

## 高原川流域における土砂生産マップの構築

### — 高原川流域の土砂生産特性 —

藤田正治・澤田豊明・堤 大三・志田正雄・伊藤元洋\*

\* 日本工営株式会社

#### 要 旨

著者らは物理機構に基づく土砂生産のモデルを開発し、精度の高い土砂生産量の短期・長期予測および流域全体のモニタリングを可能にしようとしているが、最終的にはこれを土砂生産マップに組み込み、土砂生産量の予測情報、モニタリング情報を提供できるようにしたい。モデルの開発に当たっては、土砂生産特性を十分考慮することが重要であり、本研究では高原川流域を対象にしてそれを検討する。その結果、土砂生産量は斜面の凍結融解と密接な関係にあることがわかった。

**キーワード:** 土砂生産, 凍結融解, 流域土砂管理, 裸地斜面

#### 1. はじめに

流砂系の総合的土砂管理のツールの一つとして、流域内の常時の土砂生産量分布の実態と予測情報を提供する土砂生産マップを構築することが重要である。常時の土砂生産量の実態を知るためには、土砂生産のモニタリングを行う必要があるが、広い流域すべてにわたって精度のよい観測を行うことは容易ではないので、裸地面積率を調べ、裸地からの土砂生産量の経験値や調査結果を使って土砂生産量を求めるような方法がとられている。また、土砂生産の予測に関しては、降雨と様々な規模の侵食現象の関係を統計的に調べるか、数値計算モデルにより推定する手法が用いられている(高橋・中川, 1986; 河村, 1982)。しかし、斜面崩壊などが多発するような異常時ではない常時の土砂生産に関していうと、これまでの手法は本研究で明らかにするように十分正しい方法であるとは言えない。なぜなら、土砂生産プロセスのモデル化に斜面からの土砂の流出プロセスは含まれるが、斜面における風化基岩の土砂化のプロセスが考慮されていないからである。

著者らは、裸地斜面風化基岩の土砂化と斜面から河道への流出プロセスの実態を明らかにするとともに、気象水文条件、地質条件から常時の土砂生産量

を計算する精度の高いモデルの開発を進めている。このモデルを使えば、短期・長期水文気象条件の予測結果を用いた土砂生産量の予測はもちろんのこと、気象水文条件の実績値を使って土砂生産量の間接的なモニタリングも実行することができる。また、このモデルを土砂生産マップに組み込むことによって、正確な情報を提供することのできる土砂生産マップの構築が図れる。

京都大学防災研究所穂高砂防観測所では、神通川上流の高原川流域において、約20年にわたって土砂生産の観測を継続している。このような長期にわたる観測データは、土砂生産の本質的な特性を含んでおり、土砂生産モデルの構築において重要な情報を含んでいる。本研究は、この観測データに基づいて高原川流域の土砂生産特性について検討し、その結果を報告するものである。著者らは、前述したように、裸地斜面の風化基岩の土砂化から斜面から河道への土砂流出プロセスのモデル化を進めている。一つの見方として、風化基岩の土砂化のプロセスが土砂生産プロセスに相当すると考えられるが、これまで土砂生産プロセスは斜面から河道への土砂流出プロセスも含めるのが一般的であると思われるので、ここでもそのような定義に従って用語を用いることにする。

## 2. 観測

### 2.1 概要

京都大学防災研究所穂高砂防観測所では、神通川上流の高原川流域で土砂生産の観測を行っている。高原川流域の流域面積は782km<sup>2</sup>で、Fig.1はその流域を示したものである。この図中のNo.1から11までの地質や勾配が異なる裸地斜面で、1986年から約20年にわたって、生産土砂の採取が4月から11月まで毎週1回行われ、土砂生産量および生産土砂の粒度分布のデータが蓄積されている。採取は木製の箱を用いている。降雨、気温はNo.7, 8, 9の辺りで穂高砂防観測所が観測している。他の箇所では観測していないが、No.1, 2, 3, 4では神岡の気象庁のデータが利用できる。観測裸地斜面の地質、標高、勾配、斜面長、斜面材料の平均粒径、圧縮強度はTable 1に示すとおりである。観測斜面は長さ5m前後の比較的小さな斜面で、勾配は30° から60° 程度である。地質は流紋岩、花崗岩、火山性堆積物、古生層と様々である。Photo 1は、No.1の裸地斜面と観測の様子を示したものである。

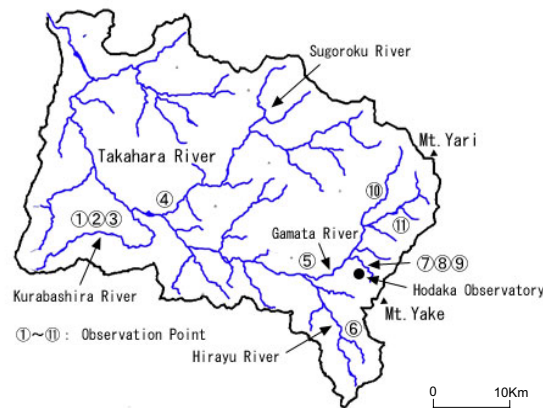


Fig.1 Takahara river basin



Photo 1 Bare slope at No.1 plot

### 2.2 観測結果

土砂生産量の年変化について検討する。Fig.2はNo.1, 2, 3, 6, 7, 8, 9における1986年からの年間土砂生産量の経年変化、年間平均気温、年間最低気温、年間最高気温、年降水量を示したものである。この図から土砂生産量はどの場所でも1990年ごろまで減少し、最近15年間はほぼ一定の値となっている。流域全体にわたってこの傾向が見られることから、人為的な影響によるものとは考えにくく、降雨等の自然的な要因によるものと推察される。この地方では、1979年に洞谷の土砂災害を引き起こした豪雨が発生している。この豪雨により観測対象の裸地が形成されたのか、また、それ以降の活発な土砂生産が10年

もの間継続したのかについては定かではない。しかし、この前後に他の大きな土砂災害がないことを考慮すると、1979年の豪雨の影響が継続し、その後、斜面の安定化に伴って、土砂生産量が小さくなったのではないかと考えられる。また、観測開始当初に比べて、現在の裸地の状態はPhoto 1からも伺えるよう

Table 1 Characteristics of the bare slopes in Takahara river basin

No.	Geology	Elevation (m)	Slope length (m)	Slope angle (°)	Mean grain size (cm)	Compressive strength (kg/cm <sup>2</sup> )
1	Rhyolite	1240	3.4	52	2.4	5.0
2	Rhyolite	1170	4.6	54	4.1	10.5
3	Rhyolite	1060	3.8	50	1.2	3.3
6	Mudstone	1310	6.4	60	2.5	3.8
7	Andesite	1110	3.5	55	10.0	0.9
8	Rhyolite	1230	5.0	42	0.9	0.6
9	Rhyolite	1270	8.7	35	1.7	0.5
11	Granite	1440	5.0	48	2.6	2.8

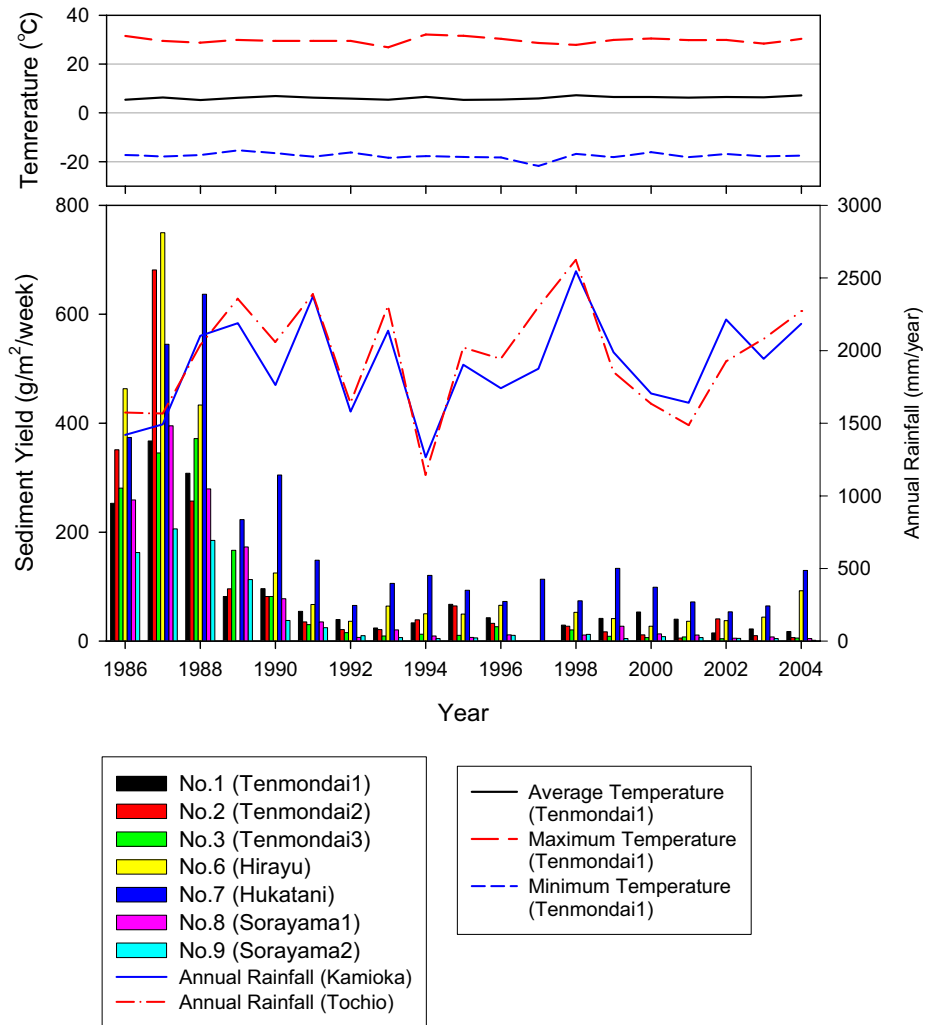


Fig.2 Variation on annual sediment production volume

植生は回復していないものの非常に安定している。そこで、以後、1990年までを不安定期、それ以降を安定期と呼ぶことにする。この図からわかるように、安定期においても土砂生産量は毎年変動する。

年土砂生産量と気温および降水量の関係を見ると、とくに明確に相関はないことがわかる。とくに、年降水量が小さくても不安定期には土砂生産量が多いし、安定期においても年降水量が大きくてもとくに土砂生産量が多いわけでもないし、小さくても他と比べて土砂生産量が多い場合がある。

地質別に土砂生産量を比較すると、古生層 (No.6) や火山性堆積物層 (No.7) の土砂生産量が他より大きい。また、勾配が大きいほど土砂生産量が多くなる傾向も見られる。しかし、気象条件などの外部条件が同じであったとしても、地質、勾配、斜面長、基岩の強度が土砂生産を支配していると考えられ、本観測データだけでは各裸地斜面間の土砂生産量の定量的な比較は難しい。

つぎに、土砂生産量の季節変化について検討する。Fig.3 は月別土砂生産量の1986年から2004年までの平均値を示したものである。同図には、月平均気温、月最大気温、月最低気温、月降水量を同じ期間にわたって平均した値も示されている。また、Fig.4 は安定期 (1990年以降) の月別土砂生産量の平均値をNo.1とNo.7の裸地斜面について示したものである。ここで、季節を春季の凍結融解時、梅雨期、台風期、秋季から冬季の凍結融解期に分けて考えると、Fig.3より、春季の融雪期に土砂生産量が多く、梅雨期、台風期、秋季、冬季へと季節が進むとともに、土砂生産量が減少していることがわかる。もちろん、降雨量は図に示すように6,7,9月に多いが、この時期よりも凍結融解が盛んな春季のほうが土砂生産量は大きい。Fig.4からも同様の变化傾向が見られ、安定期、不安定期にかかわらず春季、梅雨期、台風期、秋季、冬季へと土砂生産量が減少している。斜面崩壊が多発するような豪雨が発生すればこの限りではないが、

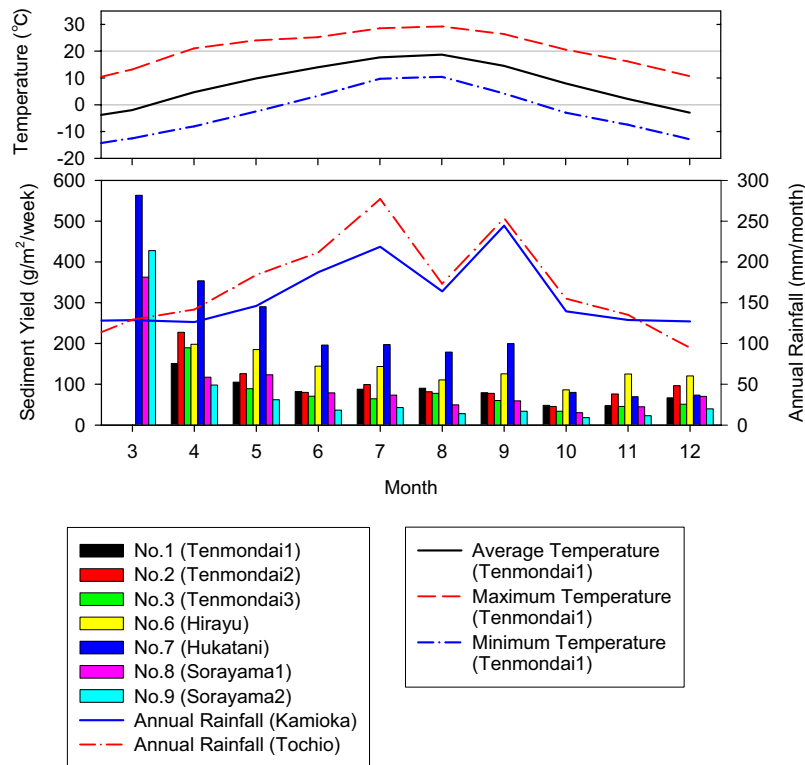


Fig.3 Seasonable change of sediment production volume (Average over 18 years from 1986)

土砂生産量が降雨量に依存しないという事実は、裸地斜面の基岩上の土層条件が季節的に変化していることを示唆するものである。

ついで、3, 4, 5月の春季と11, 12月の冬季を比較すると、Fig.3に示すように気温条件および降雨条件はほぼ同じであるにもかかわらず、春季の土砂生産量が大きい。これは裸地斜面で凍結融解作用を受ける風化基岩の状態が両者で異なるためと想像される。

以上のように、常時の土砂生産は、豪雨による斜面崩壊の発生のような大イベントの後、土砂生産量が減少し安定化していくような長期変化と春季から冬季へと土砂生産量が減少する季節変化の2重構造を持っている。

### 3. 土砂生産特性

#### 3.1 降雨量との関係

2.2では年間または月降雨量と土砂生産量の間を考察したが、ここでは時間降雨強度との関係について検討する。Fig.5は同じ流紋岩からなる裸地斜面のNo.1, 2, 3における月別土砂生産量の平均値と各月の最大時間雨量の関係を安定期（1990年以降）について示したものである。描点は4~5月（春季の凍結融解期）、6~10月（梅雨台風期）、11~12月（冬季の凍結融解期）別に分けられている。以降、それぞ

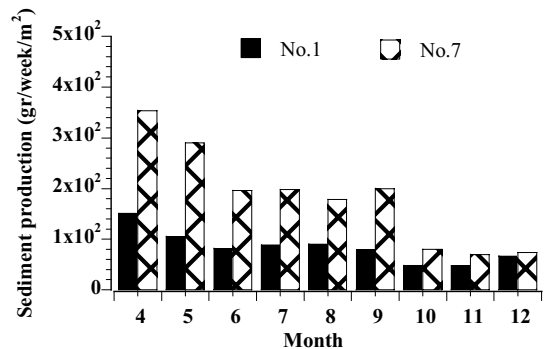


Fig.4 Seasonable change of sediment production rate (Average over 14 years from 1990)

れの期間を春季、雨季、冬季と呼ぶ。この図から、全体的に見ると、必ずしも降雨強度が高いときに土砂生産量が大きいわけではなく、降雨強度と土砂生産量の間には明瞭な相関はないことがわかる。この傾向は他の地質の裸地斜面のデータでも同様であった。藤田ら（2005）も土砂生産には降雨イベントが関係しているが、量的な相関は両者の間では小さいことを示している。

ついで、季節別に両者の関係を考察する。まず、春季は大きな土砂生産はかえって小さい降雨強度のとき起こっている。春季初期には凍結融解作用によって土砂化した材料が斜面に豊富に存在し、この時

期のそれ程大きくない降雨でも多量の土砂が斜面の下方に流出する。冬季は降雨条件が春季とほぼ同じであるが、土砂生産量は春季に比べて小さい。Fig.4からもこの事がうかがえる。これは裸地斜面上の土層が冬季には薄くなっていることを示唆するものである。さらに、気温条件も同様であるので、凍結融解の条件もほぼ同じであると考えられる。それにもかかわらず冬季に土層が薄いと考えられるのは、凍結融解の履歴回数が土砂化に重要であり、単に1回凍結融解現象を経験すれば土砂化するのではないからであると考えられる。雨季においては若干正の相関が見られるが、降雨強度が小さいにもかかわらず土砂生産量が大きい場合がある。また、降雨強度が他よりかなり大きい場合でも土砂生産量は他のデータとほぼ同程度である。これは、雨季における斜面下方への土砂流出量が斜面上の土層の存在状況に強く依存するためであろう。

これらの特性は、斜面風化基岩の土砂化と斜面下方への流出プロセスを反映したものであるので、4.で、この特性から推察される土砂生産のプロセスについて述べる。

### 3.2 凍結融解との関係

Fig.6および7は、No.1, 2, 3の裸地斜面における春季と冬季の平均土砂生産量と平均積算寒度および平均土砂生産量と平均凍結融解回数の関係を示したものである。積算寒度とは対象期間中の0度以下の気温の時間積分値のことである。この図から、春季の土砂生産量は凍結融解回数や積算寒度とともに増加する傾向が見られるが、冬季の凍結融解期には土砂生産量も少ないし、両者の間に相関もあまりない。前述したように降雨条件は両季節でほぼ同じであるが、斜面上の土層や基岩の水分状態、土層の厚さおよび基岩の力学的構造が異なるものと考えられる。とくに、冬季初期には春季から秋季までの侵食によって比較的硬い風化基岩が斜面表面に現れているが、春季には複数の凍結融解事象によりかなり緩んだ力学的に弱い風化基岩が斜面表面を覆っている。このことがFig.6や7のような結果になった理由の一つであると考えられる。

### 4. 土砂生産特性

これまでの観測結果、調査結果および以上のことを総合して考えると、次のような土砂生産プロセスが見出される。

(1) 春季になるとは、冬季からの凍結融解作用の履歴を受けた裸地斜面風化基岩が再度凍結融解作用を

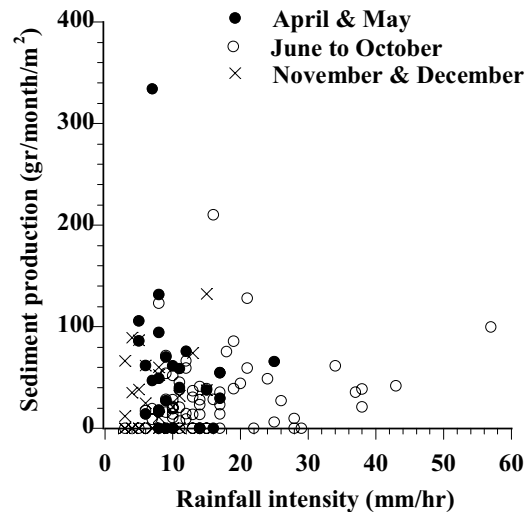


Fig.5 Relation between monthly sediment production rate and maximum rainfall intensity

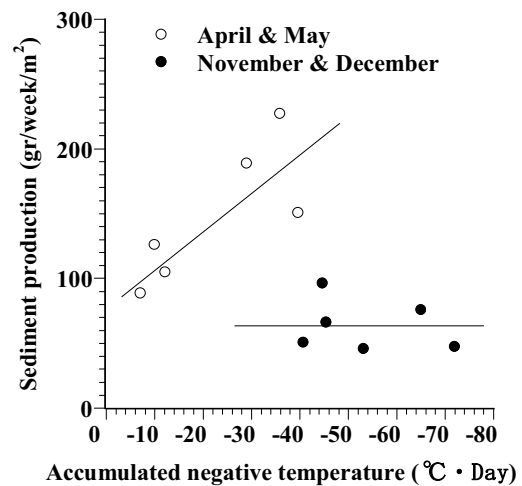


Fig.6 Relation between sediment production rate and accumulated negative temperature

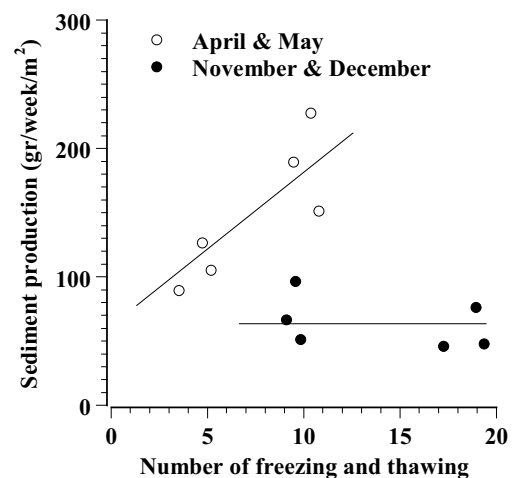


Fig.7 Relation between sediment production rate and number of freezing and thawing

受けるようになり、基岩が土砂化する。したがって、凍結融解回数が多くなると土砂生産量も多くなると考えられる。ただし、積雪で覆われているときは、積雪の断熱効果で凍結融解作用はほとんど起こらない。

(2) 春季の降雨量はそれ程大きくないが、斜面上に土砂が豊富に存在しているため、斜面下方への土砂流出量は年間を通じて最も大きい。他にも、風の影響で土砂が斜面下方に落下することもある。

(3) 梅雨期、台風期には、降雨イベント時に土層の侵食により土砂生産が起こるが、春季にほとんど流出しているので、この時期の土砂生産量は春季より小さい。新たな風化基岩の土砂化は、高降雨強度時に表面流により起こるが、通常は凍結融解作用による量より小さいものと考えられる。

(4) 秋季には斜面にほとんど土層がない状態になり、凍結融解作用で強度の弱くなった風化基岩も表面流によって侵食される。

(5) 冬季、積雪の前、凍結融解作用が始まるが、春季から秋季までの侵食により、強度の弱い基岩がなく、凍結融解による土砂生産は小さい。しかし、気温の低下によって基岩の深部にまで凍結融解作用が進み、繰り返される凍結融解によって基岩の強度が下がる。

(6) 裸地斜面が積雪で覆われると凍結融解作用が緩慢になり、凍結融解作用による基岩強度の低下は一

時的にストップする。

(7) (1)から(6)までが繰り返される。

## 5. おわりに

本研究は、高原川流域の土砂生産マップの構築の第一段階として、土砂生産特性について20年に及ぶ現地観測データに基づいて検討した。得られた成果は4.に整理されているのでここでは省略するが、凍結融解作用による基岩の土砂化のプロセスについては未知な部分も多い。今後、観測を継続し、土砂生産モデルの開発を進めながら、本研究で述べた事項についてさらに検討する予定である。

## 参考文献

- 河村三郎 (1982) : 斜面侵食量の一推定法, 土木学会第 37 回年次学術講演会概要集, 第 2 号, pp.483-484.
- 高橋保・中川一 (1986) : 豪雨性表層崩壊の発生とその生産土量の予測, 水理講演会論文集, 第 30 卷, pp.199 - 204.
- 藤田正治, 澤田豊明, 志田正雄, 伊藤元洋 (2005) : 高原川流域における土砂生産特性, 水工学論文集, 第 49 卷, pp.1075-1080.

## Establishment of Sediment Production Map for the Takahara River Basin — Characteristics of Sediment Production in the Takahara River Basin —

Masaharu FUJITA, Toyooki SAWADA, Daizo TSUTSUMI, Masao SHIDA and Masahiro ITO\*

\* Nippon Koei Co., Ltd.

### Synopsis

We are developing a sediment production map informative for the integrated sediment management. The map based on a sediment production model can be used for predicting and monitoring the sediment production over a watershed. To make the map much more effective, the process of sediment production should be fully introduced into the modeling. In this paper, we have described the characteristics on sediment production based on a long-term observation data in the Takahara river basin. The data have shown the sediment production is dependent on the rainfall events, but the volume is dependent on the freezing and thawing process on the weathered slope. The sediment production processes over a year was described on the basis of observation data.

**Keywords:** sediment production, freezing and thawing, sediment management, bare slope