

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5422833号  
(P5422833)

(45) 発行日 平成26年2月19日(2014.2.19)

(24) 登録日 平成25年12月6日(2013.12.6)

(51) Int.Cl. F1  
G06F 19/00 (2011.01) G06F 19/00 110

請求項の数 3 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2009-239446 (P2009-239446)	(73) 特許権者	505374783
(22) 出願日	平成21年10月16日(2009.10.16)		独立行政法人日本原子力研究開発機構
(65) 公開番号	特開2011-86170 (P2011-86170A)		茨城県那珂郡東海村村松4番地49
(43) 公開日	平成23年4月28日(2011.4.28)	(73) 特許権者	599091542
審査請求日	平成24年4月27日(2012.4.27)		JX日鉱日石探開株式会社
			東京都千代田区神田錦町一丁目9番地
		(74) 代理人	100139114
			弁理士 田中 貞嗣
		(74) 代理人	100092495
			弁理士 蛭川 昌信
		(74) 代理人	100139103
			弁理士 小山 卓志
		(74) 代理人	100095980
			弁理士 菅井 英雄

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 地形変化シミュレーション方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

シミュレーション対象領域を基本単位となるメッシュに分割して、前記シミュレーション対象領域をそれぞれのメッシュに割り当てて、シミュレーション対象領域における地形変化のシミュレーションを行う地形変化シミュレーション方法であって、

メッシュ(x, y) 毎に対して流下距離に係る流下距離マップ S(x, y) を定義する流下距離マップ定義ステップと、

前記流下距離マップ S(x, y) と閾値  $S_{slp}$ 、 $S_{river}$ 、 $S_{slp}$ 、 $S_{sea}$  とに基づいて、メッシュ(x, y) が模擬する地形種別が、斜面域であるか、河川域であるか、斜面域と河川域との間の遷移域であるか、海域であるかを判定する判定ステップと、

メッシュ(x, y) で生産された土砂がどの範囲にまで運搬され堆積するかに係る数値である堆積範囲 W を算出する堆積範囲算出ステップと、を有し、

前記判定ステップで、メッシュ(x, y) が河川域であると判定された場合には、 $W = W_{river} \times (S(x, y) / S_{river})$  による計算式で堆積範囲 W を計算する(ただし、 $W_{river}$  は河川先頭での堆積範囲(初期堆積範囲)を示す定数であり、 $S_{river}$  は粒径係数である)ことを特徴とする地形変化シミュレーション方法。

【請求項2】

前記判定ステップで、メッシュ(x, y) が斜面域であると判定された場合には、 $W = W_{slp}$  による計算式で堆積範囲 W を計算し(ただし、 $W_{slp}$  は定数)、

前記判定ステップで、メッシュ(x, y) が遷移域であると判定された場合には、 $W = \{$

10

20

$(1 - f) \times W_{slp} + f \times W_{river}$  } による計算式で堆積範囲  $W$  を計算する (ただし、 $f = (S - S_{slp}) / (S_{river} - S_{slp})$ ) ことを特徴とする請求項 1 に記載の地形変化シミュレーション方法。

【請求項 3】

メッシュ  $(x, y)$  における侵食量マップ  $V(x, y)$  を算出する侵食量マップ算出ステップと、

前記侵食量マップ  $V(x, y)$  を堆積範囲  $W$  で除することにより、落水方向における 1 メッシュあたりの堆積量  $Depo$  を算出する 1 メッシュあたり堆積量算出ステップと、をさらに有することを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の地形変化シミュレーション方法。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、斜面と河川を含むシミュレーション対象領域における将来の地形変化のシミュレーションを行う地形変化シミュレーション方法に関する。

【背景技術】

【0002】

地下水などの地質環境の長期的な安定性を評価するためには、地形勾配や土被りが将来的にどの程度まで変化するかを予測することが重要な課題となる。このような課題を解決するためのアプローチとしては、地形変化のプロセスを明らかにし、一連のプロセスの中で現在がどういう段階にあるかを把握し、さらに将来的に地形がどのように変化していくかを推定することが必要となる。将来の地形変化のうち、河川における侵食、すなわち河床低下は比較的変動が大きいため地下水流動に強く影響するものと考えられており、この変化を推定することは地質環境の安定性評価の重要な 1 項目となる。

20

【0003】

このような観点から、ある程度の広がりを持った地形の大局的な変化を推定する目的のもと、河川と山地斜面を統合した地形変化のシミュレーションが行われてきた。地形変化シミュレーションは、対象領域を基本単位となるメッシュに分割して、これに地形変化のプロセスを模擬する数値計算を行ってメッシュの標高を変化させるものである。具体的には、各メッシュに対し、落水方向の決定、斜面域・河川域などの地形種の決定、侵食量算出、堆積量算出の各ステップからなるシミュレーションを行い、地形変化を模擬する。非特許文献 1、2 及び 3 には、河川と山地斜面を統合した地形変化シミュレーションに関連する技術が開示されており、当該非特許文献 1 及び 2 では、メッシュの標高値をもとに落水方向、流域面積及び落水勾配を定義する技術 (流下距離定義ステップ) 及び、地形種別に応じてメッシュ毎の侵食量を算出する技術 (侵食土砂量算出ステップ) が記載されている。また、当該非特許文献 3 では、流域面積に応じてメッシュが模擬する地形種別を判定する技術 (判定ステップ) を含め、地質分布を考慮した河床縦断面形 (河川の流下距離に対する河川勾配の変化曲線) の地形変化シミュレーション技術が開示されている。非特許文献 1、2 及び 3 においては、いずれも侵食による生産土砂量は落水方向において 1 つ下流側のメッシュに移動し堆積させる (堆積ステップ) ことが記載されている。また、当該非特許文献 3 では、侵食形態の違いは地質分布で説明可能であり、シミュレーションを用いることで、約百万年前の推定地形面をもとに現在の河川の地形特徴が復元できることが記載されている。

30

40

【非特許文献 1】野上道男「細密 DEM の紹介と流域地形計測」(1995), 地理学評論, 68(A) - 7, p. 465 - 474

【非特許文献 2】野上道男「地理学におけるシミュレーション」(2005), 地理学評論, 78 - 3, p. 133 - 146

【非特許文献 3】三箇智二、安江健一「河床縦断面形のシミュレーション」(2008), 地形, 29(1), p. 27 - 49

【発明の概要】

50

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0004】

非特許文献1、2及び3に記載の技術においては、河川域の地形変化をシミュレーションする際には、一般的に河床縦断面形が指数式で近似し得ることを前提とし、このような指数式近似を成立させるように、土砂移動量の演算式などをたてるようにしていた。

## 【0005】

しかしながら、上記のようなシミュレーション方法には、「侵食によって土砂が生産され、生産された土砂が運搬され堆積する」ことを模擬することによって、結果として、河床縦断面形の形状を得る、という実現象のプロセスをトレースするシミュレーション方法ではなく、河床縦断面形の形状が指数式により近似されるという結果を係数により与えるシミュレーション方法である、という問題があった。また、上記の従来のシミュレーション方法では、河川地形におけるわずかな勾配変化によって大量の土砂移動が出現することなど、シミュレーション結果において実現象とは合致しない結果が得られることがあり、問題となっていた。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0006】

上記のような問題点を解決するために、請求項1に係る発明は、シミュレーション対象領域を基本単位となるメッシュに分割して、前記シミュレーション対象領域をそれぞれのメッシュに割り当てて、シミュレーション対象領域における地形変化のシミュレーションを行う地形変化シミュレーション方法であって、メッシュ(x, y)毎に対して流下距離に係る流下距離マップS(x, y)を定義する流下距離マップ定義ステップと、前記流下距離マップS(x, y)と閾値 $S_{slp}$ 、 $S_{river}$ 、 $S_{slp}$ 、 $S_{sea}$ とに基づいて、メッシュ(x, y)が模擬する地形種別が、斜面域であるか、河川域であるか、斜面域と河川域との間の遷移域であるか、海域であるかを判定する判定ステップと、メッシュ(x, y)で生産された土砂がどの範囲にまで運搬され堆積するかに係る数値である堆積範囲Wを算出する堆積範囲算出ステップと、を有し、前記判定ステップで、メッシュ(x, y)が河川域であると判定された場合には、 $W = W_{river} \times (S(x, y) / S_{river})$  による計算式で堆積範囲Wを計算する(ただし、 $W_{river}$ は河川先頭での堆積範囲(初期堆積範囲)を示す定数であり、 $f$ は粒径係数である)ことを特徴とする。

また、請求項2に係る発明は、請求項1に記載の地形変化シミュレーション方法において、前記判定ステップで、メッシュ(x, y)が斜面域であると判定された場合には、 $W = W_{slp}$ による計算式で堆積範囲Wを計算し(ただし、 $W_{slp}$ は定数)、前記判定ステップで、メッシュ(x, y)が遷移域であると判定された場合には、 $W = \{ (1 - f) \times W_{slp} + f \times W_{river} \}$ による計算式で堆積範囲Wを計算する(ただし、 $f = (S - S_{slp}) / (S_{river} - S_{slp})$ )ことを特徴とする。

また、請求項3に係る発明は、請求項1又は請求項2に記載の地形変化シミュレーション方法において、メッシュ(x, y)における侵食量マップV(x, y)を算出する侵食量マップ算出ステップと、前記侵食量マップV(x, y)を堆積範囲Wで除することにより、落水方向における1メッシュあたりの堆積量Depoを算出する1メッシュあたり堆積量算出ステップと、をさらに有することを特徴とする。

## 【発明の効果】

## 【0008】

従来の地形変化シミュレーション方法は、本来シミュレーションの結果として表れるべき河床縦断面形の形状を指数式により近似し指定するというものであったが、本発明の地形変化シミュレーション方法によれば、侵食によって土砂が生産され、生産された土砂が運搬され堆積することを模擬する、という地形変化プロセスにおける実現象と合致したシミュレーションを実施し、その結果として河床縦断面形の形状を得ることが可能となる。また、本発明の地形変化シミュレーション方法によれば、前記の従来のシミュレーション方法において課題となっていた、わずかな勾配による大量の土砂移動などの実現象とは合致しないシミュレーション結果が発生することがない。

10

20

30

40

50

## 【図面の簡単な説明】

## 【0009】

【図1】本発明の実施形態に係る地形変化シミュレーション方法を実行させるシステム構成の一例を示す図である。

【図2】本発明の実施形態に係る地形変化シミュレーション方法で用いられるデータベース構成を説明する図である。

【図3】本発明の実施形態に係る地形変化シミュレーション方法における侵食量算出処理のフローチャートを示す図である。

【図4】本発明の実施形態に係る地形変化シミュレーション方法における堆積算出処理のフローチャートを示す図である。

【図5】本発明の実施形態に係る地形変化シミュレーション方法における堆積範囲Wの概念を説明する模式図である。

【図6】本発明の実施形態に係る地形変化シミュレーション方法における粒径係数による堆積範囲Wの変化を説明する模式図である。

【図7】本発明の実施形態に係る地形変化シミュレーション方法における繰り返し演算を説明する模式図である。

【図8】本発明の実施形態に係る地形変化シミュレーション方法により、非特許文献3の方法によるシミュレーション結果と同様に実際の河床縦断形を再現可能であることを示す図である。

【図9】本発明の実施形態に係る地形変化シミュレーション方法により、氷期における直線的な河床縦断形の形成（実現象）を再現可能であることを示す図である。

## 【発明を実施するための形態】

## 【0010】

以下、本発明の実施の形態を図面を参照しつつ説明する。図1は本発明の実施形態に係る地形変化シミュレーション方法を実行させるシステム構成の一例を示す図である。

## 【0011】

図1において、10はシステムバス、11はCPU(Central Processing Unit)、12はRAM(Random Access Memory)、13はROM(Read Only Memory)、14は外部情報機器との通信を司る通信制御部、15はキーボードコントローラなどの入力制御部、16はディスプレイコントローラなどの出力制御部、17は外部記憶装置制御部、18はキーボード、ポインティングデバイス、マウスなどの入力機器からなる入力部、19はLCDディスプレイなどの表示装置や印刷装置からなる出力部、20はHDD(Hard Disk Drive)等の外部記憶装置である。

## 【0012】

図1において、CPU11は、ROM13内のプログラム用ROM、或いは、大容量の外部記憶装置20に記憶されたプログラム等に応じて、外部機器と通信することでデータを検索・取得したり、また、図形、イメージ、文字、表等が混在した出力データの処理を実行したり、更に、外部記憶装置20に格納されているデータベースの管理を実行したり、などといった演算処理を行うものである。

## 【0013】

また、CPU11は、システムバス10に接続される各デバイスを統括的に制御する。ROM13内のプログラム用ROMあるいは外部記憶装置20には、CPU11の制御用の基本プログラムであるオペレーティングシステムプログラム(以下OS)等が記憶されている。また、ROM13あるいは外部記憶装置20には出力データ処理等を行う際に使用される各種データが記憶されている。RAM12は、CPU11の主メモリ、ワークエリア等として機能する。

## 【0014】

入力制御部15は、キーボードや不図示のポインティングデバイスからの入力部18を制御する。また、出力制御部16は、LCDディスプレイ等の表示装置やプリンタなどの

10

20

30

40

50

印刷装置の出力制御を行う。

【0015】

外部記憶装置制御部17は、ブートプログラム、各種のアプリケーション、フォントデータ、ユーザファイル、編集ファイル、プリンタドライバ等を記憶するHDD(Hard Disk Drive)や、或いは場合によってはフレキシブルディスク(FD)等の外部記憶装置20へのアクセスを制御する。

【0016】

また、通信制御部14は、ネットワークを介して、外部機器と通信を制御するものであり、これによりシステムが必要とするデータを、インターネットやイントラネット上の外部機器が保有するデータベースから取得したり、外部機器に情報を送信したりすることができるように構成される。

10

【0017】

外部記憶装置20には、CPU11の制御プログラムであるオペレーティングシステムプログラム(以下OS)以外に、本発明の地形変化シミュレーション方法をCPU11上で動作させるシステムプログラム、及びこのシステムプログラムで用いるデータなどがインストールされ保存・記憶されている。なお、上記プログラム用いるデータは外部記憶装置20に保存しておくこともできるが、場合によっては、このようなデータは通信制御部14を介してインターネットやイントラネット上の外部機器から取得するように構成することも可能である。

【0018】

20

次に、本発明の地形変化シミュレーション方法を実現するシステムプログラムで利用されるデータ構造について説明する。図2は本発明の実施形態に係る地形変化シミュレーション方法で用いられるデータベース構成を説明する図である。本実施形態に係る地形変化シミュレーション方法では、図2に示すように模擬する地形(シミュレーション対象領域)を基本単位となるメッシュ単位に分割して、シミュレーション対象領域をそれぞれのメッシュ単位に割り当てる。そして、分割された基本単位であるメッシュ単位それぞれを変数とするデータベースを定義する。なお、図2に示す例ではメッシュを矩形形状としたものを示しているが、メッシュ形状は矩形形状に限らず、三角形形状などとすることもできる。

【0019】

30

本実施形態における地形変化シミュレーション方法では、シミュレーション上、上記のようなメッシュ単位毎に、「河川域」、「斜面域」、これらの中間の「遷移域」、「海域」などの地形種別を割り当て、それぞれのメッシュ単位毎で(模擬上の)「侵食」が発生したり、或いはそれぞれのメッシュ単位毎に(模擬上で)「侵食」によって生産された土砂が(模擬上で)「堆積」したりすることを想定し、このような想定に基づいて地形がどのように変化するかを模擬するものである。なお、本実施形態においては、シミュレーション上における「侵食」、「堆積」などの地形変化模擬現象を、単に「侵食」、「堆積」などの用語で称することがあるが、これらの地形変化現象は言うまでもなく、本実施形態ではあくまでシミュレーション上のものであることを付記しておく。

【0020】

40

上記のように定義されたデータベースは外部記憶装置20に記憶され、地形変化シミュレーション方法を実現するプログラムの処理に基づいて、CPU11によって演算され、適宜書き換えられたりすることによって、各種記憶値の更新が行われる。外部記憶装置20に記憶されるメッシュ位置(x, y)に依存するデータベース(本実施形態においてはマップなどとも称する)は、図2に示すように、地表標高マップ201、落水線ベクトルマップ202、流下距離マップ203、落水勾配マップ204、沖積層厚マップ205、岩盤硬度係数マップ206、侵食量マップ300、堆積量マップ400の8つが定義されている。このうち初期条件として定義されているのは地表標高マップ201、沖積層厚マップ205、岩盤硬度係数マップ206の3つであり、これらの初期条件に基づいて、所定期間にわたる地形の侵食による土砂生産量を計算し、これを侵食マップ300に記憶・

50

保存し、さらに侵食の過程で発生した土砂の堆積を計算し、これを堆積量マップ400に記憶・保存する。地形の侵食、土砂の堆積の計算過程で、地表標高マップ201、落水線ベクトルマップ202、流下距離マップ203、落水勾配マップ204、沖積層厚マップ205の各マップの記憶値が適宜更新される。

【0021】

上記のマップのうち、地表標高マップ201からの落水線ベクトルマップ202、流下距離マップ203、落水勾配マップ204の各マップの作成にかかる考え方については、非特許文献1及び2に基づいている。また、沖積層厚マップ205及び岩盤硬度係数マップ206の作成にかかる考え方については、非特許文献3の河床縦断形シミュレーションでの「地質係数」の設定をメッシュ位置( $x, y$ )に依存するデータベース(マップ)に拡張したものとする。

10

【0022】

以上のように構成される本発明の実施形態に係る地形変化シミュレーション方法を実行させるシステム構成における処理について図3を参照して説明する。図3は本発明の実施形態に係る地形変化シミュレーション方法における侵食量算出処理のフローチャートを示す図である。本フローチャートにて示す侵食量算出処理は、メッシュ( $x, y$ )の1点のみに係るものである。したがって、メッシュで模擬する全てのシミュレーション対象領域について侵食量を算出するには、定義されている全ての( $x, y$ )について同フローチャートによる算出を行うようにする。

【0023】

20

ステップS100で、メッシュ( $x, y$ )の侵食量算出処理が開始されると、ステップS101では、地表標高マップ201が参照され、地表標高 $h(x, y)$ が読み出される。続いてステップS102では、この地表標高 $h(x, y)$ の値に応じ、標高の低下量が最大となる隣接メッシュへの方向として、当該メッシュ( $x, y$ )における落水線ベクトルマップ( $x, y$ ) (落水線ベクトルマップ202)が得られる(非特許文献1に基づく)。

【0024】

ステップS103では、落水線ベクトルマップ202が参照され、落水線ベクトル( $x, y$ )が読み出される。続いてステップS104では、この落水線ベクトルの方向に応じ、その流域面積(流入メッシュ数より計算)の平方根より、当該メッシュ( $x, y$ )における流下距離マップ $S(x, y)$ (流下距離マップ203)が得られる(非特許文献3に基づく)。

30

【0025】

ステップS105では、地表標高マップ201及び落水線ベクトルマップ202が参照され、地表標高 $h(x, y)$ 及び落水線ベクトル( $x, y$ )が読み出される。続いてステップS106では、落水線ベクトルに沿う地表標高の変化量 $h$ より、当該メッシュ( $x, y$ )における落水勾配マップ $h / (x, y)$ (落水勾配マップ204)が得られる(非特許文献1に基づく)。

【0026】

ステップS107では、流下距離マップ203が参照されて、流下距離 $S(x, y)$ が読み出される。続いてステップS108では、この流下距離 $S(x, y)$ の値に応じて、当該メッシュ( $x, y$ )が模擬する地形種別が判定される(非特許文献3に基づく)。より詳しくは、このステップS108では、当該メッシュ( $x, y$ )が模擬する地形種別が、斜面域であるか、河川域であるか、斜面域と河川域との間の遷移域であるか、海域であるかを判定する。

40

【0027】

0  $S(x, y) < S_{slp}$ である場合(ステップS109)には、メッシュ( $x, y$ )は斜面域であると判定し、 $S_{slp} < S(x, y) < S_{river}$ である場合(ステップS110)には、メッシュ( $x, y$ )は遷移域であると判定し、 $S_{river} < S(x, y)$ である場合(ステップS111)には、メッシュ( $x, y$ )は河川域であると判定し、 $S(x, y)$

50

) =  $S_{sea}$ である場合(ステップS 1 1 2)には、メッシュ(x, y)は海域であると判定する。

【0028】

次の海域以外を模擬するメッシュ(x, y)では、ステップS 1 1 4乃至ステップS 1 1 6において、メッシュが模擬する地形種別に応じて基準侵食フラックスPを算出する。ここで、基準侵食フラックスPについて定義しておく。本実施形態においては、基準侵食フラックスPが1であるときには、沖積層であれば厚さ1の沖積層を侵食してその分の土砂を生産することができ、岩盤層であればその岩盤硬度係数R(x, y)に応じて、厚さP/R(x, y)の岩盤層を侵食することができ、その分の土砂を生産することができるものと定義する。なお、沖積層における岩盤硬度係数RはR(x, y) = 1であるということもできる。

10

【0029】

基準侵食フラックスPの算出においては、ステップS 1 1 3において、落水勾配マップ204の  $h / (x, y)$  が参照されて、メッシュ(x, y)の落水方向の隣接メッシュとの間の傾きが考慮される。本実施形態にかかる地形変化シミュレーション方法では、非特許文献2の手法を拡張し、斜面域だけでなく河川域を模擬するメッシュ(x, y)においても、基準侵食フラックスPの演算式は、指数式を組み込まない単純な拡散の式とする。

【0030】

ステップS 1 1 4では、メッシュ(x, y)が斜面域の場合であって、このとき  $P = k_{slp} \times k_{river} \times h / (x, y)$  による計算式で基準侵食フラックスPを計算する。ここで、 $k_{river}$ は(河川の)メッシュ間隔あたり拡散係数として定義されるものであり、 $k_{slp}$ は斜面係数として定義されるものである。ステップS 1 1 4においては、河川のメッシュ間隔あたり拡散係数( $k_{river} < 1$ )と斜面係数( $k_{slp} < 1$ )と勾配  $h / (x, y)$  を乗じることによって、基準侵食フラックスPを計算している。

20

【0031】

また、ステップS 1 1 6では、メッシュ(x, y)が河川域の場合であって、このとき  $P = k_{river} \times h / (x, y)$  による計算式で基準侵食フラックスPを計算する。

【0032】

斜面域と河川域との間の領域である遷移域では、非特許文献3の手法に基づき、メッシュ(x, y)におけるS(x, y)値が斜面域又は河川域のいずれに近いかに応じて、斜面域又は河川域のいずれの影響が大きいかを考慮するための変数fが導入される。ステップS 1 1 5に示すように、メッシュ(x, y)が遷移域の場合には、上記のように定義されるfによって、 $P = \{ (1 - f) \times k_{slp} \times k_{river} + f \times k_{river} \times h / (x, y) \}$ なる計算式で基準侵食フラックスPを計算する。

30

【0033】

次に、ステップS 1 1 7乃至ステップS 1 2 1においては、以上のように算出された基準侵食フラックスに応じて、メッシュ(x, y)における生産土砂量が算出される。

【0034】

ステップS 1 1 7では、ステップS 1 1 8の判定のために沖積層厚マップ205が参照される。ステップS 1 1 8では、ステップS 1 1 4乃至ステップS 1 1 6のいずれかで算出されたPと、ステップS 1 1 7で参照された $D_{aiv}(x, y)$ とを比較して、 $P > D_{aiv}(x, y)$ の関係が成立するか否かが判定される。

40

【0035】

ステップS 1 1 8の判定の結果がYESであるときには基準侵食フラックスPによって沖積層のみが侵食されることになる。このとき、ステップS 1 2 0に進み、沖積層のみからの生産土砂量が算出される

一方、ステップS 1 1 6の判定の結果がNOであるときには基準侵食フラックスPによって沖積層に加え岩盤層も侵食されることになる。このとき、ステップS 1 2 1に進み、沖積層からの生産土砂量 $V_{aiv}$ と、岩盤層を削って生産される土砂量 $V_{rock}$ とが算出され

50

る。生産土砂量  $V_{rock}$  を算出する上では、ステップ S 1 1 9 において、岩盤硬度係数マップ 2 0 6 が参照される。ステップ S 1 2 1 では、メッシュ (  $x, y$  ) における生産土砂量は  $V_{allv}$  と  $V_{rock}$  との和として求められる。

【 0 0 3 6 】

上記のようにメッシュ (  $x, y$  ) における生産土砂量が算出されると、ステップ S 1 2 2 ではこれに基づいて沖積層厚マップ 2 0 5 の更新が行われ、ステップ S 1 2 3 では地表標高マップ 2 0 1 の更新が行われる。

【 0 0 3 7 】

以上のようにして、ステップ S 1 2 4 でメッシュ (  $x, y$  ) における侵食量 ( 生産土砂量 ) に係る侵食量マップ  $V ( x, y )$  ( 侵食量マップ 3 0 0 ) を得ることができる。

10

【 0 0 3 8 】

以上のようなメッシュ (  $x, y$  ) の 1 点に対する侵食量算出処理フローチャートを、シミュレーション対象領域の全域について行うことによって、シミュレーション対象領域全域の侵食量 ( 生産土砂量 ) を算出することが可能となる。

【 0 0 3 9 】

次に、上記のような侵食量算出処理フローチャートによって算出されたメッシュ (  $x, y$  ) における生産土砂がどのような形態で堆積するかをシミュレートする堆積算出処理について説明する。図 4 は本発明の実施形態に係る地形変化シミュレーション方法における堆積算出処理のフローチャートを示す図である。本フローチャートにて示す堆積算出処理は、メッシュ (  $x, y$  ) の 1 点で生産された土砂がどの程度の量、どのメッシュへ運搬され堆積するかを計算するものである。したがって、メッシュで模擬する全てのシミュレーション対象領域における堆積の様子を算出するには、定義されている全ての (  $x, y$  ) について同フローチャートによる算出を行うようにする。

20

【 0 0 4 0 】

ステップ S 2 0 0 で、メッシュ (  $x, y$  ) の堆積算出処理が開始されると、流下距離マップ 2 0 3 が参照されて、流下距離  $S ( x, y )$  が読み出される。続いてステップ S 2 0 2 では、この流下距離  $S ( x, y )$  の値に応じて、当該メッシュ (  $x, y$  ) が模擬する地形種別が判定される。より詳しくは、このステップ S 2 0 2 では、当該メッシュ (  $x, y$  ) が模擬する地形種別が、斜面域であるか、河川域であるか、斜面域と河川域との間の遷移域であるか、海域であるかを判定する。ここで、このような判定のために与えられる閾値については、先に説明したものと同様であるので説明を省略する。

30

【 0 0 4 1 】

上記のような閾値を用いて、 $0 < S ( x, y ) < S_{slp}$  である場合 ( ステップ S 2 0 3 ) には、メッシュ (  $x, y$  ) は斜面域であると判定し、 $S_{slp} < S ( x, y ) < S_{river}$  である場合 ( ステップ S 2 0 4 ) には、メッシュ (  $x, y$  ) は遷移域であると判定し、 $S_{river} < S ( x, y )$  である場合 ( ステップ S 2 0 5 ) には、メッシュ (  $x, y$  ) は河川域であると判定し、 $S ( x, y ) = S_{sea}$  である場合 ( ステップ S 2 0 6 ) には、メッシュ (  $x, y$  ) は海域であると判定する。

【 0 0 4 2 】

次に、ステップ S 2 0 7 乃至ステップ S 2 0 9 において、陸域 ( 斜面域、遷移域及び河川域 ) をを模擬するメッシュ (  $x, y$  ) で生産された土砂がどの範囲にまで運搬され堆積するかに係る数値 ( 堆積範囲  $W$  ) を算出する。

40

【 0 0 4 3 】

ステップ S 2 0 7 では、メッシュ (  $x, y$  ) が斜面域の場合であって、このときには、堆積範囲  $W$  については、 $W = W_{slp}$  ( 定数 ) として一定のものと扱うようにする。ただし、 $W_{slp}$  は斜面域での堆積範囲である。

【 0 0 4 4 】

ここで、堆積範囲  $W$  の概念について図 5 を参照して説明する。図 5 は本発明の実施形態に係る地形変化シミュレーション方法における堆積範囲  $W$  の概念を説明する模式図である。図 5 では着目メッシュ (  $x, y$  ) における堆積範囲  $W$  が 4 である場合を例示している。

50

この場合は、図に示すように落水方向である4つ分のメッシュに着目メッシュ( $x, y$ )で生産された土砂の1/4ずつを堆積させるように堆積を模擬する。なお、堆積範囲 $W$ の値が4.3などの小数をとるような場合には、落水方向でみて4つのメッシュに着目メッシュ( $x, y$ )で生産された土砂の1/4.3ずつを堆積させ、さらに5つめのメッシュに残りの土砂(生産土砂の0.3/4.3)を堆積させるように堆積を模擬する。

【0045】

また、ステップS209では、メッシュ( $x, y$ )が河川域の場合であって、このときには、 $W = W_{river} \times (S(x, y) / S_{river})$  による計算式で堆積範囲 $W$ を計算する。ただし、 $W_{river}$ は河川先頭での堆積範囲(初期堆積範囲)を示す定数であり、 $S(x, y)$ は粒径係数である。図6は本発明の実施形態に係る地形変化シミュレーション方法における粒径係数による堆積範囲 $W$ の変化を説明する模式図である。この図6はシミュレーション対象領域の河川の流れ(落水線ベクトルの方向)に沿う断面を模式的に示している。一般的に、河川域における土砂の粒径は上流側で大きく、下流側では小さくなる傾向がある。また、河川流量は流域面積(流下距離 $S$ の自乗)の拡大にともない、下流側で増大する傾向がある。このような土砂の粒径及び河川流量の特性によって、河川域における堆積範囲 $W$ は上流側で狭く、下流側では広くなるという特徴がある。粒径係数は、河川域における上記のような土砂の粒径と河川流量に基づく堆積範囲 $W$ の特徴を現すために導入される定数であり、およそ4程度の数値である。このような粒径係数の効果によって、流下距離 $S(x, y)$ が増大すると、 $(S(x, y) / S_{river})$ の項がべき関数的に増大し、同じく堆積範囲 $W$ がべき関数的に増大する。

【0046】

また、ステップS208では、メッシュ( $x, y$ )が斜面域と河川域との間の領域である遷移域の場合であって、このときには、メッシュ( $x, y$ )における $S(x, y)$ 値が斜面域又は河川域のいずれに近いかに応じて、斜面域又は河川域のいずれの影響が大きいかを考慮するための変数 $f$ が導入される。このような考え方は、侵食量算出処理のフローチャートに関連し説明したものと同様である。堆積算出処理のフローチャートにおいても、遷移域におけるメッシュ( $x, y$ )に対して、変数 $f$ は $f = (S - S_{slp}) / (S_{river} - S_{slp})$ として定義し、上記のように定義される $f$ によって、 $W = \{ (1 - f) \times W_{slp} + f \times W_{river} \}$ なる計算式で堆積範囲 $W$ を計算する。

【0047】

以上のようにステップS207乃至ステップS209で堆積範囲 $W$ が算出されると、続いてステップS210で侵食量マップ $V(x, y)$ が参照されて、メッシュ( $x, y$ )における生産土砂量が取得され、さらにステップS211で侵食量マップ $V(x, y)$ が堆積範囲 $W$ によって除されることで、メッシュ( $x, y$ )からの落水方向における1メッシュあたりの堆積量 $Depo$ が求められる。

【0048】

ステップS212からステップS220は、上記のようにして求められた1メッシュあたりの堆積量 $Depo$ がどのメッシュに堆積するかを求める処理となる。

【0049】

ステップS212では、 $n = 1$ がセットされて繰り返し演算のルーチンが開始される。この繰り返し演算のルーチンは、例えば、 $W = 4$ であるときには、 $n = 1$ から $n = 4$ までの4回繰り返されることで、 $Depo (= V(x, y) / 4)$ がどのメッシュに堆積されるかを求めるルーチンである。

【0050】

なお、例えば、 $W = 4.3$ などの自然数でないときには、繰り返し演算は $n = 1$ から $n = 5$ までの5回繰り返す。 $n = 1$ から $n = 4$ までの繰り返し演算で、4つのメッシュに $Depo (= V(x, y) / 4.3)$ ずつを堆積させ、 $n = 5$ の演算で、5つめのメッシュに残りの土砂(生産土砂の $(0.3 / 4.3) \times V(x, y)$ )を堆積させる。

【0051】

以上のような繰り返し演算のルーチンについてより詳しく説明する。まず、ステップS

10

20

30

40

50

213では落水線ベクトルマップ202が参照されることで落水方向が求められ、これに応じてDepoを堆積させる堆積先のメッシュが選定される。

【0052】

ステップS214では、次の堆積先である $S(x+x, y+y)$ のメッシュの地形種別の判定が行われる。ステップS214における判定の結果、堆積先が陸域であるときにはステップS215に進み、堆積先が海域であるときにはステップS218に進み、堆積先がシミュレーション対象領域外であるときにはステップS220に進む。

【0053】

堆積先が海域であるときに進むステップS218では、(繰り返し演算の途中であっても)河口に相当するメッシュに残りの土砂を堆積させるように模擬し、ステップS219で河口堆積量マップ $D_{sea}(x, y)$ を作成する。この河口に堆積された土砂については、これを海底に堆積させるための別のルーチンによって処理がなされるが、本発明は海面より高い地形部分に焦点を当てるものであるため、本実施形態においてはこの海底への拡散処理ルーチンについての詳細な説明は割愛する。

10

【0054】

堆積先がシミュレーション対象領域外であるときに進むステップS220では、(繰り返し演算の途中であっても)領域外への流出口に相当するメッシュに堆積させた分を除く残りの土砂はなくなったものとしてカウントする。

【0055】

堆積先が陸域であるときに進むはステップS215では、既に堆積している土砂に、メッシュ $(x, y)$ で生産された土砂分であるDepoを堆積する。ステップS216では、 $n$ を1インクリメントして、ステップS217では $n < W + 1$ であるか否かが判定され、繰り返し演算の要否が判定される。

20

【0056】

ここで、堆積範囲が $W = 4$ であり、かつ、堆積先が全て陸域である場合で、 $n = 1$ から $n = 4$ までの4回の繰り返し演算が行われることを例にとり、繰り返し演算のルーチンで行われる処理について図7を参照して説明する。図7は本発明の実施形態に係る地形変化シミュレーション方法における繰り返し演算を説明する模式図であり、図7(A)から図7(D)の順で繰り返し処理が進んでいる。

【0057】

図7(A)に示すように、メッシュ $(x, y)$ で生産された土砂の1/4分の第1の堆積先が、落水線ベクトルマップ202によって求められ、求められた堆積先に土砂の1/4分を堆積させる。次の図7(B)では、第1の堆積先からさらに落水線ベクトルマップ202によって第2の堆積先が求められ、この第2の堆積先に、土砂の1/4分を堆積させる。以降、繰り返し演算ルーチンでは、図7(D)までこの手順を繰り返す演算処理を行う。

30

【0058】

ステップS221では、メッシュ $(x, y)$ で生産された土砂の堆積状況を示す堆積量マップ $D(x, y)$ (堆積量マップ400)が求められる。また、このような堆積量マップ $D(x, y)$ の変化に伴い、ステップS222では、沖積層深度マップ205の更新が行われ、ステップS223では地表標高マップ201の更新が行われる。

40

【0059】

以上の堆積算出処理フローチャートは、メッシュ $(x, y)$ の1点で生産された土砂の堆積状況を算出するものであり、この堆積算出処理フローチャートを、シミュレーション対象領域の全域について行うことによって、シミュレーション対象領域全域の堆積の状況を算出することが可能となる。

【0060】

この過程を繰り返すことによって、指数式を用いた従来の地形変化シミュレーション結果(非特許文献3)と同様に、約百万年前の推定地形面をもとに現在の河川の地形特徴が再現できる(図8)。また、粒径係数を変化させたシミュレーションにより、氷期にお

50

る河川の運搬力（粒径の減少傾向）の低下による直線的な河床縦断形の形成を再現することができる（図9）。

【0061】

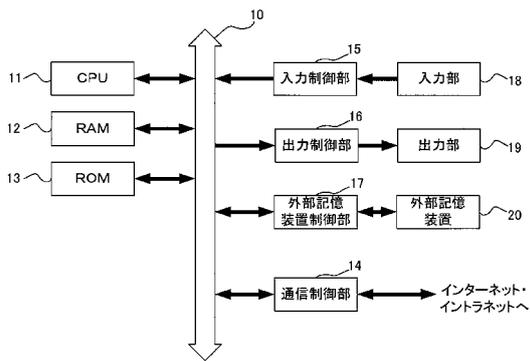
以上、本発明の地形変化シミュレーション方法によれば、侵食によって土砂が生産され、生産された土砂が運搬され堆積することを模擬する、という地形変化プロセスにおける実現象と合致したシミュレーションが可能となる。また、本発明の地形変化シミュレーション方法によれば、シミュレーション結果（河床縦断形の形成など）において実現象と合致しない状況が発生することがない。

【符号の説明】

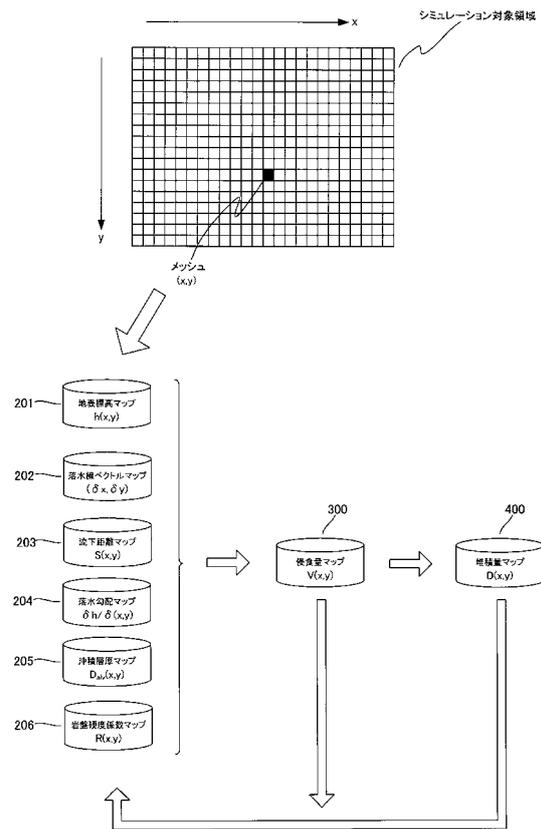
【0062】

10・・・システムバス、11・・・CPU(Central Processing Unit)、12・・・RAM(Random Access Memory)、13・・・ROM(Read Only Memory)、14・・・通信制御部、15・・・入力制御部、16・・・出力制御部、17・・・外部記憶装置制御部、18・・・入力部、19・・・出力部、20・・・外部記憶装置、201・・・地表標高マップ、202・・・落水線ベクトルマップ、203・・・流下距離マップ、204・・・落水勾配マップ、205・・・沖積層厚マップ、206・・・岩盤硬度係数マップ、300・・・侵食量マップ、400・・・堆積量マップ

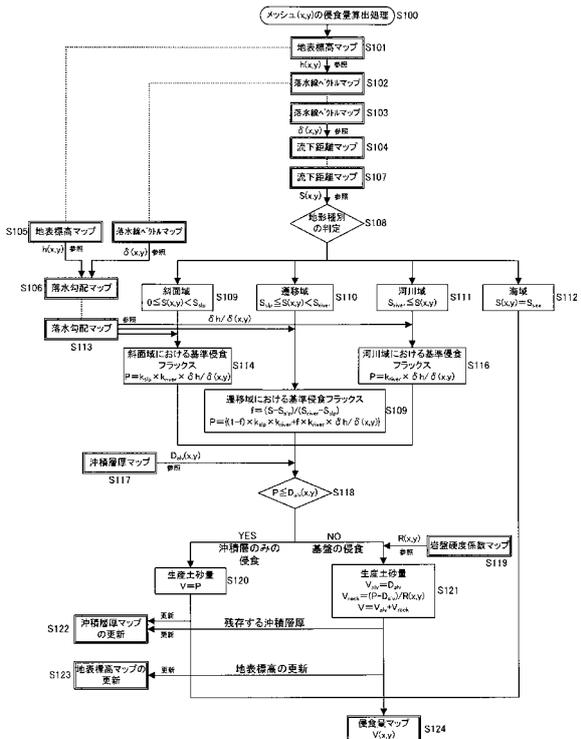
【図1】



【図2】

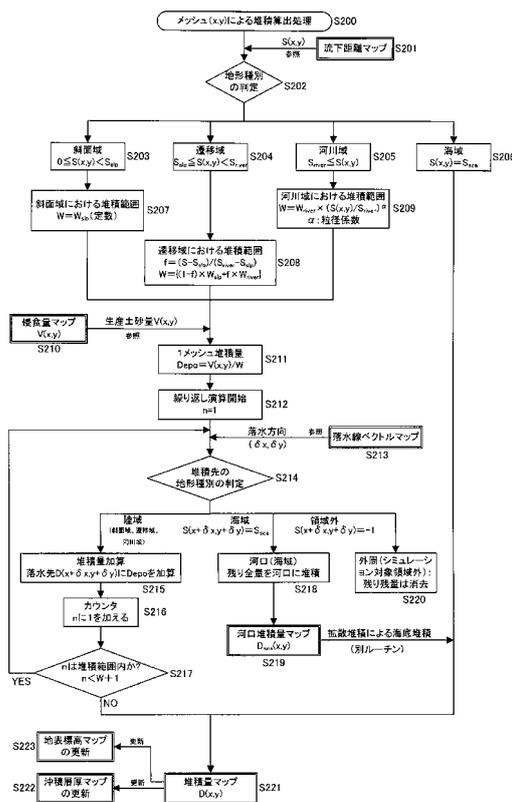


【図3】



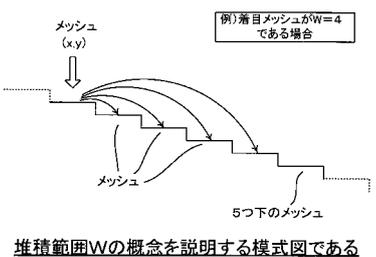
着目メッシュ(x,y)における侵食量の算出に用いられるフローチャートの概略を説明する図

【図4】

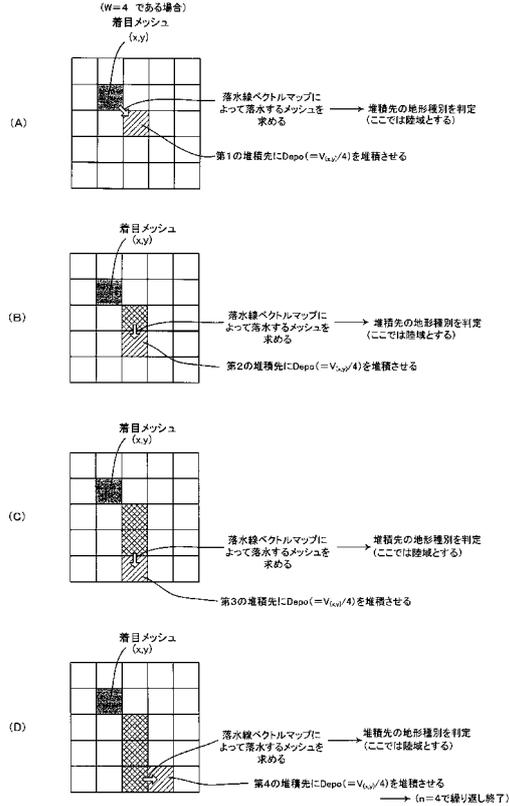


着目メッシュ(x,y)で生産された土砂の堆積の概要の算出に用いられるフローチャートの概略を説明する図

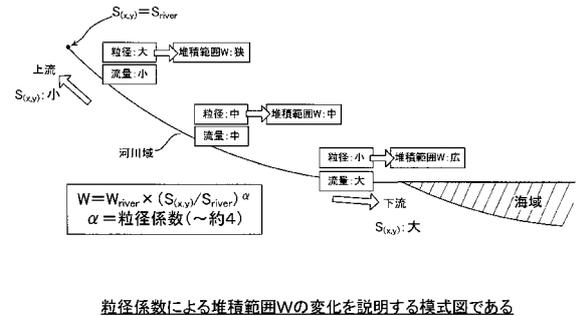
【図5】



【図7】

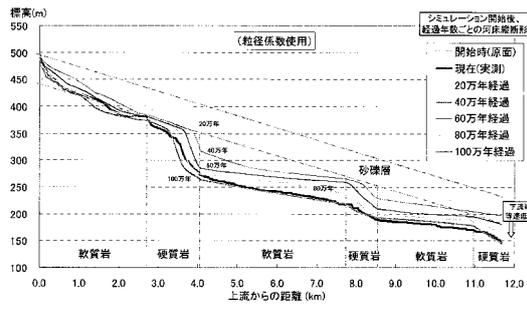


【図6】

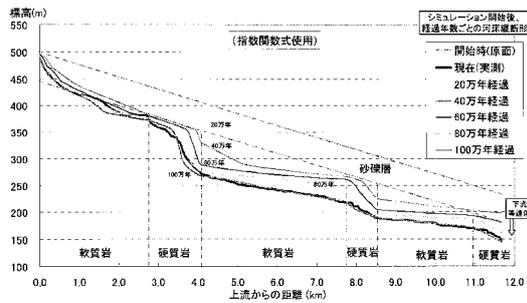


【 図 8 】

本方法(堆積範囲を拡大させるシミュレーション方法)による結果

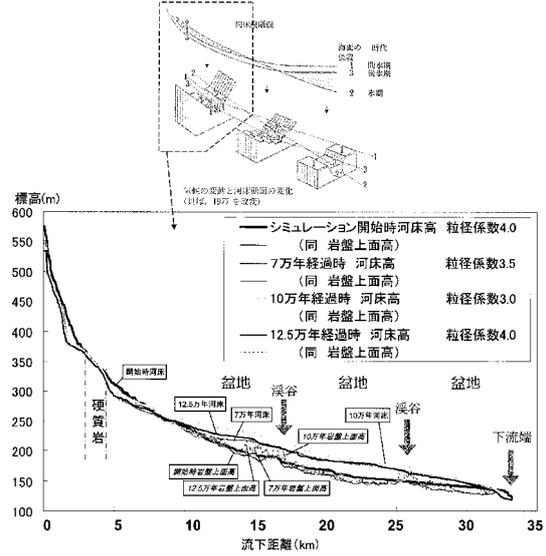


非特許文献3の方法(河床勾配を指数関数式で与えるシミュレーション方法)による結果



本方法と、非特許文献3の方法による単一の河道のみを対象としたシミュレーション。岩盤硬度係数は共通の値を使用した。

【 図 9 】



本方法による地形変化シミュレーション結果の例 (山間部の主要河川における河床縦断形の変化) 10万年経過時(氷期)に粒径係数(粒径の減少傾向・河川流量)を最低とする設定で実施した。

## フロントページの続き

- (74)代理人 100094787  
弁理士 青木 健二
- (74)代理人 100097777  
弁理士 葦澤 弘
- (74)代理人 100091971  
弁理士 米澤 明
- (74)代理人 100119220  
弁理士 片寄 武彦
- (72)発明者 谷川 晋一  
岐阜県土岐市泉町定林寺959番地31 独立行政法人日本原子力研究開発機構 東濃地科学センター内
- (72)発明者 安江 健一  
岐阜県土岐市泉町定林寺959番地31 独立行政法人日本原子力研究開発機構 東濃地科学センター内
- (72)発明者 野原 壯  
北海道天塩郡幌延町北進432番2 独立行政法人日本原子力研究開発機構 幌延深地層研究センター内
- (72)発明者 三箇 智二  
東京都港区虎ノ門二丁目7番10号 日鉱探開株式会社社内

審査官 宮地 匡人

- (56)参考文献 特開2003-196670(JP,A)  
三箇 智二, 河床縦断形のシミュレーション, 地形, 2008年 1月25日, Vol.29 No.1, p.27-49  
末次 忠司, 土砂管理施策のためのキーノート~土砂動態の時空間的不連続性を考慮した流域管理に向けて~, 国土技術政策総合研究所資料, 国土交通省 国土技術政策総合研究所, 2005年 3月, No.231, pp.13-21  
野上 道男, 河川縦断形発達への拡散モデルについて, 地理学評論, 2008年 3月 1日, Vol.81 No.3, pp.121-126  
安江 健一, 地質分布を考慮した河床縦断形のシミュレーション, 日本地質学会第114年学術大会講演要旨, 2007年 9月 1日, p.319

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G06F 19/00  
JSTPlus(JDreamIII)