

JNC TN7410 2001-015

日本列島における侵食速度の分布
(CD-ROM 版)

(技術報告)

平成13年8月

核燃料サイクル開発機構

東濃地科学センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村村松4番地49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki 319-1184,
Japan

© 核燃料サイクル開発機構

(Japan Nuclear Cycle Development Institute) 2001

日本列島における侵食速度の分布

(CD-ROM版)

藤原 治^{*1}三箇智二^{*2}大森博雄^{*3}

要 旨

全国的な侵食速度の分布を明らかにすることは、各地の地形変化を予測し、土被りの厚さや動水勾配の変化など、地表から地下深部までの地質環境が将来どの程度安定であるかを評価するために重要である。本研究では、ダムへの土砂流入量と流域の高度分散量 (D) との関係に基づいて全国の侵食速度を試算した。流域の侵食速度 (E) と D の間には $E=0.000044 \times D^{2.2}$ の関係があり (相関係数 0.94)、この式から 50m メッシュの数値地図を用いて 6 km × 6 km メッシュの侵食速度分布図を作成した。

侵食速度は中部山岳地帯で最大値 (中心部で 3 ~ 5 mm/y) を示し、日高山脈、東北日本背孤側と西南日本外帯の山地列 ($\leq 2 \sim 3$ mm/y) がこれに次ぎ、西南日本内帯と東北日本前孤側の山地列で小さい (≤ 1 mm/y)。侵食速度の地域性は、地形の起伏を形成した第四紀の隆起量 (速度) を反映している。

GIS (地理情報システム) ユーザーのために、侵食速度分布図などを Arc View 形式で格納した CD-ROM を添付した。

*1 東濃地科学センター 地質環境長期予測研究グループ

*2 日鉱探開株式会社

*3 東京大学大学院新領域創成科学研究科

Regional Distribution of Erosion Rates over the Japanese Islands (CD - ROM version)

Osamu FUJIWARA*¹ , Tomoji SANGA*², Hiroo OHMORI*³

Abstract

Regional distribution of erosion rates has been studied to clarify the long-term stability of the geological environment in Japan. The regional distribution of erosion rates should be estimated to predict long-term geomorphological changes. This research is to estimate the distribution of erosion rates over the Japanese Islands based on the relationship between the sediment delivery rates to reservoirs and the dispersion of altitude of the drainage basins.

The relationship between erosion rate E (mm/y) and dispersion of altitude D (m) of drainage basins is expressed by $E=0.000044D^{2.2}$ with a correlation coefficient of 0.94. This equation was used to calculate the denudation rate for each 6 km×6 km area of the Japanese Islands using a "digital map 50 m grid".

The denudation rates are, highest in the central Japanese mountains ($\leq 3 - 5$ mm/y), moderate in the outer belt of Southwest Japan, the inner belt of Northeast Japan and Hokkaido ($\leq 2 - 3$ mm/y), and lowest in the inner belt of Southwest Japan, outer belt of Northeast Japan and central Hokkaido (≤ 1 mm/y).

These regional characteristics are closely related to the distribution of Quaternary uplift rates, which caused the regional differences in surface topography.

*¹ Neotectonics Research Group, Tono Geoscience Center

*² Nikko Exploration & Development Co., Ltd.

*³ Graduate School of Frontier Sciences, University of Tokyo

目 次

1. はじめに	1
2. 使用データとその加工	2
2. 1 ダム堆砂量に基づく侵食速度の算定	2
2. 2 ダム流域の高度分散量の算定	4
2. 3 流域の地質データの収集	5
2. 4 ダム流域の降水量データの収集	6
2. 5 全国の基準高度分散量の算定	6
3. 結果と考察	7
3. 1 基準高度分散量と侵食速度	7
3. 2 地質条件と侵食速度	8
3. 3 降雨条件と侵食速度	9
3. 4 侵食速度の分布	11
3. 5 侵食速度と第四紀の隆起速度	11
3. 6 長期的な侵食速度との比較	15
4. まとめ	16
5. CD-ROM の内容と使用法	16
5. 1 CD-ROM の使用法	16
5. 2 GIS ソフトウェア ArcView 用プロジェクトファイル	17
5. 3 侵食速度分布図用 GIS ファイル	17
参考文献	22

図表一覧

図 1	調査対象としたダムの位置図	1
図 2	侵食速度の算定期間	2
図 3	50mメッシュDEMからの「1kmメッシュ」の作成	6
図 4	基準高度分散量と侵食速度との関係	7
図 5	地質区分毎にみた侵食速度と基準高度分散量の関係	8
図 6	降水量・降雨強度と侵食速度との関係	9
図 7	基準高度分散量から計算した全国の侵食速度の分布	10
図 8	基準高度分散量から計算した侵食速度等値線図	12
図 9	基準高度分散量等値線図	13
図 10	基準高度分散量から求めた山地毎の平均侵食速度	14
図 11	平均標高と基準高度分散量との関係	15
表 1	各ダムの侵食速度に関するデータ	19
表 2	各ダムの流域内に占める地質区分の面積率	20
表 3	山地毎の地形量および侵食速度	21

1. はじめに

日本列島は、急峻な地形と降水量が多いことに起因して、地盤の侵食速度が世界で最も大きい地域の1つである¹⁾。侵食作用は土被りを減少させたり地形を改変し、その程度によっては地下水の水理・水質などの地質環境を変化させることが想定される。侵食作用が地質環境に及ぼす影響について、その範囲や程度を予測するためには、将来の侵食が各地域でどの程度の量に達するかを予測する必要がある。そのためにはまず、現在の侵食速度の分布を把握することが必要である。日本列島で現在進みつつある侵食の速さは、一般に山地部を対象として、ダムに堆積した土砂の量(堆砂量)から推定されている。これはダム流域というある広がりを持つエリア全体の平均の侵食速度(以下、侵食速度)であり、0.3~0.5 mm/y程度の値が報告されている^{2)~6)}。

しかし、従来の研究で侵食速度が得られている範囲は、個々のダム流域という限られた領域であり、かつ、その領域は山地中心部に偏る傾向がある。また、侵食速度が推定されている範囲は、国土の一部でしかない。したがって、これらのデータのみから侵食速度の全国的な分布やその地域性を検討するには無理がある。

ところで侵食速度は、日本国内において地質や気候条件などによってある程度の差異はあるものの、むしろ地形の起伏状態と高い相関を持つことが経験的に知られている^{3),7)}。この起伏状態を表すパラメータとして、高度分散量が提唱されている³⁾。高度分散量は単位エリア内に分布する標高値の標準偏差で与えられる。

近年、高度分散量などを計算できる詳細な50mメッシュの数値地図⁸⁾がCD-ROM媒体で出版され、コンピュータを用いて全国について高度分散量を同一精度で計算できるようになった。したがって、全国のダム流域において侵食速度と高度分散量の関係を適切に定式化できれば、この式を用いてダムがない地域についても数値地図から侵食速度を算出することが可能となる。

本研究では、まず、ダム流域において地質条件、降水条件、および高度分散量と侵食速度との関係を再検討し、高度分散量から侵食速度を算定することの妥当性を確認した上で、両者の関係を表す数式を提案した。次に、数値地図から全国の高度分散量の分布を算定し、第3にこれを上記の式を用いて侵食速度に変換して、全国各地で侵食がどのような速度で進んでいるかを推定した。この結果とそれに対する若干の解釈が本報告の内容である。

本報告は、先に、サイクル機構技報として報告した内容⁹⁾であるが、侵食速度分布図をユーザーがGIS(地理情報システム)上で様々な地形・地質データと重ね合わせて解析・解釈できるように、これをCD-ROM媒体で提供することを目的に再録、加筆したものである。

2. 使用データとその加工

2. 1 ダム堆砂量に基づく侵食速度の算定

本研究では、ダム流域の侵食速度に関しては、従来の研究^{2), 3)}などと同じく次の式を用いた。これは、山地河川流域で侵食によって生産された土砂は、最終的には河川によって運搬され流域のダムに堆積し、堆砂量は侵食量を表すという仮定に基づいている。

流域の単位面積から毎年ダムへ流入する土砂量を SDR 、ダム堆砂量を S_v 、流域面積を S_a 、ダム築造からの年数を Y とすると、

$$SDR = S_v \div S_a \div Y \quad (1)$$

流域の侵食速度を E 、空隙率補正を P とすると、

$$E = SDR \times (1 - P) \quad (2)$$

ダム堆砂量と流域の侵食量との間には、浮遊物質のダムからの流下、堆積物の再移動、計測誤差、上流にある別のダムでの堆積、などのために誤差が生じる。貯水池に流入した土砂が貯水地内に堆砂として留められる割合（捕捉率）は、日本全国の354箇所のダムの平均で約60%、また、河川流域の土砂中の粘土率（浮遊物質量の指標）は218河川の平均で1割程度とされる⁵⁾。しかし、上流に別のダムがなく、ある程度の規模を有するダムではこのような誤差はより小さくなり、ダム堆砂量はダム流域全体の平均侵食量を近似的に表していると思なされる^{2), 3), 6)}。

ここでは、流域の侵食量に正確を期すために、原則として流域の最上流に位置するダムを対象とし、①補足率が経験的にほぼ100%とされる貯水容量が200万 m^3 以上で堆砂率が25%以下^{10), 11)}など、②建設後10年以上が経過し、ダム建設の影響が少なく流量の年ごとの変動が平均化されている^{5), 10)}ダムを調査対象とした。

このようなダムは、すぐ下流側のダムの堆砂状況には影響を与えないと考えられる。そこで、このようなダムと直列に配置された下流側のダムで上記の①、②の条件を満たすものも調査対象とした。このようにして全国82箇所のダムを抽出した（図1）。

各ダムの毎年の堆砂量は、1961年以降については、電力土木技術協会が出版している「電力土木」誌によった。1961年以前に築造されたダムについては、便宜上、竣工時の堆砂量を0 m^3 と仮定した。今回の解析に使用した堆砂データ

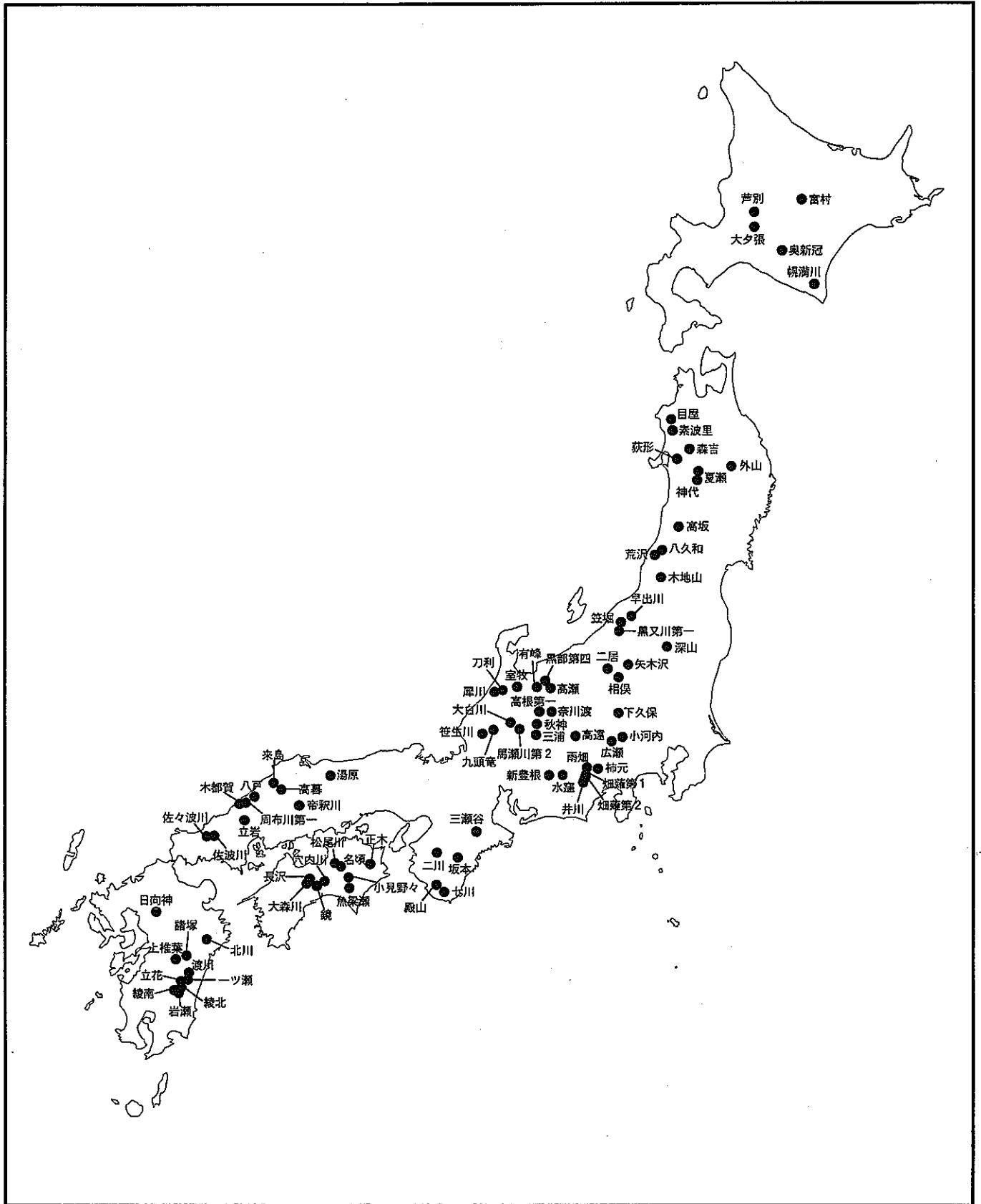


図1 調査対象としたダムの位置図

は、主に 1992 年までのものである。

各ダムについて竣工時からの堆砂量の累積曲線を作成すると、堆砂量は時間とともに増加するが、その増加の割合は一定ではない。ダム貯水池より上流側の河道での堆砂が進行し、測量範囲からはみ出してしまふことや貯水池内での土砂の再移動などにより、多くの場合堆砂量は、ある時期から見掛け上の増加が止まるか、場合によっては減少する。そこで侵食速度を計算する期間は、竣工時を起点として、堆砂量の累積曲線が 10 年以上にわたって単調に増加する期間のみとした（図 2）。計測期間は平均で約 30 年間である。

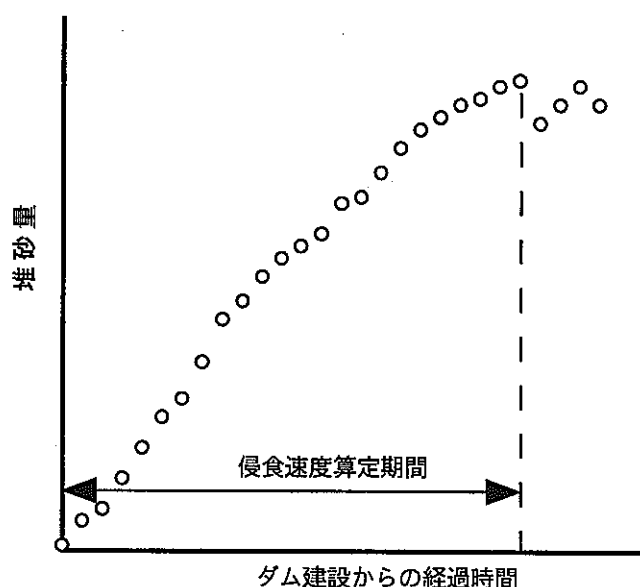


図 2 侵食速度の算定期間

各ダムの集水面積はダム年鑑（1992）¹¹⁾ から引用した。上流に別のダムが存在する場合は、対象とするダムの集水面積をダム年鑑から直接求めることが出来ない。この場合は、調査対象とする下流側のダムについて、集水域を 1/25,000 地形図上でデジタイザーで読みとり面積を計算した。

ダム堆砂は元の岩石と比べて空隙が多く密度が小さい。この密度差を補正する空隙率（ P ）については、従来の研究^{3), 11), 13)}などを参考に 30%とした。

こうして求めた各ダム流域における侵食速度を表 1 に示す。

2. 2 ダム流域の高度分散量の算定

この作業は 50m メッシュの数値地図が未整備な時期に行ったため、データソースには国土地理院発行の国土数値情報（KS 110-1）を用いた。国土数値情報は地図上の位置を示す方法として経緯度法を採用しており、一定間隔の経線・緯線で地域を網の目状に区画している。この区画は標準地域メッシュと呼ばれ、大きさ

の異なる3種類(1次から3次メッシュ)がある。今回の解析で基本単位としたのは3次メッシュで、緯度30秒、経度45秒毎に区切られており、約1km×1kmの大きさである。国土数値情報における標高値は、3次メッシュを縦横4等分する4分の1細分メッシュ(縦横約250m)の格子点の値が登録されており、個々の3次メッシュには25個の標高値データが含まれる。

各ダムについて、次の手順で平均標高と高度分散量を算定した。

- ① ダム流域に少しでも掛かる3次メッシュを国土数値情報から切り出す。
- ② 個々の3次メッシュについて、そこに含まれる25個の標高値の標準偏差(高度分散量)を計算する。
- ③ ①のすべての3次メッシュについて、高度分散量の相加平均を求め、これらを流域の代表値とする。

ところで、経緯度法によるメッシュシステムでは、経線方向(東西方向)の格子点間隔やメッシュの面積が緯度方向に変化する。例えば、3次メッシュの面積は、高緯度にある札幌では鹿児島よりも約16%小さくなる。高度分散量は区画の面積増加にともなって大きくなる³⁾ので、地域間の比較をする場合には「基準化」が必要である。本研究では従来の研究³⁾によって示された以下の式を用いて、各ダム流域の高度分散量を1km²当たりの値に基準化した。

$$D_s \doteq D S^{0.16} \quad (3)$$

ここで D は1km²の高度分散量で、基準高度分散量と呼ぶ(単位m)。 S は区画の面積(km²:ここでは各流域における3次メッシュの面積)、 D_s は面積 S km²の区画の高度分散量(単位m)である。以下の議論ではこの基準高度分散量(流域の平均値)を用いる。

2.3 流域の地質データの収集

ダムの堆砂量の地質による地域差などを検討する際、地質は崩壊特性によって区分するのが一つの方法であり、例えば、新生代火山岩、新第三紀堆積岩、花崗岩(深成岩)、中・古生代堆積岩(古第三紀堆積岩を含む)、変成岩の区分が使われている⁷⁾。本研究ではこの区分にしたがって、各地質がそれぞれのダム流域でどの程度の割合を占めるかを調べた。

このデータ収集には1/100万数値地質図¹⁴⁾を用いた。この数値地質図は、経緯度法で区切られた約250mメッシュの空間分解能を持つ。メッシュの中心がダム流域に入っている場合のみ、そのメッシュをカウントすることとし、各地質区分に対応するメッシュの数を計算した。こうしてダムごとに各地質区分の面積百分率を計算した(表2)。

2. 4 ダム流域の降水量データの収集

個々の土砂流出は洪水時に発生する。すなわち、侵食の営力である降水や流水は、直接的に侵食速度に影響を与え、地域間で大きく異なりかつ短期間に大きく変動している。このため、日本全国で侵食速度の分布を検討する場合は、侵食速度が降水条件によってどの程度異なるのかを把握しておく必要がある。ここでは降水の指標として、各ダム流域の年降水量と降雨強度を用いた。

年降水量は、流域の最も近くに位置する雨量観測所のデータを気象庁および地方気象台から入手し、堆砂量計測期間（より短い期間のデータも一部にある）について毎年の降水量を平均して求めた（表1）。

降雨強度の指標としては、流域で斜面崩壊や土石流が発生し、土砂が多量に運搬され始める降雨量に注目した。この値は経験的に日雨量100mmとされている¹⁵⁾。そこで、日降水量が100mmを越える日についてその値を年毎に積算し、この積算値を降雨観測期間で平均した値を求めた（表1）。

2. 5 全国の基準高度分散量の算定

数値地図のデータ管理方式は、CD-ROMの上で1/25,000地形図ごとに1つのファイルにまとめられており、このままでは高度分散量を地形図境界を跨ぐ広範囲にわたって計算するには不便である。そこでまず、日本全域のデータを統合した1枚の50mメッシュDEM（デジタル標高モデル）を作成した。このDEMは経度方向に2.25秒、緯度方向に1.5秒の格子状に並ぶデータで構成されており、した

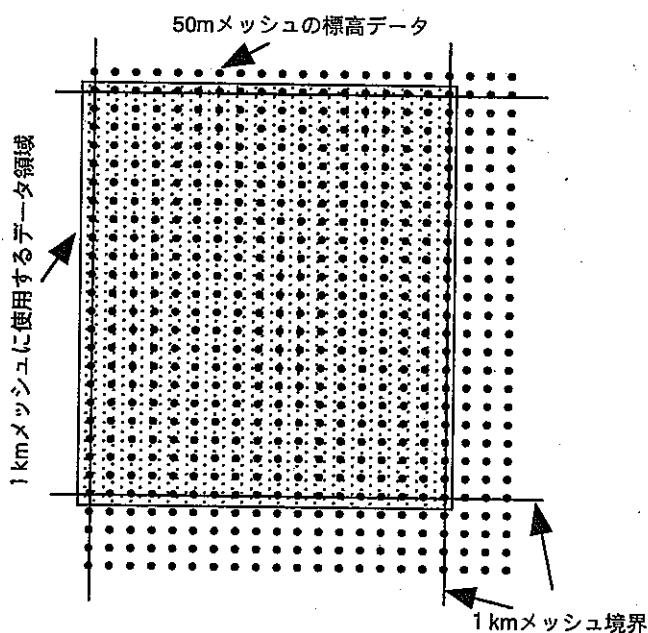


図3 50mメッシュDEMからの「1kmメッシュ」の作成

がって東西方向のデータ間の実距離は緯度によって異なっている。

次に、この DEM 上で、緯度経度方向の実距離がほぼ $1 \times 1 \text{ km}$ となるように、 50 m メッシュをタイル状に配列した矩形領域を作成した。各矩形領域内に含まれる標高値データは緯度方向に 23 個、経度方向に 18~20 個である。経度方向で標高値データの数が異なるのは、緯度によってメッシュの経線方向の長さが異なるからである。図 3 では 1 km メッシュの形態を簡略化して示した。

第 3 に、各矩形領域ごとに、そこに含まれる標高データを使って基準高度分散量と平均標高を求めた。なお、この計算には海域の標高値は含んでいない。さらに、 $1 \times 1 \text{ km}$ の矩形領域を 6×6 個毎にまとめ、この中に含まれる 36 個の基準高度分散量の平均値を算出した（理由は 3.4 節で述べる）。

3. 結果と考察

3. 1 基準高度分散量と侵食速度

82 箇所のダムで得られた基準高度分散量と侵食速度の関係（図 4）を見ると、データはばらつきが大きいものの、高度分散量の増加とともに侵食速度が急激に大きくなる傾向を示している（図中の白丸）。両者の一般的な傾向を抽出する場合には、横軸について区間毎にサンプル数を基準化するのが一つの方法である。そこで、基準高度分散量を 20 m 毎の区間に区切り、各区間について基準高度分散量と侵食速度の平均値（区間平均値）を求めた。

このようにして求めた区間平均値が図 4 の黒丸である。ただし、データの少な

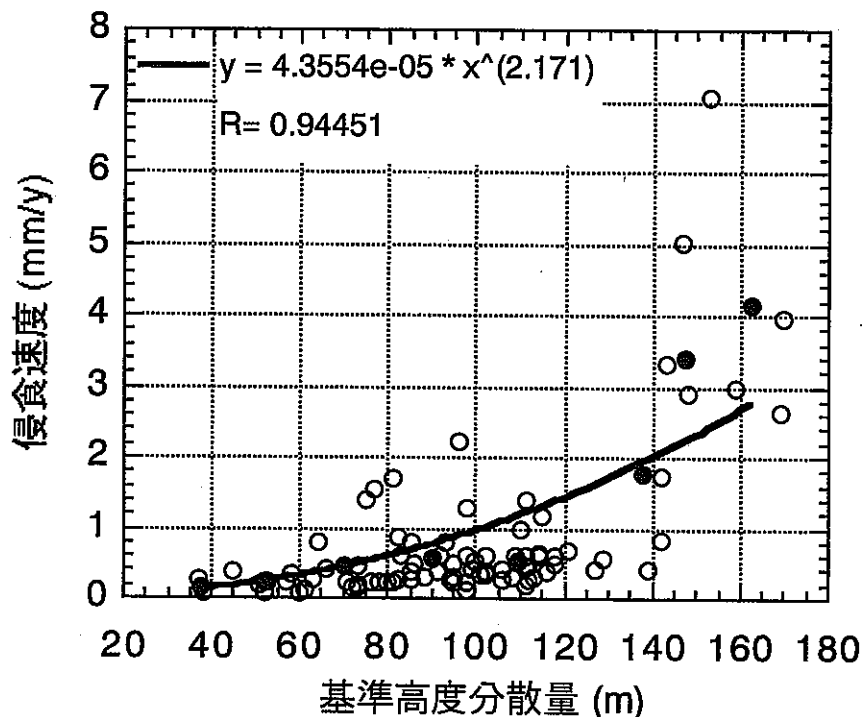


図 4 基準高度分散量と侵食速度との関係

い 120~140m, 150~170m は一括している。図 4 では, この 8 点の黒丸に対する回帰曲線を併せて示している。この結果によれば, 侵食速度 E は基準高度分散量 D を使って, 下記のように近似できる。相関係数は 0.94 と高い。

$$E = 0.000044 \times D^{2.2} \quad (4)$$

3. 2 地質条件と侵食速度

ダム流域には様々な地質が分布し, 特定の地質で流域を代表することは必ずしも容易ではない。ここではやや強引に, ある一つの地質区分が流域の 7 割以上を占めている場合に, その地質区分で流域を代表させることにした。このようにして 59 のダム流域において, 流域を代表する地質区分が決まった (表 2)。

地質が侵食速度にどの程度影響を与えているかを推定する 1 つの方法として, この 59 個のデータを用いて, 地質区分毎に侵食速度と基準高度分散量の関係を解析した (図 5)。データ数が少ないので正確なことは言えないが, 侵食速度は地質に依らず基準高度分散量の増加とともに急激に大きくなっている。しかもデータは全体として右上がりの直線的な分布を示し, 侵食速度の増加傾向はどの地質でもほぼ同じであり, 特定の地質区分で大きくずれることはない。このことは, 侵食速度が地質よりもむしろ基準高度分散量に大きく依存していることを示し

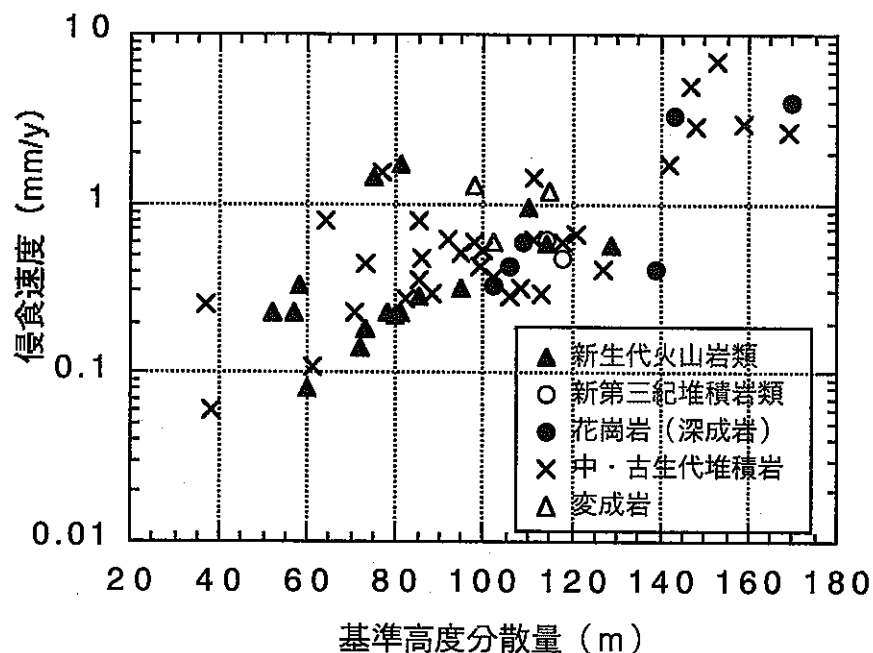


図 5 地質区分毎にみた侵食速度と基準高度分散量の関係

縦軸が対数になっていることに注意。どの地質区分でもデータは全体として右上がりの直線的な分布を示し, 侵食速度が地質よりも基準高度分散量に大きく影響されていることを示す。

ている。

一般に、ある領域の侵食され易さには地形を造る地質の違いが影響すると考えられ、これはロックコントロール¹⁶⁾と呼ばれる。しかし、ダム流域のような数十から200~300km²程度の領域の平均的な侵食速度を考慮する際には、ロックコントロールは殆ど現れないか、あってもごく小さいと想定される。

3. 3 降水条件と侵食速度

降水量・降水強度と侵食速度の関係を、82箇所のダムについて図6に示す。降水量・降水強度と侵食速度の間にはほとんど相関が見られない。

世界的な観点で見ると、侵食速度は降水量と植生密度とによって変化する¹⁾。降水量が非常に少ない所では植生が無く侵食抵抗力が小さいが、表面流も発生しにくく侵食速度は小さい。一方、降水量の多い所では植生が繁茂して侵食抵抗力が大きく表面流が発生しにくく、降水量の割に侵食速度は大きくなる。日本列島の山地のように植生密度が高い地域では、降水量による侵食速度の差は現れにくいと想定される。

また、個々の降雨イベントによる短期間の侵食速度は、降雨強度に依存するこ

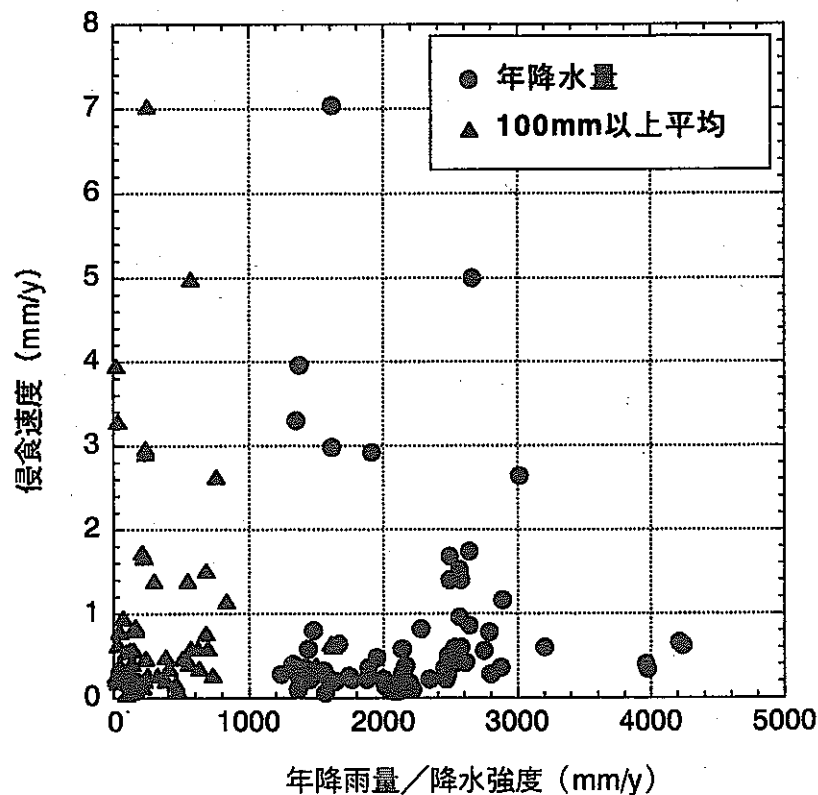


図6 降水量・降雨強度と侵食速度との関係

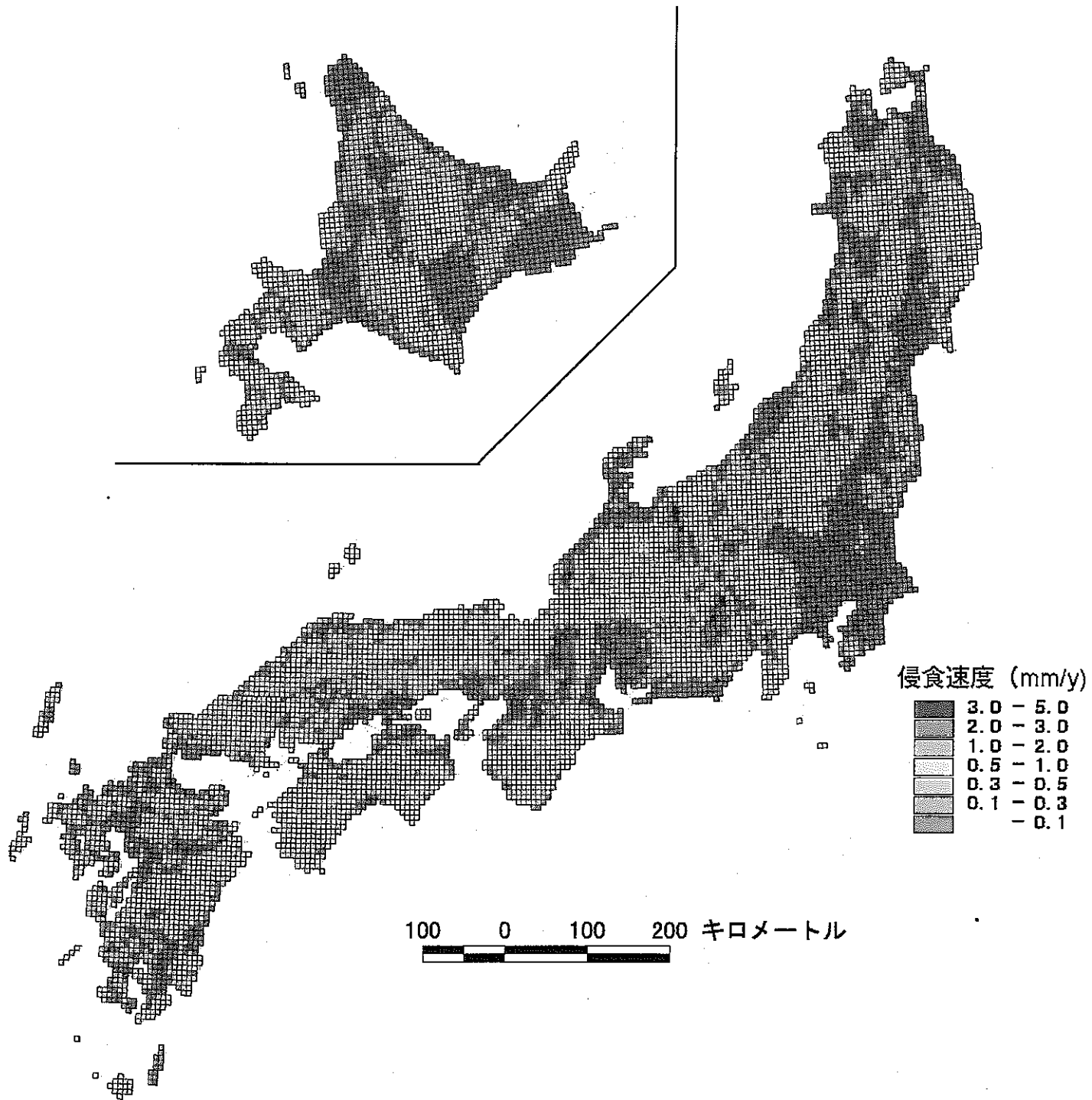


図7 基準高度分散量から計算した全国の侵食速度の分布

メッシュサイズは6 km×6 km。地形データは、国土地理院発行の「数値地図50 mメッシュ(標高)・日本I(北海道)、日本II(東日本)、日本III(西日本)」を使用。

とが知られている¹⁷⁾などが、数十年間の平均値のような長期的な侵食速度は、降雨量や降雨強度とは相関が低いと想定される。

3.4 侵食速度の分布

上記のことから、侵食速度を式(4)を用いて基準高度分散量から近似値に求めることの妥当性が示された。ところで、2.5節で作成した1kmメッシュの高度分散量の分布から、全国の1kmメッシュの侵食速度分布図を描くことは可能ではあるが、それには問題がある。すなわち、1kmメッシュの基準高度分散量をそのまま式(4)に代入すると、経験上、侵食速度がダム堆砂量から推定される値に対して過剰見積もりになる傾向がある。侵食速度と基準高度分散量は、数十km²のエリアにおいて良い相関を持つとされる^{3), 18)}。そこで、2.5節で作成した36km²メッシュの基準高度分散量分布図に基づいて侵食速度の分布図を作成した(図7)。

CD-ROM版では、高度分散量や侵食速度の分布をDEMなどと重ね合わせ表示する際の便利さ、視覚的な捉えやすさを考慮して、侵食速度等値線図と高度分散量等値線図を作成した。侵食速度等値線図は、まず、6×6kmのメッシュで作成した侵食速度分布図をもとに、2×2kmメッシュの空間内挿(スプラインを適用)を行い、グリッドデータを作成した。次に、0.2mm/yごとにコンタリングを行い、シェープファイル(ライン)を作成した(図8)。高度分散量等値線図も同様に、6×6kmメッシュの高度分散量分布図をもとに2×2kmメッシュの空間内挿を行い、10mごとにコンタリングを行った(図9)。

侵食速度は中部山岳地帯で最も大きく、1mm/yを越える地域がかなりあり、山地の中心部では2~3mm/yの値を示す地域に囲まれて、5mm/yに達する地域がわずかながら認められる。これに次いで侵食速度が大きいのは、日高山脈、東北日本の背孤側の山地列、関東山地、西日本の前孤側の山地である。これらの山地でも中心部では1~2mm/yの値を示す地域に囲まれて、2~3mm/yの値を示す地域が認められる。

一方で、侵食速度が小さいのは、北海道中央部から北部、東北日本の太平洋側の山地、中国地方の山地である。これらの山地の侵食速度は、1mm/yを越えることはまれで、一般に0.3~0.5mm/y未満である。丘陵部や平野はさらに小さな値となっている。

3.5 侵食速度と第四紀の隆起速度

個々の山地を1つの隆起地塊とみなして、各山地ごとに基準高度分散量の平均値を求め、この値から各山地の平均の侵食速度を求めた(図10)。山地の範囲は、一般的にいわれている範囲を既存資料¹⁹⁾から求めた。各山地毎の地形データや



図8 基準高度分散量から計算した侵食速度等値線図

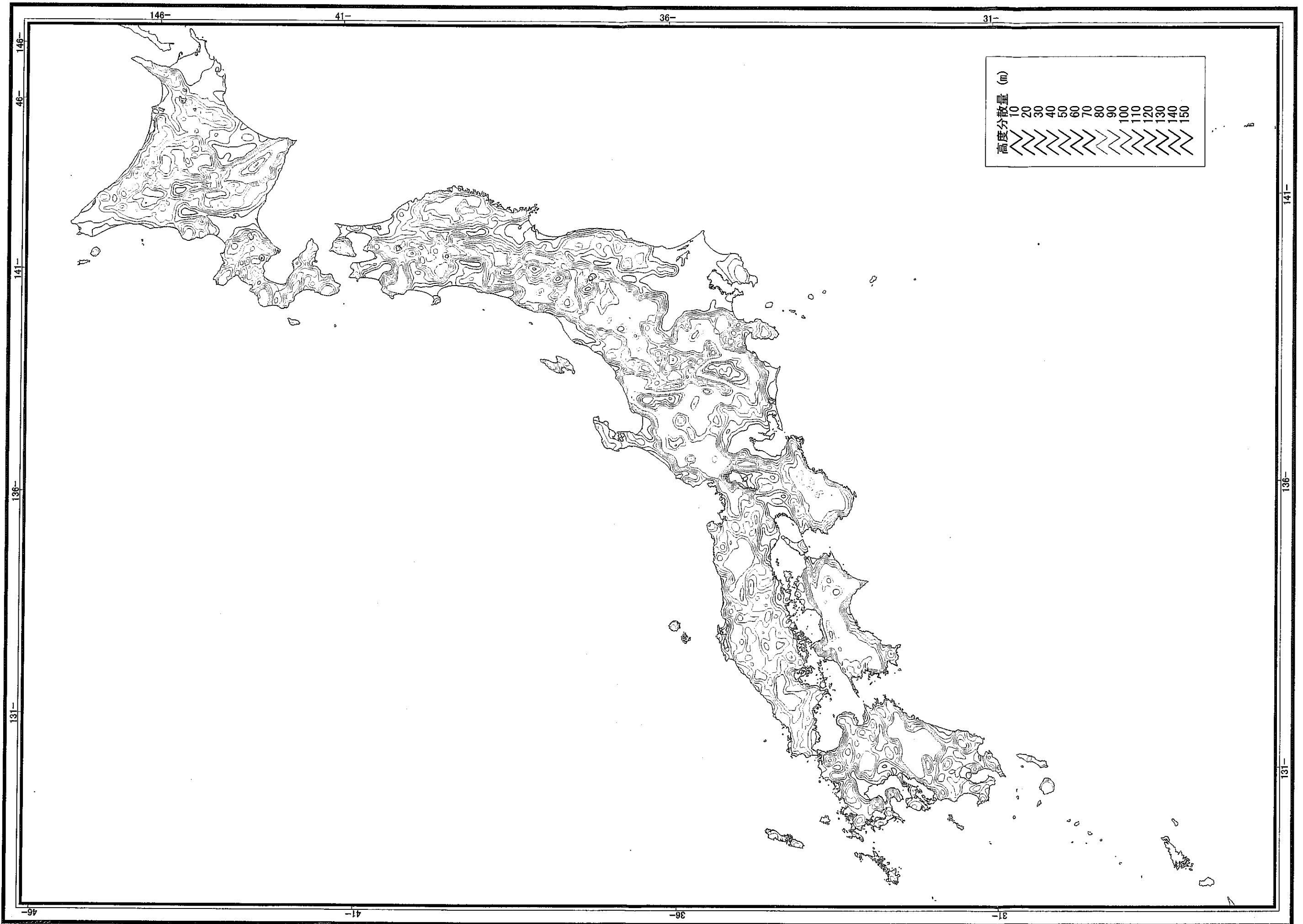


図9 基準高度分散量等値線図

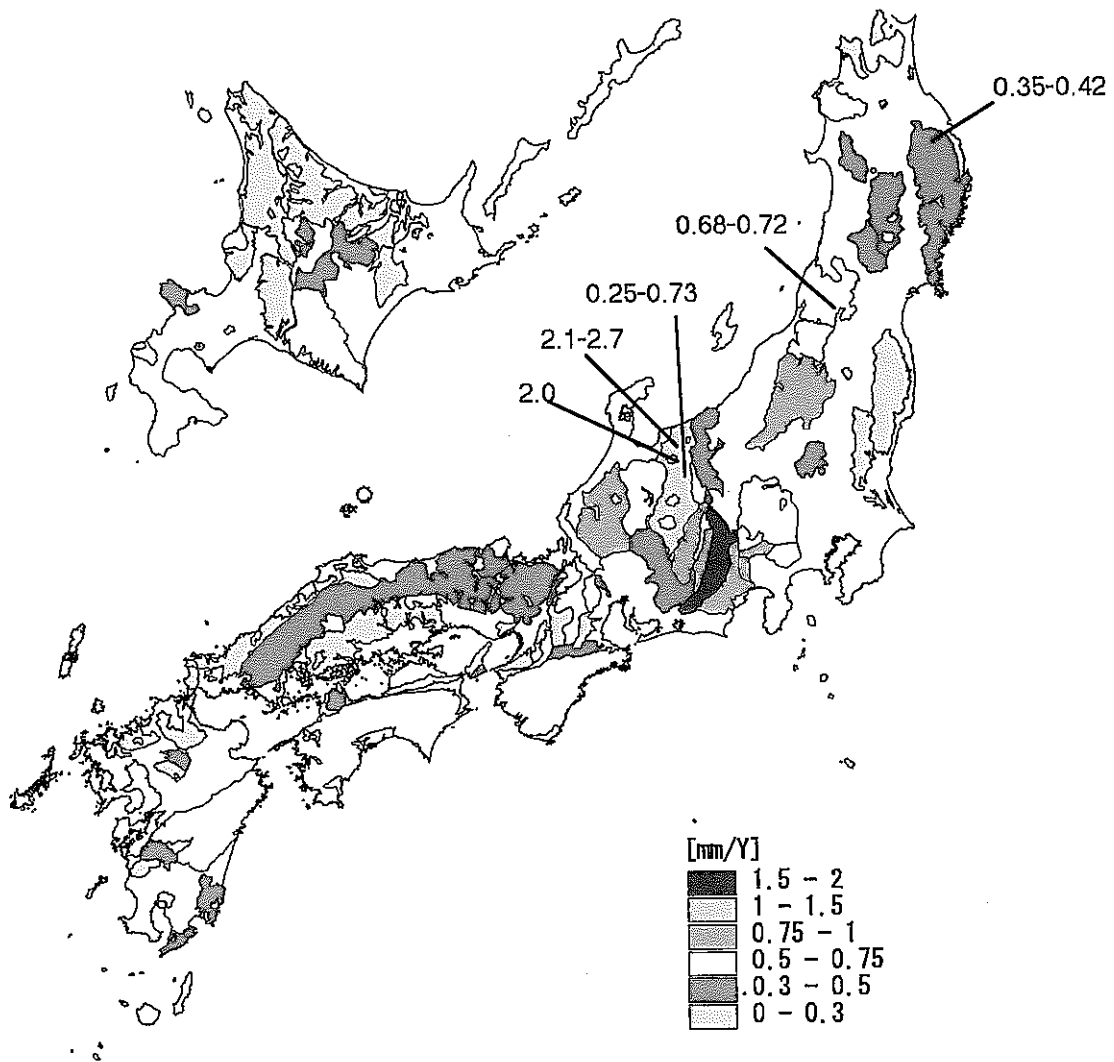


図 10 基準高度分散量から求めた山地毎の平均侵食速度

侵食速度を表 3 に示した。

大きな特徴は、中部日本を横切る糸魚川－静岡構造線の西側に沿って侵食速度の大きいベルトが存在すること、東北日本と西南日本では背弧側（内帯）と前弧側（外帯）での侵食速度の対称が明瞭なことである。

このような侵食速度の地域による違いを生じた原因は何であろうか。侵食速度を計算する元になった基準高度分散量は、平均高度と相関が高いことが経験的に知られている³⁾。この関係を「数値地図 50m メッシュ（標高）日本 II，III」を使って改めて定式化した。これらの数値地図がカバーする範囲は北海道を除く日本全体である。

ここでは、2.5 節で求めた 1 km メッシュの平均標高と基準高度分散量について、後者の区間平均を求めた（図 11）。図 11 にプロットされている点は、平均標高を 25m ごとの区間に区切り、各標高区間に含まれる基準高度分散量を平均した値である。図 11 に示した回帰曲線は、日本における地形の一般的な傾向を表すと考えられ、平均標高（ H ）と基準高度分散量（ D ）には次式で表される強い

相関 (R = 0.99) がある。平均標高が高いところで基準高度分散量がばらつくのは、データ数が少ないためである。

$$D = 3.9645 H^{0.4458} \quad (5)$$

したがって、侵食速度は高度分散量を介して、山地の平均標高と相関が高いと解釈される。平均標高は主に第四紀以降の隆起量を反映しているとされる^{20), 21)}ので、山地の侵食速度は従来から指摘されているように³⁾、第四紀の隆起量(隆起速度)と相関していると考えられる。

糸魚川-静岡構造線の西側は、第四紀に日本列島で最も隆起が大きかった地域である^{20), 22)}。東北日本では、前孤側が安定であるのに対して、背孤側は約350万年前以降、褶曲や逆断層による隆起が続いている²³⁾。西南日本は、準平原的な地形を広く残す内帯側に対して、外帯側は中部山岳地域に次ぐ急傾斜山地であり²⁴⁾、相対的に隆起速度が大きいことが推定される。このように日本列島の侵食速度の分布は、大局的には第四紀の隆起速度に規制されている。

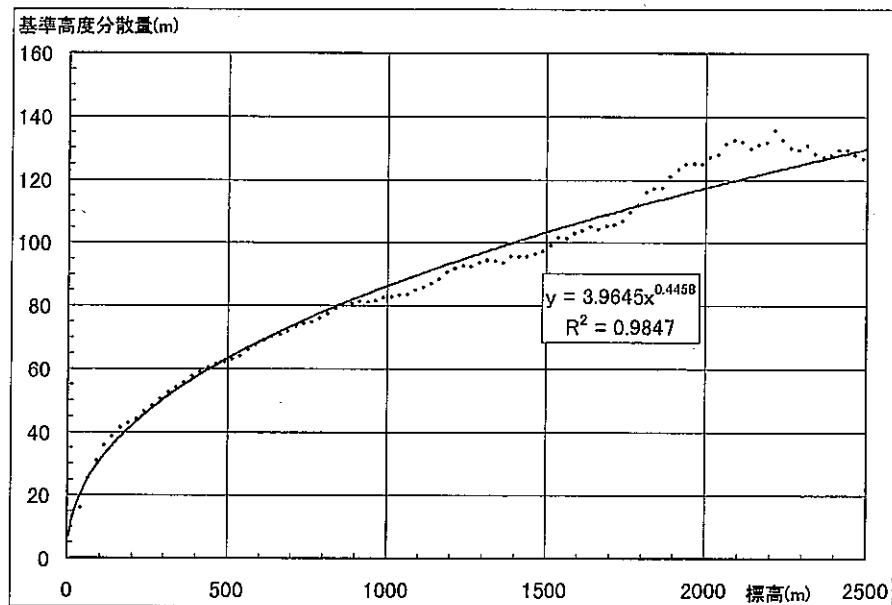


図 11 平均標高と基準高度分散量の関係

3. 6 長期的な侵食速度との比較

図 10 には、扇状地などの体積から推定した千年から万年オーダーの侵食速度を北上高地²⁵⁾、奥羽山脈南部¹³⁾、松本盆地西縁²⁶⁾について示した。また、河岸段丘や熔岩台地の比高から求めた河川の下刻速度を、飛騨山脈北部²⁷⁾、飛騨山脈中央部²⁸⁾について示した。

これらの値と基準高度分散量から推定された値とは、対象とする期間や算定方法が異なるにも関わらず比較的近い値を示している。このことから、図 7、図 8、図 10 は長期的な侵食速度の分布傾向をも示していると考えられる。

4. まとめ

本研究で得られた結果は、以下のように要約される。

- ① ダム流域で地形、地質、降水量と流域の侵食速度の関係を検討した結果、数十 km² 程度のエリアの平均的な侵食速度は、基準高度分散量をパラメータとして定式化できる。
- ② この式を元に数値地図を用いて、全国の 6 km×6 km メッシュの侵食速度分布図を作成した。
- ③ 最も大きな侵食速度は、日本で最も平均標高の高い中部山岳地帯で認められ、中心部では 3~5mm/y に達する。
- ④ 他に大きな侵食速度を示すのは、日高山脈、東北日本の背孤側および西南日本の外帯の山地列で、山地中心部で 2~3mm/y の値が認められる。
- ⑤ 小さな侵食速度を示すのは、西南日本の内帯と東北日本の前孤側の山地列、および北海道中部から北部の山地で、その値は一般に 0.3~0.5mm/y 未満である。
- ⑥ 侵食速度の分布の地域性は、各地の地形の起伏を形成した第四紀の隆起量（速度）を反映している。

5. CD-ROM の内容と使用法

CD-ROM に収めたデータは以下のとおりである。

- ① GIS ソフトウェア ArcView 用プロジェクトファイル
- ② 侵食速度分布図用 GIS ファイル

5. 1 CD-ROM の使用法

CD-ROM には ¥erosion_gis ディレクトリ下に、以下のファイルを格納している。なお、ファイル構成は以下の 5.3 節で説明する。

- ・ read_me.txt （現在参照のファイル）
- ・ digital_basemap.apr （ArcView 用プロジェクトファイル）
- ・ ¥gis_f （GIS 用ファイルが格納されているディレクトリ）

侵食速度分布図を参照する場合、ESRI 社製 GIS アプリケーションソフト ArcView が稼働する PC において、CD-ROM 内の ArcView 用プロジェクトファイル

digital_basemap.apr を開く。アプリケーションソフトの使用方法は ArcView ユーザーズ・ガイド参照を参照のこと。

5. 2 GIS ソフトウェア ArcView 用プロジェクトファイル

ArcView 用プロジェクトファイル digital_basemap.apr には以下の情報をレイアウトしている。

項目	ファイル形式	参照ファイル名
・高度分散量 (6×6km)	ポリゴン	sta36.shp
・侵食速度 (6×6km)	ポリゴン	sta36.shp
・高度分散量等値線 (2×2km)	ポリライン	std.shp
・侵食速度等値線 (2×2km)	ポリライン	std.shp
・20 万分の 1 地勢図区画	ポリゴン	indx20man.shp
・海岸線	ポリゴン	japan.shp

レイアウトビューの投影法は UTM (ユニバーサル横メルカトル) 座標系 53 帯としているが、投影法は使用者の任意で変更することができる。

5. 3 侵食速度分布図用 GIS ファイル

CD-ROM に収められている GIS ファイルは、¥erosion_gis¥gis_f ディレクトリに以下のように収められている。

avl	leg_erosion_cont.avl	侵食速度等値線用凡例
	leg_erosion_poly.avl	侵食速度用凡例
	leg_std_cont.avl	高度分散量等値線用凡例
	leg_std_poly.avl	高度分散量用凡例
basemap	indx20man.shp(.shx, .dbf)	20 万分の 1 地勢図区画
	japan.shp(.shx, .dbf)	海岸線
contour	erosion.shp(.shx, .dbf)	侵食速度等値線図
	std.shp(.shx, .dbf)	高度分散量等値線図
mesh	sta36.shp(.shx, .dbf)	36km ² メッシュ平均標高, 高度分散量, 侵食速度分布

36km² メッシュの高度分散量分布図と侵食速度分布図は、同一のファイル (sta36.shp) からなるが、これは sta36.shp の属性値として両方を与えている

ためである。

sta36.shp が保持する属性は以下のとおりである。

- | | |
|-------------|----------------|
| ・ Longitude | 各ポリゴンの中心座標（経度） |
| ・ Latitudo | 各ポリゴンの中心座標（緯度） |
| ・ Alt_av | 平均標高 |
| ・ std | 高度分散量 |
| ・ Erosion | 侵食速度 |

degital_basemap.apr にレイアウトされていない平均標高についても ArcView 上でテーマ sta36.shp を追加し、凡例エディターで分類フィールドで Alt_av を選択することによって表示可能となる。

表1 各ダムの侵食速度に関するデータ

ダム名	基準高度分 散量 (D)	侵食速度 (E)	D: 20m区 間平均	E: 20m区 間平均	年降水量 m	100mm 以上平均	堆砂量計測期間 (西暦)	降水量計測期間 (西暦)
	m		m	mm/年		mm/年		
外山	37.0	0.25			1370	9.7	1943-1990	1961-1990
帝釈川	38.0	0.06	37.5	0.155	1563.3	92	1924-1990	1961-1990
岩瀬	45.0	0.36			2451	405.5	1967-1990	1969-1990
来島	51.0	0.18			2113.8	113.9	1956-1990	1961-1990
木都賀	52.0	0.23			2123.3	159.4	1981-1990	1966-1990
湯原	52.0	0.08			2070.1	112.6	1954-1990	1961-1990
佐々波川	57.0	0.23			1879.4	211.9	1959-1990	1961-1990
森吉	58.0	0.33	52.5	0.235	1614	30	1953-1992	1966-1992
高暮	60.0	0.08			2113.8	113.9	1949-1990	1961-1990
北川	61.0	0.11			2212.1	466.3	1962-1990	1962-1990
周布川第一	63.0	0.26			1736	132.2	1961-1990	1961-1990
大夕張	64.0	0.8			1479.3	42.2	1959-1990	1961-1990
新豊根	66.0	0.4			2000.2	206.9	1973-1990	1974-1990
綾南	71.0	0.23			2467.5	370.5	1958-1990	1961-1990
八戸	72.0	0.14			1769.8	118.7	1958-1975	1961-1975
日向神	73.0	0.18			2183.6	454.6	1959-1990	1961-1990
芦別	73.0	0.44			981.4	22.7	1953-1990	1961-1990
立岩	73.0	0.15			2007.3	204.8	1939-1990	1961-1990
三浦	75.0	1.41			2484.3	285.6	1945-1990	1961-1990
夏瀬	76.0	0.22			1674	32	1940-1992	1961-1992
穴内川	77.0	1.53			2566.5	673.3	1964-1986	1965-1986
秋神	78.0	0.23	70.4	0.441	1763.7	59.8	1953-1990	1961-1990
佐波川	80.0	0.22			2000.8	170.6	1955-1990	1961-1990
馬瀬川第二	81.0	1.69			2488.8	210.4	1976-1992	1976-1992
富村	81.0	0.23			1083	40	1978-1992	1978-1992
七川	82.0	0.27			3885.9	1265.1	1956-1990	1961-1990
高坂	82.0	0.87			2631.6	156.2	1967-1990	1967-1990
高根第一	83.0	0.59			2133.7	115.7	1969-1990	1969-1990
目黒	85.0	0.28			1233.9	13.1	1959-1988	1961-1988
渡川	85.0	0.78			2786.8	675.5	1955-1990	1961-1990
有峰	85.0	0.36			1883.3	34.4	1959-1990	1961-1990
二川	86.0	0.48			1946	228.8	1966-1990	1968-1990
蔵山	88.0	0.29			2143.5	307.7	1957-1990	1961-1990
高逸	91.0	0.37			1408.7	45.6	1958-1986	1964-1986
鏡	92.0	0.61			2574.4	692.1	1966-1990	1967-1990
九頭竜	93.0	0.81			2715.1	98.2	1968-1990	1977-1990
荒沢	94.0	0.28			2469.9	123	1955-1990	1961-1990
森波里	95.0	0.32			1892.6	118.6	1970-1990	1975-1990
萩形	95.0	0.23			1450.6	43.8	1966-1990	1975-1990
鏡北	95.0	0.51			2480.6	370.5	1960-1990	1961-1990
黒又川第一	96.0	2.22			2875	17	1958-1992	1965-1992
幌満川第3	98.0	0.1			1360.8	153.2	1949-1990	1961-1990
笹生川	98.0	0.6			3206	560.5	1957-1990	1961-1990
室牧	98.0	0.23			2337.3	55	1961-1990	1961-1990
大森川	98.0	1.3			2877.8	833.3	1959-1990	1961-1990
踏塚	99.0	0.42	90	0.586	2615.5	544.5	1961-1990	1961-1990
下久保	100.0	0.53			1123	117	1968-1992	1969-1992
三瀬谷	101.0	0.34			3973.1	1570.9	1966-1992	1966-1992
正木	102.0	0.37			2874.8	623.6	1978-1992	1978-1992
木地山	102.0	0.33			1549.2	31.8	1960-1990	1961-1990
松尾川	102.0	0.59			1433.7	143.6	1953-1990	1961-1990
立花	106.0	0.28			2796	728	1963-1990	1965-1990
八久和	106.0	0.43			2537.6	120.3	1957-1990	1961-1990
一ツ瀬	108.0	0.32			2869.2	740.9	1963-1990	1965-1990
広瀬	109.0	0.59			1117	76	1974-1992	1976-1992
刀利	110.0	0.97			2562.1	57.1	1966-1990	1970-1990
魚染瀬	111.0	0.62			4236.3	1617.6	1965-1990	1965-1990
上権葉	111.0	1.41			2579.3	532	1955-1990	1961-1990
相俣	111.0	0.2			1638.3	27	1959-1991	1962-1991
深山	111.0	0.46			1452	67	1973-1992	1976-1992
早出川	112.0	0.47			2062	12	1979-1992	1982-1992
矢木沢	112.0	0.26			1684.3	46.2	1965-1990	1980-1990
小河内	113.0	0.29			1546.9	239.6	1957-1990	1961-1990
笠堀	114.0	0.61			2639	51	1964-1992	1966-1992
神代	114.0	0.64			1664	26.2	1940-1988	1961-1988
長沢	115.0	1.17			2887.3	820.2	1949-1990	1961-1990
二居	116.0	0.38			2158.6	43	1978-1992	1978-1992
柿元	118.0	0.48			2479.9	500.8	1945-1990	1964-1990
名坂	118.0	0.6	109.65	0.537	2519.2	616.9	1961-1990	1961-1990
小見野々	121.0	0.67			4218	1594.5	1968-1991	1968-1991
坂本	127.0	0.41			3964.3	1482.7	1962-1990	1962-1990
犀川	129.0	0.56			2754.4	89.9	1966-1990	1966-1990
奥新冠	139.0	0.41			1323.5	33.3	1963-1990	1963-1990
大白川	142.0	1.74			2636.4	203.6	1963-1990	1964-1990
奈川渡	142.0	0.83			2270.2	156	1969-1990	1971-1990
黒部第四	143.0	3.31			1354.6	20.8	1961-1990	1961-1990
井川	147.0	5.01			2666	562	1957-1992	1961-1983
水窪	148.0	2.92	137.56	1.762	1916.9	223.7	1969-1990	1969-1990
畑窪第二	153.0	7.04			1616	242	1961-1992	1962-1992
扇畑	159.0	2.98	147.71	3.404	1608.1	228	1967-1982	1967-1982
畑窪第一	169.0	2.65			3014.3	755.6	1962-1990	1962-1990
高瀬	170.0	3.96	162.75	4.158	1369.7	18.6	1979-1992	1979-1992

表2 各ダムの流域内に占める地質区分の面積率

ダム名	地質区分占有率(%)				
	新生代火山岩類	新第三紀堆積岩類	花崗岩(深成岩)	中・古生代堆積岩	変成岩
富村ダム	78.59	0.00	0.55	20.84	0.00
芦別ダム	13.79	0.00	0.00	86.20	0.00
大夕張ダム	23.80	0.36	0.00	75.47	0.00
奥新冠ダム	0.00	0.00	87.30	7.88	4.79
巨摩ダム	84.53	12.23	1.37	1.08	0.00
素波里ダム	92.41	6.22	0.00	0.00	0.00
森吉ダム	94.14	0.00	1.96	0.87	0.00
外山ダム	0.00	0.00	0.36	99.63	0.00
神代ダム	96.25	0.00	3.47	0.00	0.00
八久和ダム	12.08	1.13	85.86	0.00	0.00
木地山ダム	0.00	0.00	100.0	0.00	0.00
笠瀨ダム	10.08	83.54	6.37	0.00	0.00
黒部ダム	13.87	0.00	77.53	7.30	0.00
高瀬ダム	7.04	0.00	91.18	0.93	0.00
有峰ダム	0.00	0.00	3.75	89.93	0.00
刀利ダム	83.58	14.24	0.00	0.00	0.00
犀川ダム	84.94	13.93	0.00	0.00	0.00
下久保ダム	1.65	0.00	0.00	97.78	0.00
大白川ダム	2.76	0.00	5.43	91.80	0.00
秋神ダム	92.16	0.00	0.00	6.74	0.00
広瀬ダム	0.46	0.00	96.02	3.51	0.00
三浦ダム	97.06	0.00	0.00	0.00	0.00
小河内ダム	0.00	0.00	18.80	80.39	0.00
菅生川ダム	0.53	0.00	5.00	92.00	0.00
馬瀬川第二ダム	99.99	0.00	0.00	0.00	0.00
畑窪第一ダム	0.00	0.00	0.00	99.39	0.00
雨畑ダム	12.67	0.00	0.00	86.66	0.00
神元ダム	0.00	77.52	22.47	0.00	0.00
畑窪第二ダム	0.00	0.00	0.00	93.05	0.00
水窪ダム	0.00	0.00	0.00	99.41	0.00
高暮ダム	70.08	7.59	21.98	0.00	0.00
帝釈ダム	0.41	1.85	16.03	81.69	0.00
八戸ダム	74.67	3.65	21.64	0.00	0.00
木都賀ダム	72.47	0.00	14.31	0.00	13.19
佐波川ダム	72.55	0.00	0.00	27.05	0.00
佐々波川ダム	89.82	0.00	5.24	3.14	0.56
二川ダム	3.42	0.00	0.00	93.59	2.96
坂本ダム	23.72	0.00	0.00	72.54	0.00
松尾川ダム	0.00	0.00	0.00	0.00	98.03
正木ダム	0.36	0.00	0.00	99.62	0.00
蔵山ダム	0.00	0.18	0.00	99.03	0.00
名頃ダム	9.72	0.00	0.00	90.27	0.00
小見野々ダム	0.00	0.00	0.00	99.74	0.00
長沢ダム	0.00	0.00	0.00	1.36	96.59
大森川ダム	0.00	0.00	0.00	0.00	93.42
七川ダム	0.00	9.42	0.00	88.95	0.00
穴内川ダム	4.17	0.00	0.00	94.04	0.00
魚梁瀬ダム	0.00	0.00	0.00	97.78	0.00
鏡ダム	0.39	0.00	0.00	99.60	0.00
日向神ダム	73.33	0.00	0.00	0.00	24.93
北川ダム	11.76	2.76	0.00	84.79	0.00
諸塚ダム	0.00	0.00	0.00	100.0	0.00
上権葉ダム	0.00	0.00	0.51	98.26	0.00
一ツ瀬ダム	1.63	0.94	2.99	92.93	0.00
渡川ダム	0.00	0.00	0.00	98.67	0.00
緋北ダム	0.00	0.00	0.00	99.54	0.00
立花ダム	5.16	0.00	0.00	94.83	0.00
纒南ダム	14.25	0.00	0.00	84.63	0.00
井川ダム	1.45	0.00	0.00	96.29	0.00

表3 山地ごとの地形量および侵食速度

山地名	面積 (km ²)	平均標高 (m)	高度分散量 (m)	侵食速度 (mm/y)
夕張山地	3341.9	385	51.8	0.260
白糠丘陵	1869.8	306	41.0	0.156
積丹山地	936.9	351	68.5	0.481
日高山地	6100.5	564	83.1	0.735
狩場山地	476.7	491	79.7	0.672
恐山山地	539.7	227	52.1	0.263
白神山地	1776.4	437	72.6	0.546
北上山地 (高地)	8220.4	474	59.7	0.355
太平山地	1199.7	382	65.5	0.436
真屋山地	3134.4	471	60.4	0.364
神室山地	1588.1	486	67.1	0.459
朝日山地	4264.3	488	69.9	0.503
阿武隈山地	5014.6	432	38.0	0.132
越後山地	5962.6	831	83.9	0.751
築摩山地	2601.2	784	69.5	0.496
八溝山地	1903.1	253	35.4	0.113
飛騨山脈	5179.0	1317	106.1	1.260
足尾山地	1150.1	461	64.6	0.423
飛騨高地	3610.5	864	77.7	0.634
両白山地	4884.1	694	91.0	0.899
秩父山地	4793.4	829	76.8	0.618
伊吹山地	1310.0	464	79.5	0.668
木曾山脈	1967.3	1188	85.8	0.788
赤石山脈	3190.7	1291	119.4	1.631
美濃三河高原	3750.2	547	60.3	0.363
伊那山地	838.4	930	90.2	0.880
丹沢山地	945.5	650	80.8	0.676
鈴鹿山脈	705.4	505	74.3	0.576
笠置山地	997.7	337	40.9	0.155
六甲山地	237.3	340	49.2	0.232
和泉山脈	564.0	242	44.5	0.186
紀伊山地	8683.8	441	77.6	0.633
諭鶴羽山地	154.1	202	57.8	0.330
讃岐山脈	755.9	403	73.4	0.560
耳納山地	508.9	501	64.9	0.428
筑肥山地	512.7	331	54.2	0.287
鱒塚山地	1236.5	271	57.9	0.332
肝属山地	589.1	333	66.6	0.452
飯豊山地	1917.5	539	77.2	0.625
津軽山地	794.0	180	43.4	0.176
天塩山地	7630.5	214	34.6	0.107
増毛山地	1380.6	248	46.1	0.202
御坂山地	481.8	866	88.3	0.842
身延山地	2152.1	558	88.7	0.849
天守山地	352.6	653	90.3	0.884
養老山地	176.3	302	61.9	0.384
比良山地	282.6	390	66.9	0.457
布弓山地	638.4	392	50.2	0.243
高見山地	859.1	454	58.4	0.338
生駒山地	244.3	162	28.5	0.070
金剛山地	234.7	290	46.7	0.207
丹波高地	4084.9	331	58.1	0.334
国見山地	936.6	374	56.0	0.308
出水山地	529.9	265	50.3	0.244
九州山地	7859.5	520	78.7	0.652
吉備高原	6044.8	328	47.3	0.213
中国山地	13992.0	490	63.4	0.405
丹後山地	977.4	221	56.7	0.317
高縄山地	499.9	393	59.9	0.358
四国山地	13301.5	500	83.7	0.746
北見山地	9053.0	373	47.4	0.214
石狩山地	3990.7	658	56.0	0.309
野坂高地	971.9	260	71.1	0.522
石見高原	4188.5	257	49.3	0.233
筑紫山地	2799.4	302	53.3	0.277

参考文献

- 1) Ohmori, H.: Erosion rates and their relation to vegetation from the viewpoint of world-wide distribution. Bull. Dept. Geogr. Univ. Tokyo, Vol. 15, p. 77-91, (1983).
- 2) Yoshikawa T.: Denudation and tectonic movement in contemporary Japan. Bull. Dept. Geogr. Univ. Tokyo, Vol. 6, p. 1-14, (1974).
- 3) Ohmori, H.: Relief structure of the Japanese mountains and their stages in geomorphic development. Bull. Dept. Geogr. Univ. Tokyo, Vol. 10, p. 31-85, (1978).
- 4) Tanaka, M.: A map of regional denudation rate in Japanese mountains. Trans. Japan. Geomorph. Union, Vol.3, p. 159-167, (1982).
- 5) 吉良八郎: ダムの堆砂とその防除. 森北出版, 392 pp., (1982).
- 6) 宮崎洋三・大西外明: 貯水池堆砂量の経年変化と比堆砂量に関する考察. 土木学会論文集, No. 497, p. 81-90, (1994) .
- 7) 井上大栄・角田隆彦 他: わが国における地質別の崩壊特性と貯水池堆砂(その1) - 地質から見た崩壊特性 -. 応用地質, Vol. 33, p. 123-132, (1992) .
- 8) 国土地理院: 数値地図 50mメッシュ (標高). 日本 I (北海道), 日本 II (東日本), 日本 III (西日本), CD-ROM 版, (1997, 1999) .
- 9) 藤原 治・三箇智二・大森博雄: 日本列島における侵食速度の分布. サイクル機構技報, No. 5, p. 85-93, (1999)
- 10) 芦田和男・奥村武信: ダム堆砂に関する研究. 京都大学防災研究所年報, Vol. 17-B, p. 555-170, (1974) .
- 11) 芦田和男・高橋 保 他: 河川の土砂災害と対策. 森北出版, 260 pp. (1983).
- 12) 日本ダム協会: ダム年鑑 1992, 1297 pp. (財) 日本ダム協会, (1992) .
- 13) 阿子島 功: 山形県馬見ヶ崎川流域における過去 2 万年間および最近の侵食速度. 地形, Vol. 4, p. 97-106, (1983) .
- 14) 地質調査所: 100 万分の 1 日本地質図第 3 版 CD-ROM 版. 数値地質図 G-1, (1995) .
- 15) 大森博雄・安東尚美: 山地流域の土砂流出に関する降水量と流量のしきい値. 地形, Vol. 3, p. 169-185, (1982) .
- 16) 鈴木隆介: ロックコントロールの研究小史. 地形, Vol. 15, p. 179-201, (1994) .
- 17) 芦田和男・沢田豊明: 山地流域における出水と土砂流出 (20) . 京都大学防災研究所年報, No. 34, B-2, p. 209-220, (1991) .
- 18) Ohmori, H. : Functional relationship between the erosion rate and the relief structure in the Japanese mountains. Bull. Dept. Geogr. Univ.

- Tokyo, Vol. 14, p. 65-74, (1982).
- 19) 環境庁 編：日本の自然環境. 大蔵省印刷局, p. 249 (1982) .
 - 20) 第四紀地殻変動研究グループ：第四紀地殻変動図. 第四紀研究, Vol. 7, p. 182-187, (1968) .
 - 21) 松田時彦・衣笠善博：第四紀テクトニクスの特徴と問題点. 第四紀研究, Vol. 26, p. 251-254, (1988) .
 - 22) 森山昭雄：中部山岳地帯における山地形成の時代性. 米倉・岡田・森山編「変動地形とテクトニクス, p. 87-109, 古今書院, (1990) .
 - 23) Sato, H.: The relationship between late Cenozoic tectonic events and basin development in northeast Japan. Jour. Geophys. Res., Vol. 99, p. 22261-22274, (1994).
 - 24) 貝塚爽平・鎮西清高編：新版日本の自然2「日本の山」. 岩波書店, 277 pp., (1995) .
 - 25) 吉永秀一郎・西城 潔 他：崖錐の成長からみた完新世における山地斜面の削剥特性. 地形, Vol. 10, p. 179-193, (1989) .
 - 26) 小口 高：山地流域の侵食域と堆積域における最終氷期末期以降の土砂移動の量的検討. 地形, Vol. 12, p. 25-39, (1991) .
 - 27) 吉山 昭・柳田 誠：河成地形面の比高からみた地殻変動. 地学雑誌, Vol. 104, p. 809-826, (1995) .
 - 28) 中野 俊：北アルプス, 鷲羽・雲ノ平火山の地質. 火山, Vol. 34, p. 197-212, (1989) .