀 更新紀	0.1674
中生代 白亜紀	0.1105
中生代 ジュラ紀	0.1339



＜図 4 1982 年における年間土壌流出量 [ton/km² yr]＞

4.5 計算結果

R 以外のファクターは年変化がないものとし、1982 年と 1983 年の年間土壌流出量を計算した。図 4 に RUSLE によって計算された 1982 年の年間土壌流出量を示す。領域内の平均土壌流出量は 1982 年が 33.485 [kg/m² yr]、1983 年は 12.785[kg/m² yr]という値が得られた。1983 年の降水量は 1982 年の約 2/3 であるが、年間土壌流出量は約 2/5 であった。これは日降水量の違いによるもので、そこから計算される降雨強度と降雨エネルギーが土壌流出に与える影響の大きさを示すものである。

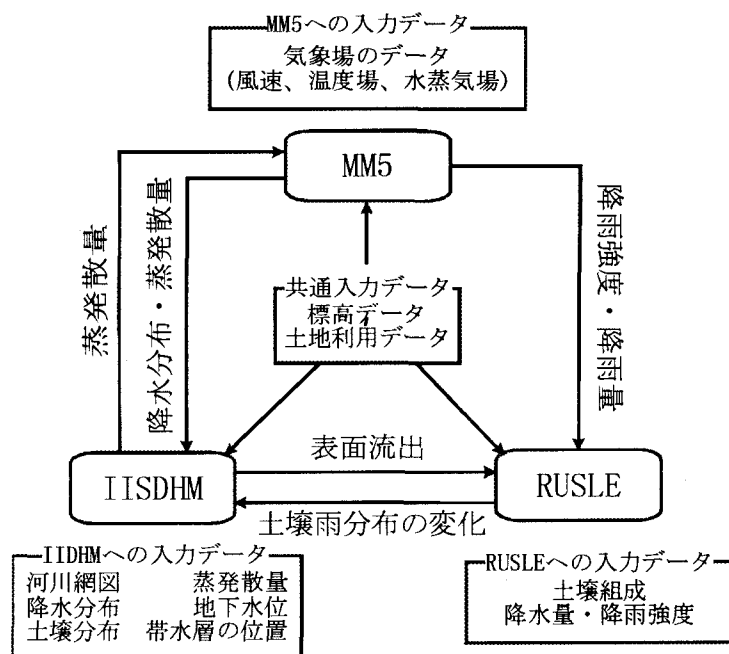
また土壌流出量が多く算定された部分は第四紀の地質で湿地、農業地、混合の土地利用がされている部分であり、傾斜地では土地被覆が森林である部分が多いため低い値となった。

4.6 考察

今回は地球地図データが 90 年代のデータに基づいて作成されていたことから、90 年代の土地利用によって C,P 値を決定したが、70 年代、80 年代のデータに基づいて同様に計算をすることで対象地域の開発に伴う土壌流出の危険性の変化の比較を行うことも可能であろう。また、ダム開発などのインフラ整備によりダム湖の出現、灌漑設備による農地拡大、森林伐採などによる土地利用予測に基づいて土壌流出量の予測を行うことで、インフラ整備計画の策定にも有効に利用できるものと予想される。

5. モデルの統合化

今回は RUSLE を単独のモデルとして地球地図データ及び観測日降雨量から土壌流出の予測を行ったが、特に降水量及び降雨強度の分布が予測精度の向上に重要な因子であることが明らかとなった。同様に大気環境モデル及び水文環境モデルの実行に際しても、これらの環境モデ



＜図 5 環境モデルのインテグレイト例＞

ル間には相互に強いループ構造の存在が予想され、それらループ構造をよりよく評価できるように各環境モデル間の統合化の方法についても検討を行う必要がある。

統合化は 3 つのモデルを密に統合し同時進行的に計算させる方法と、それぞれのモデルを単独で実行させた上で、それらのアウトプットを再びそれぞれのモデルの入力としてフィードバックさせる方法を検討中である。

図 5 は各環境モデル間の入出力関係を示したものである。

5.1 統合化の課題点

各環境モデルを統合化するに当たり、以下のような問題点が上げられる。

- A) 各モデルの入出力データの時間スケールや空間スケールが異なるため、それらの整合を取る必要がある。
- B) RUSLE では水文学的な表面流出量を陽には考慮していないが、IISDHM からの出力によって表面流出量を入力することが可能となり、予測精度を向上できる可能性があるが、これに対応したモデルの変更が必要となる。
- C) 土壌流出によって表土が流出すると、それに伴って植生や農業形態への影響が考えられる。これらが更に水文モデル等への入力データに反映されるためには土壌分布の変化予測モデルが必要となる。
- D) この他にもモデル間で質の異なるデータを、各モデルが出力するデータから算出あるいは設定するパラメータが必要である。

6. 結語

本研究ではインフラ整備によって生じる環境への影響を、地球地図データを用いた環境モデルによって予測する手法についての検討を行った。

環境モデルを適用した環境変化の予測のためには現在の地球地図データだけでは不十分であり、各モデルの入力として付加的なデータが必要であるが、従来は地理情報の質や量が絶対的に不足していた開発途上国等の地域においては、地球地図データは一定レベルの質を全地域に対して適用し得る点で実用的な価値は極めて大きいといえる。今回適用した各環境モデルはいずれも基盤データの比較的充実した先進国を対象に開発されたものであり、開発途上国の環境予測手法を開発する上では、より簡便なモデルに変形する必要があることが示唆された。

参考文献

- (1)松本悟(1997)、メコン河開発 21 世紀の開発援助、築地書館
- (2)Georg A Grell, Jimmy Dudhia, David R. Stauffuer(1995), A description of the Fifth-generation Penn State/NCAR Mesoscale Model(MM5), NCAR TECHNICAL NOTE
- (3)Agriculture Dept. (1997), Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning With the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), Agricultural Research Service
- (4)Raghuanth Jha, Srikantha Herath, et.al, Development of IIS Distributed Hydrological Model(IISDHM) and its Application in Chao Phraya River Basin, Thailand
- (5)岩井重久、石黒正義(1970)、応用水文統計学、森北出版
- (6)SCHWERTMANN, U. et al. (1987): Bodenerosion durch Wasser: Vorhersage des Abtrags und Bewertung von Gegenmaßnahmen, Stuttgart
- (7)Soil and Water Conservation Society(1995), RUSLE USER GUIDE, Soil and Water Conservation Society