

平成16年度

自然公園等施設整備委託

中・下流での土砂流出長期変動調査

平成17年3月
神奈川県
東京大学

目 次

1 . 目的と実施内容	1
(1) 目的	
(2) 実施期間	
(3) 実施項目	
(4) 実施体制	
2 . 調査内容	3
(1) 丹沢山地における土砂流出の実態と日本における位置付けに関する調査	
調査方法	3
侵食速度に関する既往研究について	3
侵食速度の算定	3
本調査で使用したデータ	4
比較対象流域の選定	6
侵食速度の経年変化	17
流域面積の取り扱いについて	17
基準高度分散量の算出	17
調査結果および考察	18
丹沢における土砂流出とその経年変化	18
丹沢山地における土砂流出の日本における位置付け	21
(2) 土砂流出の流域内分布と土砂流出の要因に関する調査	
調査方法	24
流域内の土砂流出分布の推定	24
航空写真について	25
航空写真の性質とオルソ化	27
航空写真による堆砂状況の判読	27
本年度の調査対象堰堤	28
調査結果および考察	28
3 . まとめと今後の予定	33
4 . 引用文献	34

1. 目的と実施内容

(1) 目的

本調査の目的は、以下の二つである。

- ・丹沢山地からの土砂流出の実態とその長期変動を明らかにする
- ・丹沢山地において土砂流出を引き起こす要因について検討する

丹沢山地の山地・溪流環境を考える上で、土砂流出の実態を把握することは重要な課題である。特に近年、シカによる食害や、人工林の手入れ不足のために林床の植生が失われることによって、丹沢山地における土壌侵食が加速されることを危惧する声があがっている。

本調査はそれらの問題を直接対象とはしていないが、比較的長期間・広域からの土砂流出の実態とその要因を明らかにすることは、個別の課題を検討していくバックグラウンドとして重要であると言える。

(2) 実施期間

本調査は、平成16年7月から平成18年3月までおよそ二年間実施される予定である。本報告書では、平成17年3月までの成果が中間報告として取りまとめられている。

(3) 実施項目

(1)で示された目的を達成するために、以下のような調査を実施する。

・丹沢山地における土砂流出の実態と日本における位置付け

丹沢を含んだ全国における、ダム堆砂データを中心とした既存資料を整理する。その上で、丹沢山地における土砂流出量がどのような位置付けにあるのかの比較を行う。また、その長期変動についても検討を行う。土砂流出量の比較を行うために、土砂流出量を単位面積あたりの年平均侵食速度に換算し、地形指数によって基準化を行う。

・土砂流出の流域内分布と土砂流出の要因に関する検討

によって明らかとなった、丹沢山地からの比較的長期・広域からの土砂流出について、それらが流域内でどのような分布を示すのかを明らかにする。調査には、航空写真から読み取った砂防堰堤の満砂期間によって求めた、各堰堤流域の土砂流出量を用いる。土砂流出の分布を求めた上で、地形、植生、崩壊地の分布との対応関係を比較し、土砂流出量の分布がどのような要因に支配されているのかを検討する。

(4) 実施体制

本調査は、主に既存資料（ダム堆砂資料、航空写真や数値地図、過去の報告書類など）の解析によって行う。各種資料の収集については適宜事務局と連絡を取りつつ、ほとんどの作業については、東京大学大学院において実施する。必要に応じて、東京大学大学院の学生アルバイトに作業を依頼する。

2. 調査内容

(1) 丹沢山地における土砂流出の実態と日本における位置付けに関する調査

調査方法

丹沢を含んだ全国における、ダム堆砂データを中心とした既存資料を整理する。その上で、丹沢山地における土砂流出量がどのような位置付けにあるのかの比較を行う。また、その長期変動についても検討を行う。土砂流出量の比較を行うために、全国の土砂流出量を単位面積あたりの年平均侵食速度に換算する。また、比較のためには何らかの基準が必要となるが、既往研究のレビューを行い、流域の地形量によって基準化を行うこととした。

侵食速度に関する既往研究について

国土管理や流域管理において地域性を含めた侵食土砂量の広域での推定は重要な課題であり、これまで多くの研究が実施されている。丹沢山地における土砂流出を日本の中で位置づけるためには、土砂流出の実態を明らかにするだけでなく、どのような基準で日本国内の他地域の土砂流出と比較するかを検討を行わなければならない。本調査では、丹沢山地からの土砂流出の大小を示すにあたって、既往研究で提示された、地形量と土砂流出量の対応関係を適用することとした。

多くの既往研究では、侵食土砂の流出はダムの堆砂の問題としてとらえられ、堆砂の現状の把握や、ダムの建設にあたり計画堆砂容量を決定する方法の開発など、貯水池における堆砂量の検討が数多くなされてきた。古い研究では、田中・石外(1951)が、地質と地貌係数(一定面積内に囲まれる領域内の最高点と最低点の差である起伏量の流域内での平均値と、流域内の標高の平均値との積)を用い、江崎(1966)は洪水流入量、河床勾配、崩壊地面積、流域面積、崩壊地の平均勾配を用いて堆砂量の推定を行っている。新しいものでは、河村ら(1997)は河床変動シミュレーションを用い、竹林・廣瀬(1993)は堆砂を確率的な過程としてとらえ、それぞれ堆砂量の予測を行っている。また、近年になると侵食速度を算出する際に用いることができる貯水池データが増加したことや、数値地図などの整備が進んできたことによって、広域を対象とした侵食速度と地形量の対応に関する研究も進みつつある。藤原ら(1999)は1980年代までのダム堆砂量データを用いて全国の侵食速度分布を基準高度分散量(領域内の標高の標準偏差)との対応から全国の侵食速度分布の推定を行った。岡野ら(2003)は田中・石外(1951)の地貌係数の考え方を発展させて考案した起伏度(ある流域の起伏量分布において最頻値よりも大きな起伏量の度数の合計を流域面積で除した値)とダム堆砂量の対応から全国の侵食速度分布を推定している。

流域の地形量は、数値地図から容易に算出できるため、流域間の比較を行う際に有効な基準であると言える。本調査では、そのうち、多くのダム堆砂データを用いた検討が藤原ら(1999)によって行われている基準高度分散量を用いることとした。

侵食速度の算定

本調査では、ダム堆砂量に基づいたダム流域における侵食速度の算定に、既往研究(Ohmori(1978)、Yoshikawa(1974)、藤原ら(1999))と同様に下式を用いた。なお下

式は、山地河川流域において侵食によって生産された土砂はすべて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(Ohmori(1978)、Yoshikawa (1974)、藤原ら (1999)、宮崎・大西 (1994))。

$$E=Sv \div Sa \div Y \times (1 - P) \quad \dots (式1)$$

E : 侵食速度 (mm/yr) Sv : ダム堆砂量 (1,000m³) Sa : 流域面積 (km²) Y : 期間 (yr) P : 空隙率

ダムの堆砂は、侵食前の岩石と比較して空隙が多く、密度が小さい。そのため、この密度差を補正する必要がある。本調査では密度差の補正に用いる空隙率 P の値には、既往研究 (Ohmori (1978)、芦田ら (1983)、藤原ら (1999)) と同様の 30% を採用した。

本調査で使用したデータ

本調査で用いた堆砂量データには電力土木技術協会発行の『発電水力』(電力土木技術協会) およびにその後継誌である『電力土木』(電力土木技術協会) に記載されている 1962 ~ 2001 年度の「土砂堆積量」(年データ) を用いた。データの年度と記載された巻数については表 - 1 の年度対応表にまとめた。

表 - 1 年度対応表

	年度	巻数		年度	巻数
発電水力	S37	71	電力土木	S51	154
	S38	75		S52	160
	S39	84		S53	167
	S40	87		S54	未掲載
	S41	93		S55	174
	S42	100		S56	180
	S43	105		S57	186
	S44	112		S58	192
	S45	118		S59	198
	S46	124		S60	204
	S47	130		S61	210
	S48	136		S62	216
	S49	142		S63	222
S50	148	H1	228		
			H2	234	
			H3	241	
			H4	248	
			H5	253	
			H6	259	
			H7	265	
			H8	271	
			H9	277	
			H10	283	
			H11	289	
			H12	295	
			H13	301	

『発電水力』および『電力土木』に記載されている事項は基本的に「貯水池又は調整池」、「水系」、「所有者」、「所属発電所」、「ダム高」、「出力」、「竣工年月」、「総貯水容量（建設当初、該当年度、前年度）」、「有効貯水容量（建設当初、該当年度、前年度）」、「土砂堆積量」である。年度によっては総・有効貯水容量の減少率や堆砂率、年平均堆砂率などの情報が記載されることがある。なお、このデータは電気事業法 106 条に基づく電気関係報告規則に従い、ダムの所有者が経済産業大臣に毎年報告している内容を資源エネルギー庁の原子力安全保安院が公表しているものである。平成 16 年度から当該事項の報告義務はなくなった。

「建設当初総貯水容量」とは、貯水池に土砂が全く貯まっていない状態でサーチャージ水位（洪水時、一時的に貯水池にためられる最高水位）にまで貯められる水の容量である。「有効貯水容量」とは、「建設当初総貯水容量」から貯水池の取水口より下（「最低水位」）にある利用できない水の容量を引いた値である。また、「該当年度総貯水容量」は「建設当初総貯水容量」から該当年度の「土砂堆積量」を引いた値である。従って、発表がなされなかった昭和 44 年度のデータについては、「建設当初総貯水容量」と昭和 45 年度のデータに記載された「前年度総貯水容量」の差から求めることができた。また、「建設当初総貯水容量」が年度によって変わっていたり、「該当年度総貯水容量」と「土砂堆積量」の和が「総貯水容量」と明らかに合わなかったりしたデータに関しては記載ミスの可能性が高いため、対象流域の所有者に問い合わせを行った。なお、有効数字の処理上、和の下一桁が合わないデータがいくつか存在したが、これらについてはそのまま採用した。また、検討にあたっては、ダム堆砂データのクオリティに関して、さらに以下の点に留意している。

・貯水池内の局所的な土砂の移動について

一般にダム堆砂量は貯水池の数箇所では横断測量を行い、堆砂形状を推定することによ

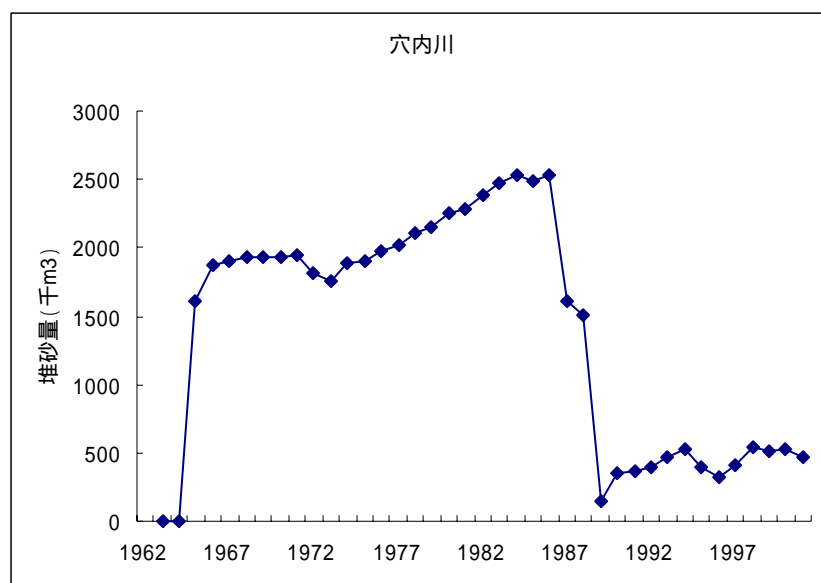


図 - 1 減少する堆砂量の事例

て算出される。横断測量の際の測線は原則的には 400m ピッチで設定され、横断測量の間隔は 20m 以下で行われている。従って、完全に堆砂形状が把握されている訳ではない。そのため貯水池内の局所的な土砂の移動が起こると、貯水池から土砂が運び出されていないにもかかわらず、データの見かけ上、堆砂量が減少することがある（図 - 1 減少する堆砂量の事例）。

データの補正には幾つか方法が考えられる。年度ごとに堆砂速度をもとめ、堆砂速度が負になる年度については堆砂速度を $0\text{m}^3/\text{yr}$ とし、期間中の堆砂速度の累積から求める方法や、堆砂速度が負になる年度から前の 5～10 年間のデータを用いて外挿する方法などがある。しかし、堆砂速度の累積から求める方法では、たまたま測量の誤差やデータの記載ミスによって 1 年だけ堆砂量が減少した場合に、補正を行うことで堆砂量が減少した年度以降の堆砂量が嵩上げされてしまうため、侵食速度が過大に評価されてしまう。現段階では、堆砂量の減少が土砂の局所的な移動によるものなのか、測量やデータの記載ミスなのかを判断する基準がないため、上記の過大評価を避けることができない。また、侵食速度の変化を検討するにあたって、堆砂量データを外挿によって加工するのは、現実の現象を捉えるという主旨からずれると考えられる。

本調査では、堆砂量が減少したとしても、その後の堆砂量の変化は堆砂速度の変化を表していると仮定し、減少後の堆砂量を追うことで侵食速度の変化を検討することが出来るとの考えから、堆砂量が減少するようなダムについてはデータの加工は行わずにそのまま扱った。

・排砂や浚渫の問題について

ダムの管理上、貯水池からの排砂や浚渫が行われたり、コンクリート骨材需要などに応じて砂利が採取されたりした結果、ダムによっては堆砂量が必ずしも貯水池への土砂の流入量と一致しないことがある。このことは、堆砂量を用いて侵食速度を推定する上で問題となる。なぜなら、流域で生産された土砂のうち排砂や浚渫などによって貯水池から運び出された土砂量の分だけ侵食速度が小さく見積もられるからである。従って、流域からの土砂流出量とを検討することを目的としてダム堆砂データを利用する際には、このような人為的な影響は極力排除する必要がある。そこで本調査では、排砂や浚渫の有無と、排砂や浚渫が行われている場合の排砂量や浚渫量についてもダムの所有者に問い合わせを行った。なお、貯水池からの排水とともに流出する土砂については量の特定が困難であるため、今回は検討を行わなかった。

比較対象流域の選定

本調査では、丹沢山地からの土砂流出の比較を行う流域として、まず、『発電水力』及び『電力土木』のデータを用い、1990 年代までの侵食速度と基準高度分散量（ある領域内の標高の標準偏差）の対応から日本全国の侵食速度分布の推定を行った既往研究である藤原ら（1999）が研究対象とした 82 流域を対象とした。比較の基準として藤原ら（1999）と同様に基準高度分散量を用いるからである。藤原ら（1999）のダム選定基準は以下の通

りである。

- A)原則として以下の条件、を満たす、流域の最上流に位置するダムを対象とする。
貯水容量が 200 万 m³ 以上で堆砂率が 25% 以下のダム
建設後 10 年以上が経過し、ダム建設の影響が少なく、流量の年毎の変動が平均化されているダム
- B)流域の最上流に位置するダムのうち、上記の条件、を満たすものと直列に配置されたすぐ下流側のダムであり、それ自身も条件、を満たすダム

選定基準 A は、流域の侵食量に正確を期すためのものである。条件 は経験的に土砂の捕捉率がほぼ 100% とみなせるダムを選ぶためである。条件 はダム建設の影響により竣工から数年間は侵食速度が安定しないため、そのようなダムを対象から除くためである。また、条件、を満たすダムは直下流のダムの堆砂状況に影響を与えないと考えられるため、選定基準 B を満たす下流側のダムも対象ダムとした。

しかしながら、藤原ら (1999) は、ダム堆砂データについて、前述のようなクオリティチェックを十分に行ってはいない。具体的には、主に浚渫・排砂量についての考慮を行っていないため、流域からの土砂流出量を正確に反映していない可能性がある。そこで本調査では、土砂流出量についての比較が厳密に行えるように、藤原ら (1999) の対象としたダムを、以下のような手順でさらに絞り込んだ上での比較も同時に行った。

まず、『発電水力』及び『電力土木』のデータを用い、藤原ら (1999) が扱ったのと同じ期間における侵食速度を求め、藤原の求めた侵食速度との対応を調べることで、同一のダムを選定しているのかどうか確認を行った (表 - 2 (a) ~ (c))。ここで、堆砂量と期間の扱いが同じならば、藤原と本研究の侵食速度の比は式 1 より、両者の流域面積の比となる。従って、侵食速度の比が 0.5 ~ 2 以内で、かつ、侵食速度の差が 1mm/yr 以内の流域ならば、同一のダムを選定したものとみなした。これは、どちらかの流域面積が他方より 2 倍以上となるような流域を対象から外すためである。そして、残りの 77 箇所について、前述の浚渫と排砂の問題を排除すべく、問い合わせが可能なダムについて、ダムの所有者に問い合わせを行った。結果として、浚渫や排砂を行っていない、もしくは浚渫量や排砂量が判明したダム流域 38 箇所を対象とした (表 - 3 (a) ~ (f))。

表 - 2 (a) 流域の検討

貯水池 及び 調整池名	藤原らの 侵食速度 EA (mm/yr)	本研究の 侵食速度 EB (mm/yr)	EB-EA (mm/yr)	EA/EB	期間		流域面積 (km ²)	貯水池 及び 調整池名	藤原らの 侵食速度 EA (mm/yr)	本研究の 侵食速度 EB (mm/yr)	EB-EA (mm/yr)	EA/EB	期間		流域面積 (km ²)
					期首	期末							期首	期末	
外山	0.25	0.25	0.00	0.99	1943	1990	37.7	幌満川第3	0.10	0.10	0.00	0.98	1949	1990	147
帝釈川	0.06	0.06	0.00	0.95	1924	1990	120	笹生川	0.60	0.60	0.00	1.00	1957	1990	70.7
岩瀬	0.36	0.36	0.00	1.00	1967	1990	354	室牧	0.23	0.35	0.12	0.66	1961	1990	85.2
来島	0.18	0.15	-0.03	1.22	1956	1990	140.2	大森川	1.30	1.30	0.00	1.00	1959	1990	21.5
木都賀	0.23	0.23	0.00	1.00	1961	1990	62	諸塚	0.42	0.42	0.00	1.00	1961	1990	40.6
湯原	0.08	0.08	0.00	1.02	1954	1990	255	下久保	0.53	0.53	0.00	1.00	1968	1992	322.9
佐々並川	0.23	0.23	0.00	1.02	1959	1990	91.5	三瀬谷	0.34	0.34	0.00	0.99	1966	1992	190
森吉	0.33	0.33	0.00	0.99	1953	1992	139	正木	0.37	0.44	0.07	0.84	1978	1992	105.7
高暮	0.08	0.08	0.00	1.03	1949	1990	159.3	木地山	0.33	0.18	-0.15	1.81	1960	1990	63
北川	0.11	0.11	0.00	0.98	1962	1990	178	松尾川	0.59	0.59	0.00	1.00	1953	1990	26
周布川第1	0.26	0.26	0.00	0.98	1961	1990	92.3	立花	0.28	0.26	-0.02	1.08	1963	1990	70.5
大夕張	0.80	0.80	0.00	1.00	1959	1990	433	八久和	0.43	0.43	0.00	1.00	1957	1990	148.4
新豊根	0.40	0.41	0.01	0.98	1973	1990	136.3	一ツ瀬	0.32	0.32	0.00	1.00	1963	1990	415
綾南	0.23	0.23	0.00	0.98	1958	1990	101	広瀬	0.59	0.59	0.00	1.01	1974	1992	76.6
八戸	0.14	0.14	0.00	1.03	1958	1975	164	刀利	0.97	0.97	0.00	1.00	1966	1990	45.9
日向神	0.18	0.19	0.01	0.96	1959	1990	84.3	魚梁瀬	0.62	1.29	0.67	0.48	1965	1990	100.7

表 - 2 (b) 流域の検討 (つづき)

貯水池 及び 調整池名	藤原らの 侵食速度 EA (mm/yr)	本研究の 侵食速度 EB (mm/yr)	EB-EA (mm/yr)	EA/EB	期間		流域面積 (km ²)	貯水池 及び 調整池名	藤原らの 侵食速度 EA (mm/yr)	本研究の 侵食速度 EB (mm/yr)	EB-EA (mm/yr)	EA/EB	期間		流域面積 (km ²)
					期首	期末							期首	期末	
芦別	0.44	0.02	-0.42	17.81	1953	1990	2172	上椎葉	1.41	1.41	0.00	1.00	1955	1990	211
立岩	0.15	0.15	0.00	0.99	1939	1990	129.6	相俣	0.20	0.20	0.00	1.02	1959	1991	110.8
三浦	1.41	1.41	0.00	1.00	1945	1990	69.4	深山	0.46	0.46	0.00	1.00	1973	1992	66.4
夏瀬	0.22	0.08	-0.14	2.87	1940	1992	637.4	早出川	0.47	0.41	-0.06	1.15	1979	1992	83.2
穴内川	1.53	1.53	0.00	1.00	1964	1986	52.7	矢木沢	0.26	0.26	0.00	0.99	1965	1990	167.4
秋神	0.23	0.23	0.00	1.01	1953	1990	83.3	小河内	0.29	0.29	0.00	0.98	1957	1990	262.9
佐波川	0.22	0.22	0.00	0.99	1955	1990	88.4	笠堀	0.61	0.61	0.00	1.00	1964	1992	70
馬瀬川第2	1.69	1.55	-0.14	1.09	1976	1992	14.1	神代	0.64	4.03	3.39	0.16	1940	1988	6.2
富村	0.23	0.29	0.06	0.80	1978	1992	164.9	長沢	1.17	1.17	0.00	1.00	1949	1990	70
七川	0.27	0.21	-0.06	1.27	1956	1990	102	二居	0.38	0.30	-0.08	1.27	1978	1992	107.8
高坂	0.87	0.63	-0.24	1.39	1967	1990	68.2	柿元	0.48	0.48	0.00	1.00	1945	1990	33.6
高根第1	0.59	0.50	-0.09	1.17	1969	1990	125	名頃	0.60	0.61	0.01	0.99	1961	1990	21.2
目屋	0.28	0.28	0.00	0.98	1959	1988	171.6	小見野々	0.67	0.61	-0.06	1.11	1968	1991	266.8
渡川	0.78	0.78	0.00	1.00	1955	1990	143.1	坂本	0.41	0.41	0.00	0.99	1962	1990	77
有峰	0.36	0.36	0.00	0.99	1959	1990	49.9	犀川	0.56	0.54	-0.02	1.03	1966	1990	56.1

表 - 2 (c) 流域の検討 (つづき)

貯水池 及び 調整池名	藤原らの 侵食速度 EA (mm/yr)	本研究の 侵食速度 EB (mm/yr)	EB-EA (mm/yr)	EA/EB	期間		流域面積 (km ²)	貯水池 及び 調整池名	藤原らの 侵食速度 EA (mm/yr)	本研究の 侵食速度 EB (mm/yr)	EB-EA (mm/yr)	EA/EB	期間		流域面積 (km ²)
					期首	期末							期首	期末	
二川	0.48	0.48	0.00	0.99	1966	1990	228.8	奥新冠	0.41	0.41	0.00	1.00	1963	1990	53.1
殿山	0.29	0.29	0.00	1.01	1957	1990	294	大白川	1.74	1.74	0.00	1.00	1963	1990	20.1
高遠	0.37	0.37	0.00	1.00	1958	1986	66.3	奈川渡	0.83	0.83	0.00	1.00	1969	1990	380.5
鏡	0.61	0.22	-0.39	2.75	1966	1990	80.8	黒部第4	3.31	3.31	0.00	1.00	1961	1990	184.5
九頭竜	0.81	0.81	0.00	1.00	1968	1990	184.5	井川	5.01	5.42	0.41	0.92	1957	1992	130.1
荒沢	0.28	0.28	0.00	1.00	1955	1990	162	水窪	2.92	2.79	-0.13	1.05	1969	1990	57.6
素波里	0.32	0.32	0.00	0.99	1970	1990	100	畑薙第2	7.04	7.04	0.00	1.00	1961	1992	11.2
萩形	0.23	0.23	0.00	1.01	1966	1990	86.7	雨畑	2.98	2.96	-0.02	1.01	1967	1982	99.7
綾北	0.51	0.51	0.00	1.00	1960	1990	149.3	畑薙第1	2.65	2.28	-0.37	1.16	1962	1990	318
黒又川第1	2.22	2.22	0.00	1.00	1958	1992	22.3	高瀬	3.96	3.52	-0.44	1.12	1979	1992	131

表 - 3 (a) ダム諸元 1 - 1

貯水池 及びに 調整池	水系名	河川名	県名	左岸所在地	位置	型式	目的	事業種別
岩瀬	大淀川	岩瀬川	宮崎	西諸県郡野尻町大字東麓 4818	N31°56'31"E131°08'23"	G	FP	ウ
下久保	利根川	神流川	群馬	多野郡鬼石町大字保美濃山地先	N36°07'57"E139°01'21"	G	FNWIP	オ
殿山	日置川	日置川	和歌山	西牟婁郡大塔村合字日向口	N33°41'02"E135°33'49"	A	P	イ
畑薙第1	大井川	大井川	静岡	静岡市田代	N35°19'17"E138°11'00"	HG	P	ア
小河内	多摩川	多摩川	東京	西多摩郡奥多摩町	N35°47'23"E139°03'03"	G	WP	キ
二川	有田川	有田川	和歌山	有田郡清水町大字二川字東大谷川向	N34°04'51"E135°21'32"	G	FP	エ
黒部第4	黒部川	黒部川	富山	富山県中新川郡立山町 黒部奥山国有林内	N36°33'59"E137°39'44"	A	P	ア
北川	五ヶ瀬川	北川	大分	南海部郡宇目町大字南田原字横手	N32°47'26"E131°36'28"	A	FP	ウ
高暮	江の川	神野瀬川	広島	比婆郡高野町大字高暮	N34°59'39"E132°47'36"	G	P	ア
綾北	大淀川	綾北川	宮崎	西諸県郡須木村袖園国有林内	N32°05'54"E131°08'34"	A	FP	ウ
八久和	赤川	八久和川	山形	東田川郡朝日村八久和山	N38°30'43"E139°52'30"	G	P	ア
渡川	小丸川	渡川	宮崎	東臼杵郡南郷村大字中渡川字杭谷	N32°21'19"E131°20'42"	G	FNP	ウ
来島	神戸川	神戸川	島根	飯石郡赤来町下来島	N35°05'14"E132°43'26"	G	P	ウ
井川	大井川	大井川	静岡	静岡市	N35°12'36"E138°13'22"	HG	P	ア
高根第1	木曾川	飛騨川	岐阜	大野郡高根村	N36°01'55"E137°29'35"	A	P	ア
帝釈川	高梁川	帝釈川	広島	比婆郡東城町三坂	N34°49'40"E133°14'05"	G	P	イ
正木	勝浦川	勝浦川	徳島	勝浦郡上勝町大字正木古請	N33°54'46"E134°25'36"	G	FNAIP	エ
綾南	大淀川	本庄川	宮崎	西諸県郡須木村袖園国有林内	N32°03'29"E131°07'14"	G	FP	ウ

事業種別凡例

型式凡例

目的凡例

ア	電気事業者事業 一級河川	G	重力式アーチダム	P	発電
イ	電気事業者事業 二級河川	A	アーチダム	F	洪水調節・農地防災
ウ	補助河川総合開発事業 一級河川	HG	中空重力式コンクリートダム	N	不特定用水, 河川維持用水
			アスファルトフェイシングダ		かんがい, 特定(新規)かんがい用
エ	補助河川総合開発事業 二級河川	FA	ム	A	水
オ	水資源機構用水路等建設事業 一級河川			I	工業用水道用水
カ	農林水産省直轄かんがい排水事業 一級河川			W	上水道用水
キ	上水道専用ダム建設事業 一級河川				
ク	公営電気事業者事業 二級河川				

表 - 3 (b) ダム諸元 1 - 2

貯水池 及びに 調整池	水系名	河川名	県名	左岸所在地	位置	型式	目的	事業種別
素波里	米代川	粕毛川	秋田	山本郡藤里町粕毛字南鹿瀬内沢3	N40°20'00" E140°13'22"	G	FNAP	ウ
雨畑	富士川	雨畑川	山梨	南巨摩郡早川町雨畑	N35°24'31" E138°19'54"	A	P	ア
周布川第1	周布川	周布川	島根	那賀郡弥栄村小坂	N34°48'32" E132°08'44"	G	P	イ
佐々並川	阿武川	佐々並川	山口	阿武郡川上村大ぬた	N34°19'26" E131°30'26"	A	P	イ
佐波川	佐波川	佐波川	山口	佐波郡徳地町野谷	N34°16'37" E131°39'19"	G	FNAP	ウ
萩形	米代川	小阿仁川	秋田	北秋田郡上小阿仁村南沢字小阿仁	N39°55'28" E140°18'48"	G	FP	ウ
日向神	矢部川	矢部川	福岡	八女郡黒木町大字大淵字松瀬向	N33°10'34" E130°46'49"	G	FNP	ウ
秋神	木曾川	秋神川	岐阜	大野郡朝日村	N36°03'56" E137°23'57"	G	P	ア
笠生川	九頭竜川	真名川	福井	大野市木戸	N35°50'35" E136°32'48"	G	FNWP	ウ
立花	一ツ瀬川	三財川	宮崎	西都市大字寒川字蛇籠	N32°07'57" E131°16'07"	G	FNP	エ
深山	那珂川	那珂川	栃木	黒磯市百村字深山	N37°05'21" E139°54'16"	FA	AWP	カ
木都賀	三隅川	三隅川	島根	那賀郡弥栄村木都賀	N34°45'03" E132°04'12"	G	P	ク
犀川	犀川	犀川	石川	金沢市二又新町	N36°25'51" E136°44'48"	G	FNWIP	エ
穴内川	吉野川	穴内川	高知	香美郡土佐山田町裡の谷	N33°40'52" E133°39'19"	HG	P	ア
有峰	常願寺川	和田川	富山	上新川郡大山町有峰	N36°29'22" E137°26'55"	G	P	ア
外山	北上川	外山川	岩手	岩手郡玉山村大字藪川	N39°46'32" E141°17'01"	G	P	ア
柿元	富士川	佐野川	山梨	南巨摩郡南部町	N35°16'38" E138°31'00"	G	P	ア
大森川	吉野川	大森川	高知	土佐郡本川村大字寺川	N33°41'40" E133°14'59"	HG	P	ア
馬瀬川第2	木曾川	馬瀬川	岐阜	益田郡金山町	N35°43'53" E137°08'25"	G	P	ア
畑薙第2	大井川	大井川	静岡	静岡市	N35°18'29" E138°12'12"	HG	P	ア

事業種別凡例

型式凡例

目的凡例

ア	電気事業者事業 一級河川	G	重力式アーチダム	P	発電
イ	電気事業者事業 二級河川	A	アーチダム	F	洪水調節・農地防災
ウ	補助河川総合開発事業 一級河川	HG	中空重力式コンクリートダム	N	不特定用水, 河川維持用水
			アスファルトフェイシングダ		かんがい, 特定(新規)かんがい用
エ	補助河川総合開発事業 二級河川	FA	ム	A	水
オ	水資源機構用水路等建設事業 一級河川			I	工業用水道用水
カ	農林水産省直轄かんがい排水事業一級河川			W	上水道用水
キ	上水道専用ダム建設事業 一級河川				
ク	公営電気事業者事業 二級河川				

表 - 3 (c) ダム諸元 2 - 1

貯水池 及びに 調整池	ダム事業者	堤高 (m)	堤体積 (千 m3)	流域面積 (km2)	間接 流域面積 (km2)	上流ダム流域を 除いた 流域面積 (km2)	2001 年度 堆砂率 (%)	建設当初 総貯水容量 (千 m3)	水高換算		竣工年度
									建設当初 総貯水容量 (mm)	建設当初 有効貯水量 (千 m3)	
岩瀬	宮崎県	55.5	98	354		354	12.9	57,000	161.0	41,000	1967
下久保	水資源機構	129	1345	322.9		322.9	6.1	130,000	402.6	120,000	1968
殿山	関西電力	64.5	51	294		294	16.8	25,446	86.6	13,795	1957
畑籾第 1	中部電力	125	597	318		271	35.6	107,400	337.7	80,000	1962
小河内	東京都	149	1676	262.9		262.9	2.7	189,100	719.3	185,400	1957
二川	和歌山県	67.4	209	228.8		228.8	15.4	30,100	131.6	19,200	1966
黒部第 4	関西電力	186	1582	184.5	4	184.5	14.0	199,285	1080.1	148,843	1961
北川	大分県	82	66	178	33	178	3.0	40,000	224.7	34,700	1962
高暮	中国電力	69.4	206	159.3	2.6	159.3	2.3	39,658	249.0	35,858	1949
綾北	宮崎県	75.3	75	149.3	1	149.3	17.4	21,287	142.6	18,800	1960
八久和	東北電力	97.5	371	148.4		148.4	8.8	49,028	330.4	33,295	1957
渡川	宮崎県	62.5	143	143.1	62.1	143.1	20.3	33,900	236.9	29,900	1955
来島	中国電力	63	129	140.2		140.2	5.9	23,470	167.4	21,180	1956
井川	中部電力	103.6	430	459.3		130.1	25.1	150,000	326.6	125,000	1957
高根第 1	中部電力	133	330	125	34.8	125	5.6	43,568	348.5	34,013	1969
帝釈川	中国電力	62.1	31	120		120	6.8	14,278	119.0	12,995	1924
正木	徳島県	67	249	105.7	11	105.7	10.0	15,671	148.3	11,900	1978
綾南	宮崎県	64	142	101	14	101	4.0	38,000	376.2	33,900	1958

表 - 3 (d) ダム諸元 2 - 2

貯水池 及び 調整池	ダム事業者	堤高	堤体積	流域面積	間接 流域面積	上流ダム流域を 除いた 流域面積 (km ²)	2001 年度 堆砂率	建設当初 総貯水容量	水高換算 建設当初 総貯水容量	建設当初 有効貯水量	竣工年度
		(m)	(千 m ³)	(km ²)	(km ²)	(%)	(千 m ³)	(mm)	(千 m ³)		
素波里	秋田県	72	115	100		100	2.8	42,500	425.0	39,500	1970
雨畑	日本軽金属	80.5	72	99.7		99.7	81.9	13,650	136.9	11,000	1967
周布川第1	中国電力	58	94	92.3		92.3	11.5	10,173	110.2	7,143	1961
佐々並川	中国電力	67.4	31	91.5		91.5	5.5	20,100	219.7	16,000	1959
佐波川	山口県	54	100	88.4	8.5	88.4	3.9	24,600	278.3	21,400	1955
萩形	秋田県	61	111	86.7		86.7	8.8	14,950	172.4	11,650	1966
日向神	福岡県	79.5	234	84.3		84.3	2.7	27,900	331.0	23,900	1959
秋神	中部電力	74	223	83.3		83.3	7.4	17,584	211.1	16,976	1953
笹生川	福井県	76	225	70.7		70.7	5.3	58,806	831.8	52,244	1957
立花	宮崎県	71.3	176	70.5	29.4	70.5	10.9	10,000	141.8	8,480	1963
深山	関東農政局	75.5	1967	66.4		66.4	3.7	25,966	391.1	20,900	1973
木都賀	鳥根県	39	37	62		62	27.2	2,526	40.7	1,558	1961
犀川	石川県	72	153	56.1	1.7	56.1	8.9	14,300	254.9	11,950	1965
穴内川	四国電力	66.6	219	52.7		52.7	1.0	46,260	877.8	43,300	1963
有峰	北陸電力	140	1568	49.9	170.1	49.9	0.4	223,000	4468.9	204,000	1959
外山	東北電力	33	27	37.7		37.7	18.2	3,751	99.5	3,214	1943
柿元	日本軽金属	33.6	93	33.6		33.6	19.0	7,622	226.8	7,185	1952
大森川	四国電力	73.2	146	21.5		21.5	5.7	19,120	889.3	17,320	1959
馬瀬川第2	中部電力	44.5	101	279	770	14.1	5.3	9,736	34.9	6,100	1976
畑薙第2	中部電力	69	155	329.2		11.2	31.4	11,400	34.6	3,600	1961

表 - 3 (e) ダム諸元 3 - 1

貯水池 及びに 調整池	2001 年度 堆砂量 (千 m ³)	既往研究の 期末における 堆砂量 (千 m ³)	標高 (m)	傾斜 (度)	ラブラシアン (m-1)	高度分散量 (m)	表層地質	既往研究の 期末	既往研究の 期末における 堆砂率 (%)
岩瀬	7,332	4,202	458	3.8	19.6	39.8	砂岩・頁岩・礫岩など 粘板岩・砂岩・チャート・ シャルスタイン	1990	7.4
	7,989						(輝緑凝灰岩)	1992	4.5
下久保	(8,191)	5,886	938	7.3	30.5	87.8	砂岩・泥岩・礫岩など	1990	15.7
殿山	4,267	3,999	528	4.7	32	82.2	砂岩・頁岩・礫岩など	1990	31.4
畑薙第1	38,252	33,708	1,986	12	31.5	140.7	砂岩・頁岩・礫岩など	1990	1.9
小河内	5,190	3,652	1,198	7.6	30.5	99.6	砂岩・頁岩・礫岩など	1990	12.6
二川	4,637	3,787	661	5.5	30.2	78.5	砂岩・頁岩・礫岩など	1990	12.7
黒部第4	27,909	25,287	2,190	10.4	29.5	121.5	花崗岩類	1990	2.0
北川	1,193	803	396	4.3	24.8	58.7	砂岩・頁岩・礫岩など	1990	1.8
高暮	923	722	712	3.6	25	54.1	流紋岩類	1990	15.4
綾北	3,696	3,277	673	5	31.5	82.7	砂岩・頁岩・礫岩など	1990	6.1
八久和	4,320	3,002	902	6.8	29	92.1	花崗岩類	1990	16.5
渡川	6,890	5,603	701	6	28.6	81.1	砂岩・頁岩・礫岩など	1990	4.3
来島	1,393	1,001	592	3.7	22.1	49	花崗岩類	1990	23.5
井川	37,613	35,252	1,306	10.3	30.8	121.7	砂岩・頁岩・礫岩など 粘板岩・砂岩・チャート・ シャルスタイン	1992	5.1
高根第1	2,447	2,201	1,618	6.7	26.9	71.1	(輝緑凝灰岩)	1990	5.0
							粘板岩・砂岩・チャート・ シャルスタイン		
帝釈川	972	711	566	2.2	21.9	34.8	(輝緑凝灰岩)	1990	6.2
正木	1,571	970	713	7.2	29	88.4	砂礫・粘土	1992	2.8
綾南	1,501	1,080	568	4	30	67.3	砂岩・頁岩・礫岩など	1990	

表 - 3 (f) ダム諸元 3 - 2

貯水池 及びに 調整池	2001年度 堆砂量 (千m ³)	既往研究の 期末におけ る 堆砂量 (千m ³)	標高 (m)	傾斜 (度)	ラブラシアン (m-1)	高度分散量 (m)	表層地質	既往研究の期末	既往研究の 期末における 堆砂率(%)
素波里	1,200	928	558	5.7	28.8	84	砂岩・泥岩・礫岩など (緑色凝灰岩)	1990	2.2
雨畑	11,181								
周布川第1	(21,520)	6,365	1,426	13.6	32.5	135.1	砂岩・泥岩・礫岩など	1982	46.6
佐々並川	1,174	1,013	622	4	24.5	55.1	流紋岩類	1990	10.0
佐々並川	1,105	917	422	3.2	24.5	52.4	流紋岩類	1990	4.6
佐波川	961	981	504	4.7	29	68.8	流紋岩類	1990	4.0
萩形	1,317	677	580	5.3	30.5	85.9	砂岩・泥岩・礫岩など (緑色凝灰岩)	1990	4.5
日向神	764	697	631	4.8	27.2	66	安山岩類	1990	2.5
秋神	1,301	998	1,347	6	25.6	70.2	流紋岩類	1990	5.7
笹生川	3,096	1,993	834	5.8	30.9	88.6	粘板岩・砂岩・チャート・ シャルスタイン(輝緑凝灰岩)	1990	3.4
立花	1,091	752	749	6.5	31.9	100.8	砂岩・頁岩・礫岩など	1990	7.5
深山	962	830	1,262	7.7	31.1	98.2	砂岩・泥岩・礫岩など (緑色凝灰岩)	1992	3.2
木都賀	688	588	518	4.1	21.9	49.5	流紋岩類	1990	23.3
犀川	1,279	1,071	857	6.8	31.6	112.6	砂岩・泥岩・礫岩など (緑色凝灰岩)	1990	7.5
穴内川	462	2,531	711	5.7	26.8	70.8	粘板岩・砂岩・チャート・ シャルスタイン(輝緑凝灰岩)	1986	5.5
有峰	914	802	1,415	7.4	26.5	74.6	砂岩・頁岩・礫岩など	1990	0.4
外山	683	639	767	2.7	16.4	32.9	粘板岩・砂岩・チャート・ シャルスタイン(輝緑凝灰岩)	1990	17.0
柿元	1,447	1,034	857	7.9	32.9	105.3	砂岩・泥岩・礫岩など (緑色凝灰岩)	1990	13.6
大森川	1,082	1,240	1,057	6.5	29.9	85.9	結晶片岩類	1990	6.5
馬瀬川第2	512	524	549	5.2	26.6	70.2	流紋岩類	1992	5.4
畑薙第2	3,579	3,492	1,329	11.5	33.6	146.6	砂岩・頁岩・礫岩など	1992	30.6

侵食速度の経年変化

宮崎・大西（1994 & 1998）によれば、堆砂量の経年変化はタイプ A～C の 3 タイプに大別される。

タイプ A：堆砂量が一様に増加する貯水池

タイプ B：堆砂量の増加が途中から遅くなる貯水池

タイプ C：堆砂量の増加が途中から速くなる貯水池

また、数は少ないが B と C の組み合わせられた経年変化を示すものもある。一般に、タイプ A が理想的な土砂の流出と考えられるが、実際には堆砂量の増加は経年変化するため、タイプ B とタイプ C のような貯水池が存在する。タイプ B は、ダム建設の影響によってダム完成直後に大量に土砂が流出し、年を経るにつれて工事の影響が薄れていくために土砂の流出量が減少する場合と、堆砂が進行することによって土砂の捕捉率が減少する場合が考えられる。タイプ C は、洪水流出による溪岸堆積物の再移動や、豪雨などの災害による崩壊地の発生が原因であると考えられる。丹沢のダム堆砂の経年変化がどのタイプに属するかの検討を行う。

流域面積の取り扱いについて

堆砂データから求めた土砂流出量を流域間で比較するに際して、流域面積の違いを無視するために、流域面積で割って侵食深を求める。

ダムの流域面積には直接流域面積と間接流域面積がある。間接流域面積とは、導水管などによって他の流域からも水を集めているようなダムの流域面積を表すときの表現で、他流域の流域面積を間接流域面積という。それに対して、ダムの設置されている流域の流域面積を直接流域面積という。本調査で用いた流域面積は全て直接流域面積である。

また、上流にダムを有する流域については、上流のダムが土砂を全て捕捉するため、上流側の流域は下流側の流域の土砂生産に寄与しないといえる。従って、上流にダムを有する流域については、上流のダム流域を除いた値を用いた。

基準高度分散量の算出

各流域の基準高度分散量は数値地図を用いて算出した。数値地図とは、既存の地図のアナログ情報及びに、それらに新たに付加する地形、土地利用、各種施設などの情報を数値化し、さまざまな記憶媒体に記録したものをいう。また、この記録媒体からコンピュータなどを用いて地図図形に出力したものも含めて数値地図と呼ばれている。数値地図の中でも、本調査で用いた国土数値情報は日本全国の地域においてほぼ同一の精度でデータが整備されており、その位置付けは基本的に標準地域メッシュコードで行われている。標準地域メッシュの第 1 次地域区画は経度差 1°、緯度差 40' で 1/200,000 地勢図に相当する。第 2 次地域区画は第 1 次地域区画を縦横 8 等分した経度差 7' 30"、緯度差 5' の範囲（約 10km 四方）で 1/25,000 の地形図に相当する。第 3 次地域区画は第 2 次地域区画を縦横 10 等分した経度差 45"、緯度差 30" の範囲（約 1km 四方）のメッシュで、これは標準地域メッシュ体系の基準区画として「基準地域メッシュ」と呼ばれている。

基準高度分散量は、地表面の凹凸を表現する地形指標で、ある領域内の標高値の標準分散で定義される。本調査では、藤原ら（1999）の検討によって侵食速度との良好であった1kmグリッドの基準高度分散量を用いた。これは、50mグリッドサイズの標高データをもとに、1kmグリッド内での標高の標準分散を求めたものである。藤原ら（1999）は、1kmグリッドの作成にあたって台形領域（南が下底）を設定し、そのなかに入る50mグリッドのデータを用いて基準高度分散量を求めたため、国土数値情報を用いて算出した本調査の基準高度分散量と値が異なる。しかし、図 - 2 から分かるように両者の相関は高く、回帰直線によって本調査の基準高度分散量と藤原ら（1999）の求めた基準高度分散量は相互に変換できるため、問題はないと判断した。

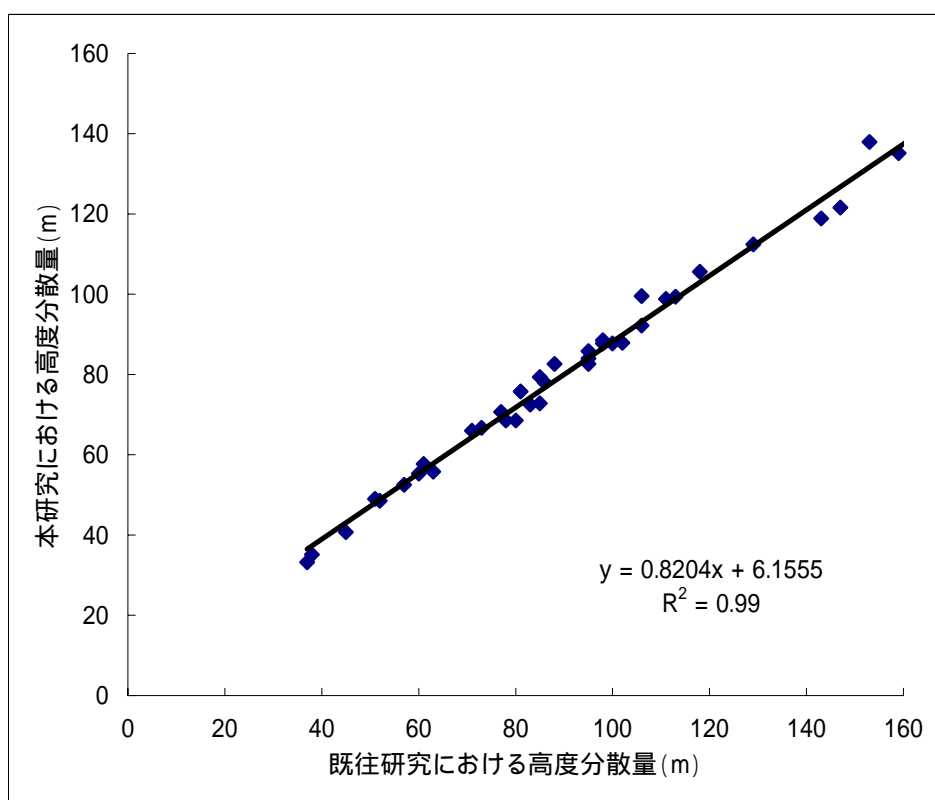


図 - 2 基準高度分散量の比較

調査結果および考察

丹沢における土砂流出とその経年変化

丹沢山地において、堆砂データが入手可能な貯水ダムは城山ダム(相模湖)宮ヶ瀬ダム、三保ダムの3つである。それぞれのダムの流域図を図 - 3 (a) ~ (c)に示す。(流域図、流域面積は国土数値情報から求めた)三保ダムについては、流域内の3つの主な河川の流域面積も同時に示してある。

Shiroyama

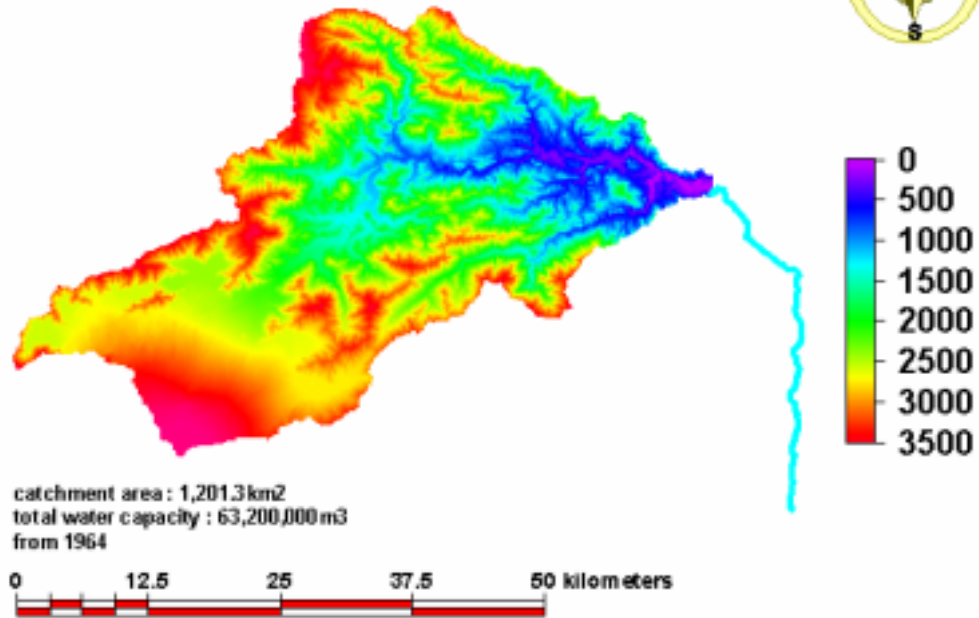


図 - 3 (a) 城山ダム

Miyagase

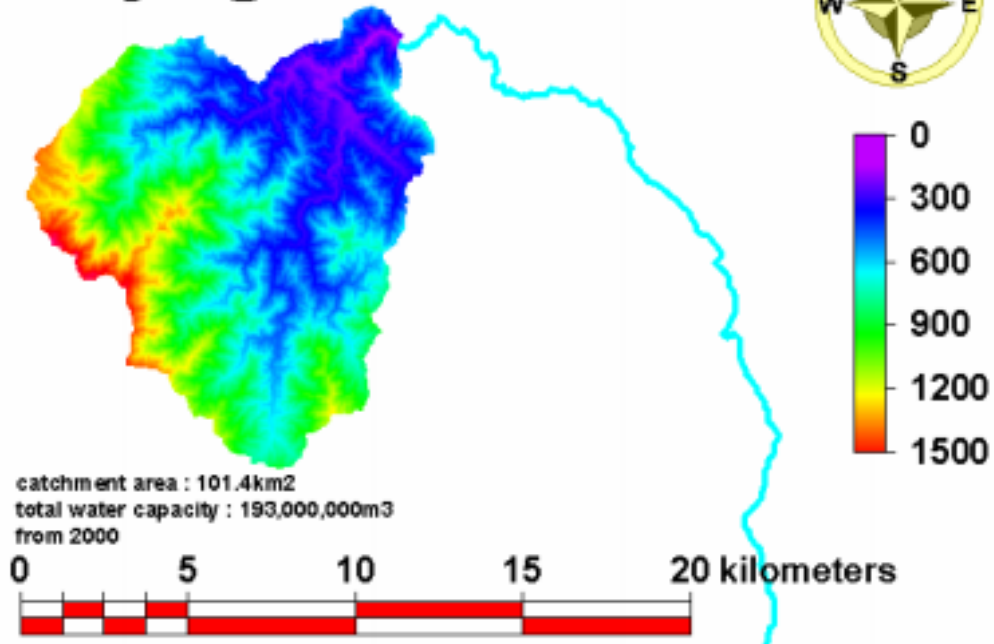


図 - 3 (b) 宮ヶ瀬ダム

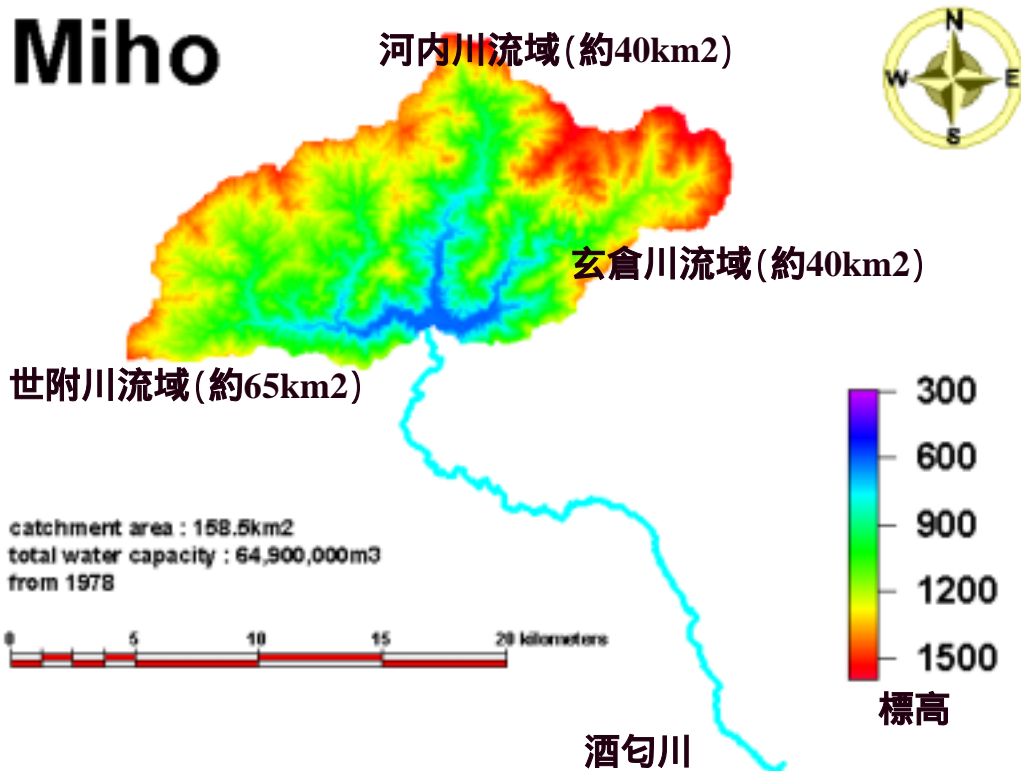


図 - 3 (c) 三保ダム

丹沢山地における土砂流出量をこれらのダムにおける堆砂データから求める場合、城山ダムは、源流が富士山域であるため、丹沢山地からの土砂流出量の代表値としてダム堆砂データを用いることが出来ない。宮ヶ瀬ダムについては、流域が東丹沢と重なるが、堆砂データの取得が開始されたのが近年であり、検討に足りるだけのデータの蓄積がない。したがって、本調査で丹沢山地からの土砂流出量として用いるのは三保ダムの堆砂データとする。三保ダム流域は西丹沢に位置し、1979年からの堆砂データが存在している。また、三保ダムへは主に世附川、河内川、玄倉からの流入があるが、それぞれの河川からの流入土砂量が取得されている。また、浚渫量についての記録も残されており、土砂流出量の検討を正確に行うことが可能である。

丹沢山地から三保ダムへの流入土砂量を示したものが図 - 4 である。各河川からの流入土砂量も同時に示している。三保ダムへの土砂流入量は平成 15 年までで約 700 万立米であり、当初計画の倍以上の速度で堆砂が進行している。また、細かな増減はあるが、全期間を通して明確な土砂流入傾向の変化は認められず、宮崎・大西 (1994 & 1998) に従えば、堆砂量が一様増加するタイプ A に分類することが可能である。

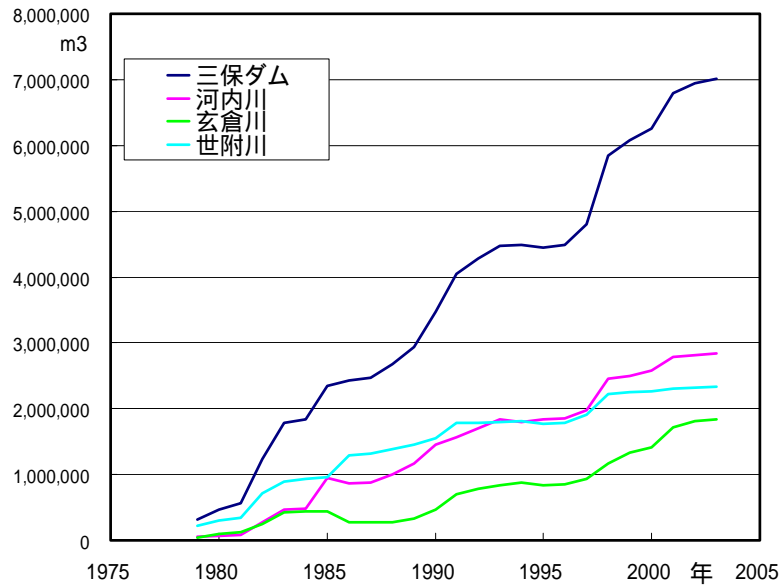


図 - 4 三保ダムへの流入土砂量

次に、三保ダム流域と、三保ダム流域内の各流域からの土砂流出量について、全期間の土砂流出量を流域面積で割って侵食深として示したのが表 - 4 である。

表 - 4 三保ダム流域内の侵食深

流域	流域面積 (km ²)	高度分散量 (m)	平均年侵食深 (mm/year)
三保ダム流域	158.5	96.7	1.24
河内川流域	39.1*	109.1	2.03
玄倉川流域	39.0*	114.5	1.32
世附川流域	63.1*	79.1	1.04

*流域面積は数値地図より計算 侵食深は空隙率(0.3)を考慮

三保ダム流域では、平均年侵食深が 1.24mm であり、特に河内川流域での侵食（土砂流出）が顕著である。

丹沢山地における土砂流出の日本における位置付け

丹沢山地三保ダム流域での土砂生産が全国の貯水ダム流域と比較してどの程度であるかの検討を行った。まず、三保ダムが比較対象となる貯水ダムに対してどの程度の規模であるかを、総貯水量と流域面積でプロットして示した（図 - 5）。図 - 5 より、三保ダムは全国の貯水ダムの中でも貯水量、流域面積ともに中位以上の規模であることが分かる。

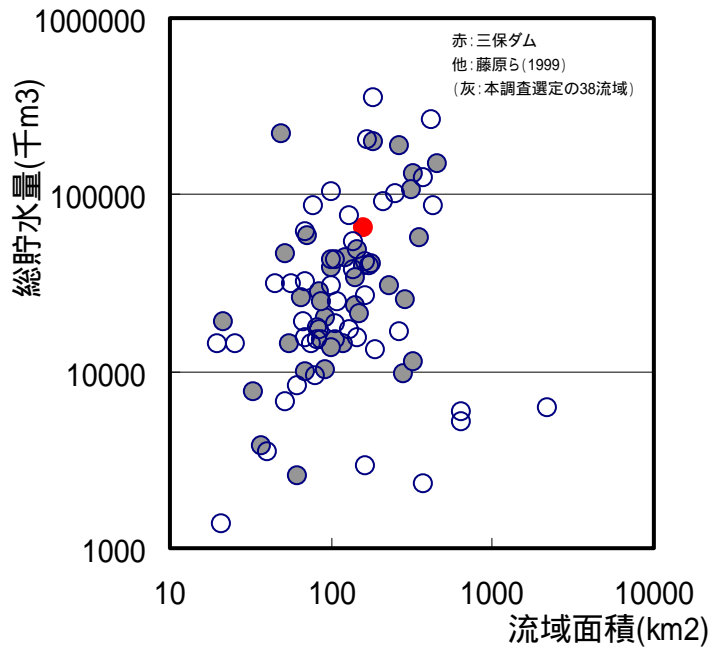


図 - 5 三保ダムの規模

続いて、三保ダム流域における土砂流出の位置付けを示す(図 - 6、図 - 7)。

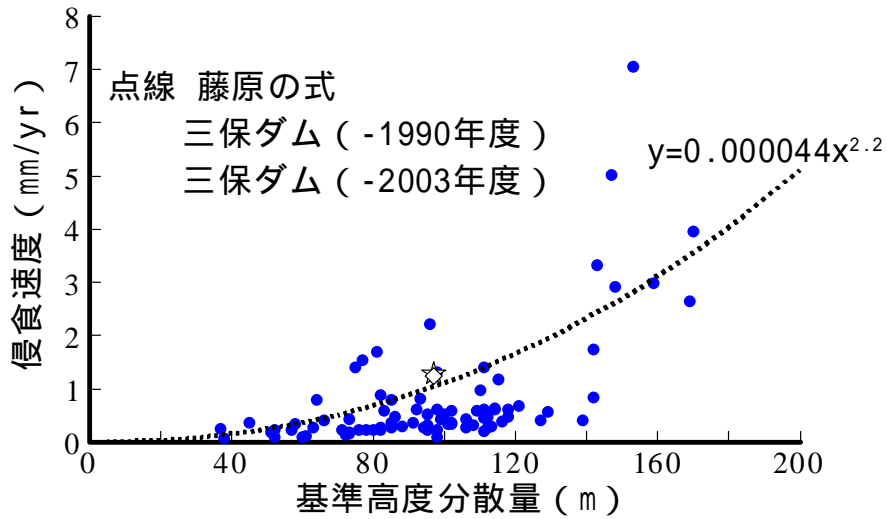


図 - 6 三保ダム流域における土砂流出の位置付け
(藤原ら(1999)の結果との比較)

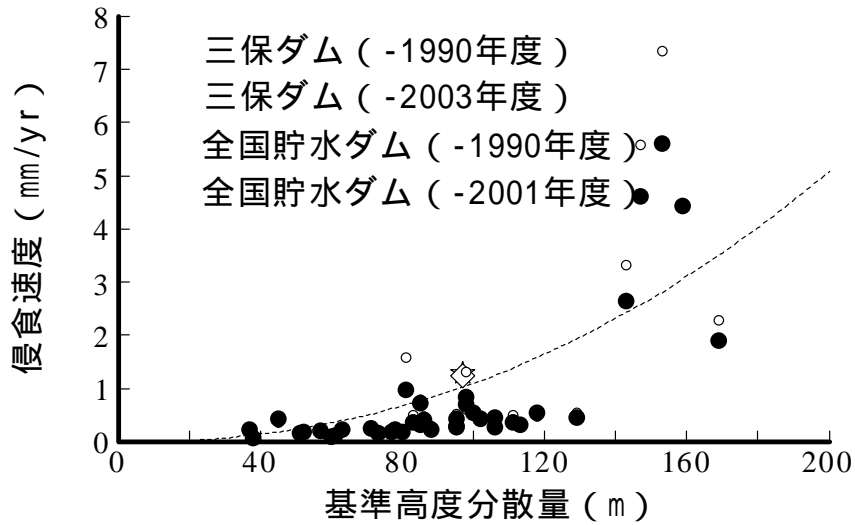


図 - 7 三保ダム流域における土砂流出の位置付け
(藤原ら(1999)の対象ダムから本調査で選定したダムとの比較)

各図において、三保ダム流域における土砂流出量は1979年から1990年度までのデータから求めた侵食速度と1991年度から2003年度までの二期間で求めたものをプロットしてある。三保ダムについては、侵食速度の時期による違いは見られない。図-6において、三保ダム流域での土砂流出量(侵食速度)は、藤原ら(1999)が全国82のダムデータを集計した上で求めた基準高度分散量-侵食速度の対応関係を示す式上に存在することが分かる。これより、三保ダム流域における流出土砂量は、地形量との対応で言えば標準的な範囲であることが言える。ただし、表-4で示した三保ダム流域における侵食深は、森林流域における一般的な値である0.01mm~0.1mm程度(塚本(1998))と比較すると大きい。

図-7は、本調査において、より厳密に流域からの流出土砂量を比較するために藤原ら(1999)の対象としたダムからさらに絞り込んだ38のダム流域と比較したものである。この図から、全国においては、地形の急峻な(=基準高度分散量が大きい)一部の流域においては、非常に激しい侵食が進行していることが見て取れるが、それ以外のダム流域の値と比較すると、三保ダムからの流出土砂量は比較的大きいと言えることが分かる。基準高度分散量が140mより小さな流域の中では、1990年度までに記録されている一点を除いて最大の値となっている。

(2) 土砂流出の流域内分布と土砂流出の要因に関する調査

調査方法

前節の調査によって明らかとなった、丹沢山地三保ダム流域からの比較的長期・広域からの土砂流出について、それらが流域内でどのような分布を示すのかを示し、その要因について検討を行う。

流域内の土砂流出分布の推定

土砂流出に関わる要因を検討するにあたって、まずはじめに、流域内での土砂流出量の分布を求める必要がある。本調査では、流域内の土砂流出量分布を推定するにあたって、流域内に多数存在する砂防堰堤の情報を用いることとした。

日本は狭い国土に急峻な地形を有し、火山噴出物の堆積地帯や破砕帯地帯、花崗岩地帯が幅広く分布する脆弱な地質であることに加え、降水量の多い気象条件である。山間地域では土砂生産・流出が活発で、豪雨や融雪などによって山腹崩壊や土石流、地すべりなどがたびたび発生し、現在に至るまでに多くの人命・財産が奪われてきた。こうした土砂災害の悲惨な教訓から学び、土砂災害から国民の生命、財産および生活環境、自然環境を守ることを目的として、いわゆるソフト・ハードの両面から砂防事業が進められてきた。2000年4月には土砂災害防止法が制定されソフト対策のさらなる充実がはかられた一方、必要に応じて砂防構造物を建設するなどハード対策も着々と進められている。砂防構造物の施工を中心とするハード対策は、建設省河川砂防技術基準(案)において策定された砂防計画に基づき、土砂の生産から流下、堆積までの一連のプロセスにおいて必要以上の土砂を下流に流下させないように調節するために、土砂の生産や流下の場となる河川源頭部や山腹、溪床に対してさまざまな砂防工事が行われてきた。砂防堰堤は、そうした砂防工事に伴って建設される砂防構造物のなかで、主に山地溪流に施工される横工の一つである。

現在、日本には土石流危険溪流が約80,000箇所指定されているが、そうした危険溪流において砂防堰堤の施工が進められているほか、山腹崩壊地の直下流に山脚固定を目的として施工されている。砂防堰堤はその目的に応じて山脚固定ダム、縦侵食防止ダム、河床堆積物流出防止ダム、土石流対策ダム、流出土砂抑制・調節ダムの5種類に分類され、1つの堰堤で2つ以上の目的を兼ねる場合もある(建設省河川局(1997))。堰堤の型式についてはその設計段階でダムサイトの地形、地質、そのダムの目的に対する適合性、安全性および経済性などを考慮して決定される(建設省河川局(1997))が、自重によって外力に抵抗する重力式コンクリートの堰堤が大部分である。重力式コンクリートに代表される非透過型の砂防堰堤は直上流に土砂を堆積させ、下流における河床上昇を抑制するほか、満砂後は元河床勾配より緩やかな勾配の堆砂地を形成することで、洪水時には減勢効果とともに、一時的に土砂を堆積させ、その後時間の経過とともに土砂を徐々に流下させて元の安定勾配に戻す調節効果を発揮することが知られている。

砂防堰堤の規模によって、ダム直上流に堆積する貯砂容量は決定される。堰堤の竣工から満砂までの間に要した期間が明らかになれば、貯砂容量を満砂までの期間で割ることに

よって、堰堤上流の流域からの年流出土砂量を求めることが出来る。また、流域面積で割ることによって侵食深に換算することが可能である。

$$\text{平均侵食深} = \text{砂防堰堤の貯砂容量} / \text{満砂までの年数} / \text{流域面積}$$

砂防堰堤の満砂期間から求められる土砂流出量に着目して、流域内の土砂流出・土砂移動について検討した例は過去にもある（例えば日浦（1999）、清水・新谷（1998））。砂防堰堤から求められる土砂流出の情報は、過去の一時期のみに限定される点や、そのために大きな土砂移動イベントの影響を受け易い点、などの問題も指摘されているが、流域内の多数の堰堤を対象とすることでそれらの問題を克服できることや、流域内の土砂流出特性を空間的・時間的に多様な条件で検討できる利点が大きいと考えられている。

ただし、砂防堰堤が満砂するまでに要した期間についての情報は丹沢山地では記録としては十分に残されていない。本調査では、満砂までの期間を、航空写真を時系列に追跡し、砂防堰堤の状態の変化から満砂したタイミングを読み取ることによって求めた。航空写真は後述のように必ずしも毎年撮影されているわけではないために、満砂までの期間はある範囲で求められるから、推定される侵食深も誤差を含むこととなる。しかしながら、砂防堰堤の貯砂容量は、直上部の堆積勾配などによっても変化し、満砂前に堰堤を通過する土砂が存在することも考えられるため、元来精度の高い検討には適していない可能性があるものである。その上で、本調査においては流域全体からの土砂流出量（侵食深）が堆砂データによって求められていることから、ここでは流域内の分布の大小を求めることを第一の目的としてこの検討を行うこととした。

航空写真について

表 - 5 に、丹沢山地で撮影された航空写真の一覧を示す。航空写真は様々な分野において広く利用されており、砂防分野においても災害後の調査や崩壊地調査、砂防・治山計画の立案、経過調査を目的として頻繁に利用されてきた（例えば、高橋（1967）、牧野（1969）、藤原（1970）、秋谷（1979）、中越（1996）、日浦ら（2004））。航空写真は、広範囲または多地点の情報を一度に得られる点、現地に行くことなくしてその場所の状況が視覚的に明確になる点などの利点が挙げられる。しかも比較的安価で簡単な手続きにより手に入れることが可能である。航空写真は主に都市部を撮影する国土地理院関係のものと主に森林地域を撮影する林野庁関係のものの大別され、国土地理院関係のものは日本地図センター（東京都目黒区）で、林野庁関係のものは日本森林技術協会（東京都千代田区）に問い合わせれば入手可能である。いずれも手に入れたい撮影箇所を標定図から選んで注文する。標定図は撮影箇所のほかに撮影年次や撮影機関などの諸元が記載されている。

表 - 5 丹沢山地で撮影された航空写真

	完成年	航空写真撮影年																																													
		61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02				
世附川	第六号石堰堤			林				国	林								国	林					国	林																国	国	林					
	大又沢中流堰堤			林				国	林	林							国	林						林																	国	国	林				
	大又沢上流堰堤			林				国	林	林							国	林						林																		国	国	林			
	大又沢上流堰堤			林				国	林	林							国	林						林																			国	国	林		
	広河原堰堤	植		国	林			国			国					国	林						林	林			林	林													国	国	国				
河内川	菩提沢堰堤	植	1926 (T15)		林			国	林	林							国	林					国																			国	国	林			
	菩提沢下流堰堤	植			林			国	林	林							国	林						国																			国	国	林		
	棚沢堰堤	植			林			国	林	林							国	林						国																				国	国	林	
	細川沢堰堤	植			林			国	林	林							国	林						国																				国	国	林	
	小塚沢2号堰堤	植			林			国	林	林							国	林						国																				国	国	林	
	小塚沢3号堰堤	植			林			国	林	林							国	林						国																				国	国	林	
	小塚沢堰堤	植	1927 (S2)		林			国	林	林							国	林						国																				国	国	林	
	湯ノ沢下流堰堤	植			林			国	林	林							国	林						国																				国	国	林	
	溝沢堰堤	植			林			国	林	林							国	林						国																					国	国	林
	小吹堰堤	植			林			国	林	林							国	林						国																					国	国	林
	向沢上流堰堤	植			林			国	林	林							国	林						国																					国	国	林
	向沢堰堤	植			林			国	林	林							国	林						国																					国	国	林
	板小屋上流ダム	植			林			国	林	林							国	林						国																				国	国	林	
	板小屋沢堰堤	植			林			国	林	林							国	林						国																					国	国	林
	唐沢3号堰堤	植			林			国	林	林							国	林						国																					国	国	林
	唐沢2号堰堤	植			林			国	林	林							国	林						国																					国	国	林
	唐沢堰堤	植			林			国	林	林							国	林						国																					国	国	林
	東沢上流堰堤	植	1934(S9)?		林			国	林	林							国	林						国																				国	国		
	東沢中流堰堤	植	1967(S42)		林			国	林	林							国	林						国																				国	国		
	東沢下流堰堤	植	1940(S15)		林			国	林	林							国	林						国																				国	国		
	西沢堰堤	植	1933(S8)		林			国	林	林							国	林						国																				国	国	林	
	西沢台堰堤	植			林			国	林	林							国	林						国																				国	国	林	
	西沢下流堰堤	植	1963(S38)	国	林			国	林	林							国	林						国																				国	国	林	
	西の滝ダム			国	林			国	林	林							国	林						国																				国	国	林	
玄倉川	田代沢堰堤	植		国	林			国	林	林							国	林						国																			国	国			
	大野山堰堤			国	林			国	林	林							国	林						国																				国	国		
	小畑堰堤			国	林			国	林	林							国	林						国																				国	国		
	玄倉中流ダム(仮)			国	林			国	林	林							国	林						国																				国	国		
	上流域			国	林			国	林	林							国	林						国																				国	国		

撮影年次戦前に撮影された航空写真も一部に存在するが、日本全国をカバーするものは戦後に米軍によって撮影されたものももっとも古い。その後、国土地理院や林野庁、県庁、民間撮影機関などによっておよそ5年おきに、ほぼ全国的に撮影されてきた。現在、本格的な撮影の開始から約50年経過したこともあり、近年では長期間に渡る崩壊地の変化や植生の経年変化を明らかにすることが可能となった(例えば相浦ら(1996)、沼本ら(1999)、鈴木(2001)、鈴木(2002a)、鈴木(2002b))。

ただし、撮影地点によっては長期間撮影されていない場合もあり注意が必要である。また、山陰が強い場合やハレーションにより、見たい地点で情報を得られない場合もある。このような場合、衛星写真との併用や必要に応じて現地調査を検討する必要がある。

航空写真の性質とオルソ化

航空写真はカメラのレンズで結像された中心投影画像である(佐藤(1974))。そのため画像の中心(主点)から離れるに従い放射線方向に傾く性質がある。すなわち写真の中心から離れた部分は実際よりも外側に倒れた形に写っている。また、航空写真画像は地上の起伏に応じて、その標高の違いなどから実際とは異なった歪みを生じる(西尾(1964))。こうした写真画像の歪みを正しく補正することをオルソ化(正射化)と言い、オルソ化された写真画像をオルソフォト(正射写真)と呼ぶ。

また、撮影された時期によって使用したカメラの持つ焦点距離や撮影高度の違いなどから写真画像の縮尺はそれぞれ異なっている。

本研究における航空写真のオルソ化手法は、スキャナで読み込んだ写真画像データを市販のソフトウェア(Adobe社 Photoshop)を使用して写真画像の持つ歪みや縮尺を補正する簡易オルソ化手法(沼本(2000))を用いた。簡易オルソ化手法は、同様にスキャナで読み込んだ地形図画像データを背景として、航空写真レイヤーを撮影時期ごとに貼り付け、透過表示にした上で、地形図にあわせて縮尺や歪みを変形させ地形図と一致させていくものである(フィッティング)。さらに階調補正を行って明るさやコントラストを調整することで、撮影時期や時間によって異なる色調の補正を行う。

オルソフォトの作成にはステレオペアの写真フィルムを用い、オルソフォトスコープなどの装置によって微小部分を少しずつ印画紙に焼付けて作成する方法と、航空写真をデジタル化して計算機処理によって作成する方法(デジタルオルソ)がある(日本林業技術協会(2001))。今日ではパソコンを用いた簡単なデジタル処理でオルソフォトを作成することもでき、上記の簡易オルソ化手法もそのようなオルソ化手法の一つである。

航空写真による堆砂状況の判読

航空写真に写し出されている様々な情報を読み取ることを判読という。重力式、アーチ式コンクリートの堰堤は施工後、上流域からの土砂流出に伴ってその直上流で堆砂が進行していき、堆砂地が形成される。およそ5年おきに撮影されている航空写真を比較することで、堆砂の進行状況とともに堆砂地への土砂の流入状況のある程度把握することが可能である。

調査対象とする砂防堰堤について、施工直前か施工後の写真のうち最も古くに撮影された航空写真から最新の航空写真までを用いて、施工から最近までの堆砂状況を目視により判読した。使用した航空写真は全てモノクロ密着単写真であり、写真上で堆砂地上の裸地(堆積土砂)は白色～淡灰色、湛水池や流路は濃灰色、植生は淡黒色～黒色に写る。堰堤の規模や航空写真の状態によっては、満砂時期の特定が困難であるようなケースがあることも予想される。次年度以降の調査で、満砂時期の特定が困難なケースについては、清水・新谷(1998)の用いた方法と同様に、堆砂地へ侵入した植生に対して成長錘などを用いた現地調査を行うことなどが有効であると考えている。

本年度の調査対象堰堤

本年度は、前節の検討で、三保ダム流域内でもっとも土砂流出が激しかった河内川流域内に存在する堰堤を調査対象にすることとした。河内川流域は、古くから治山・砂防工事が行われてきたため、流域内に存在する砂防・治山施設も他の二流域に比べて多い。河内川流域内の堰堤のうち、堰堤流域の面積が大きい西沢下流堰堤、東沢中流堰堤、湯ノ沢下流堰堤の三つをまず調査対象とした。これらの3堰堤の流域面積の合計は、河内川流域面積全体の約24%となる。ここでの推定値が三保ダム堆砂データのうち河内川流域の土砂流出量と比較してどの程度になるかによって、本調査で実施する手法の妥当性について検討できる。また、調査対象とした3つの堰堤は、規模が大きいために、満砂時期の特定は容易であった。なお、本年度は、調査対象とした堰堤が3つとまだ十分な数ではないため、土砂流出の要因の検討のための要素は地形量(基準高度分散量)を求めるのみに留めている。堰堤に関する情報は、「平成9年度三保ダム堆砂対策砂防計画調査報告書」(神奈川県(1998))を参照した。

調査結果および考察

対象とした3つの堰堤の河内川流域内の位置を図-8に示す。また、各堰堤の完成年と貯砂容量を表-6に示す。図-9(a)~(c)には、航空写真から読み取った各堰堤の経過を示してある。3つの堰堤は1977年の時点で満砂していた。

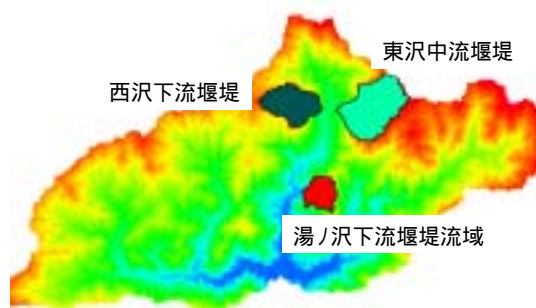


図 - 8 各堰堤の位置

表 - 6 各堰堤の完成年と貯砂容量

堰堤	完成年	貯砂容量(m ³)
西沢下流堰堤	1963	43000
東沢中流堰堤	1967	200000
湯ノ沢下流堰堤	1959	65000

西沢下流堰堤 完成年：1963（S38）年

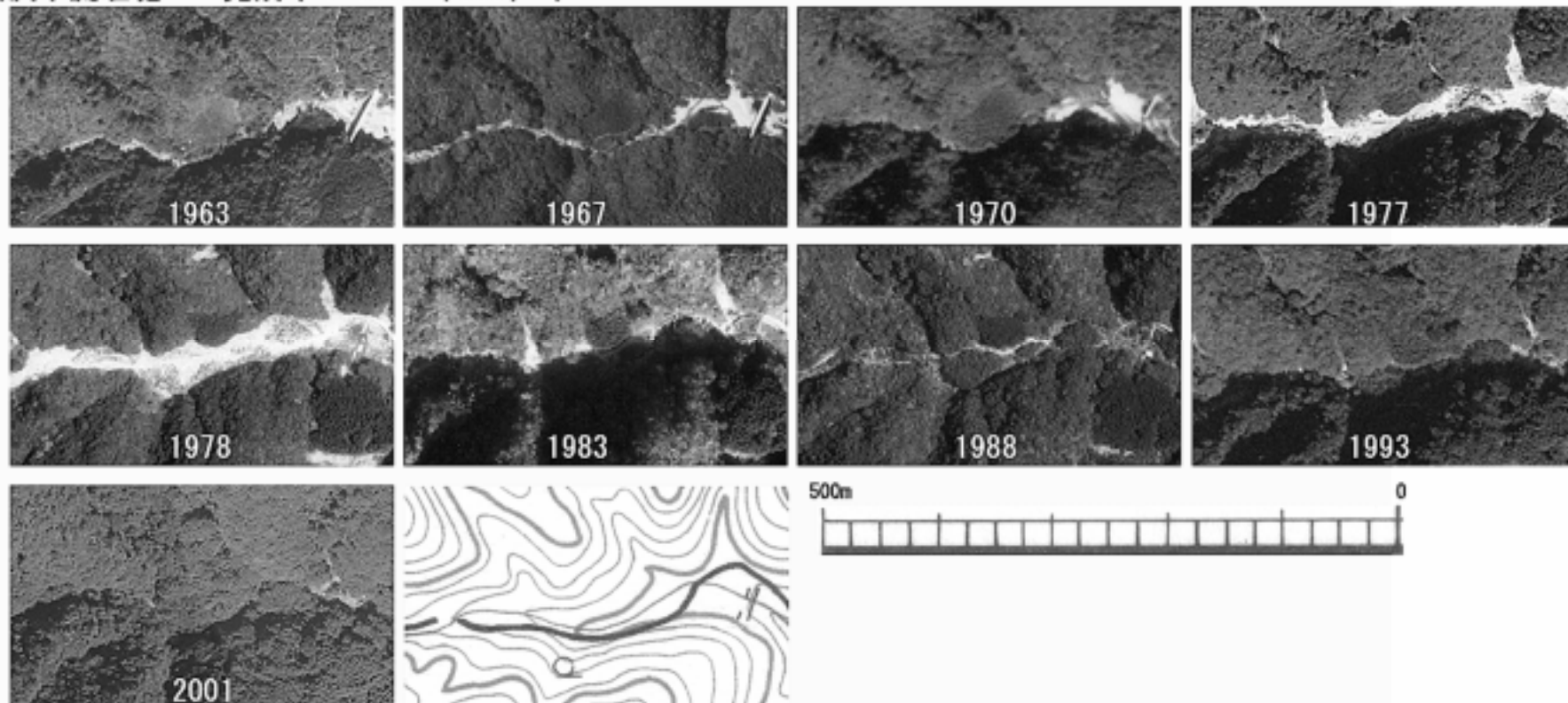


図 - 9 (a) 西沢下流堰堤の経過

東沢中流堰堤 完成年：1967(S42)年

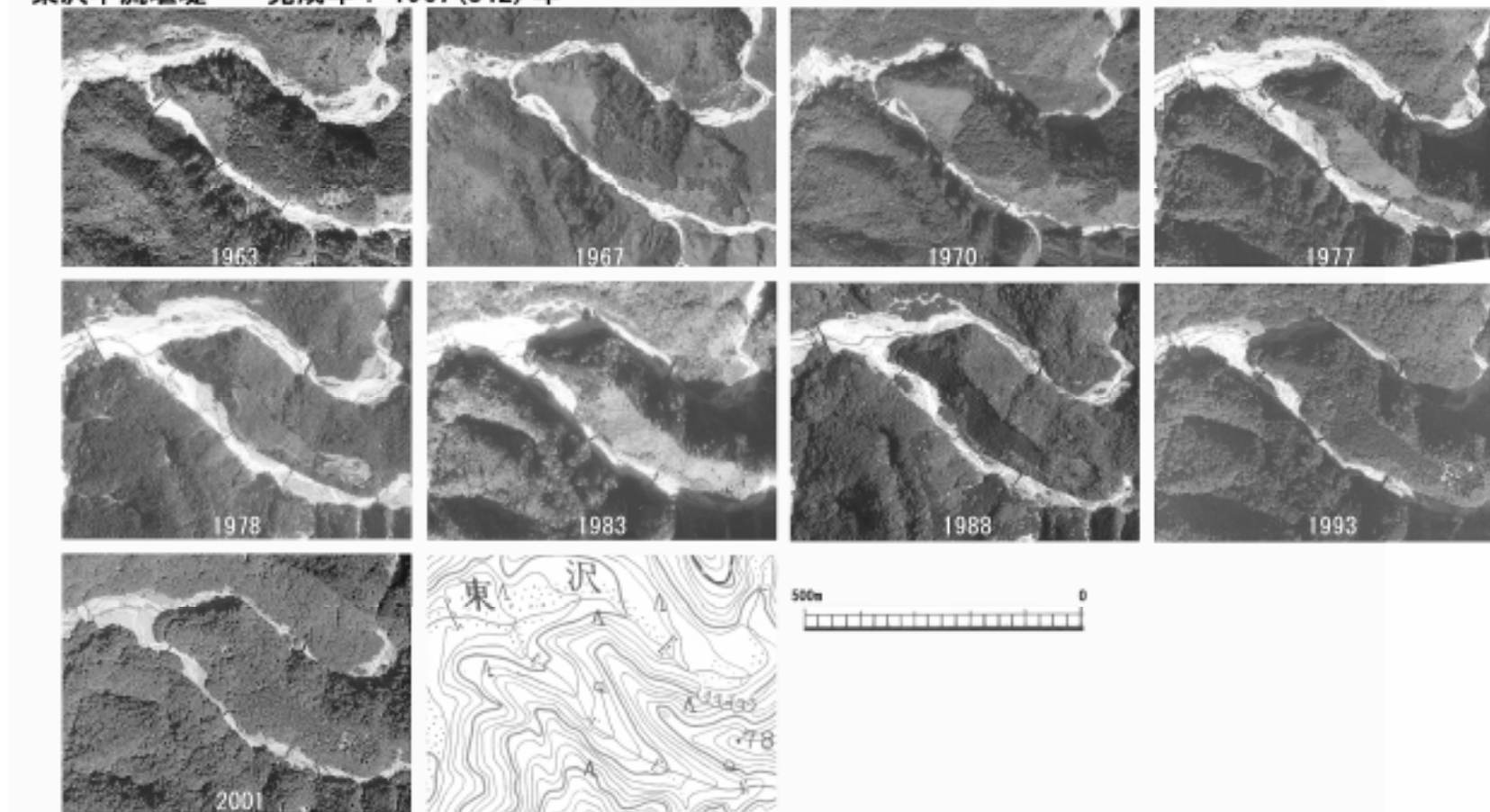


図 - 9 (b) 東沢中流堰堤の経過

湯ノ沢下流堰堤 完成年：1959（S34）年

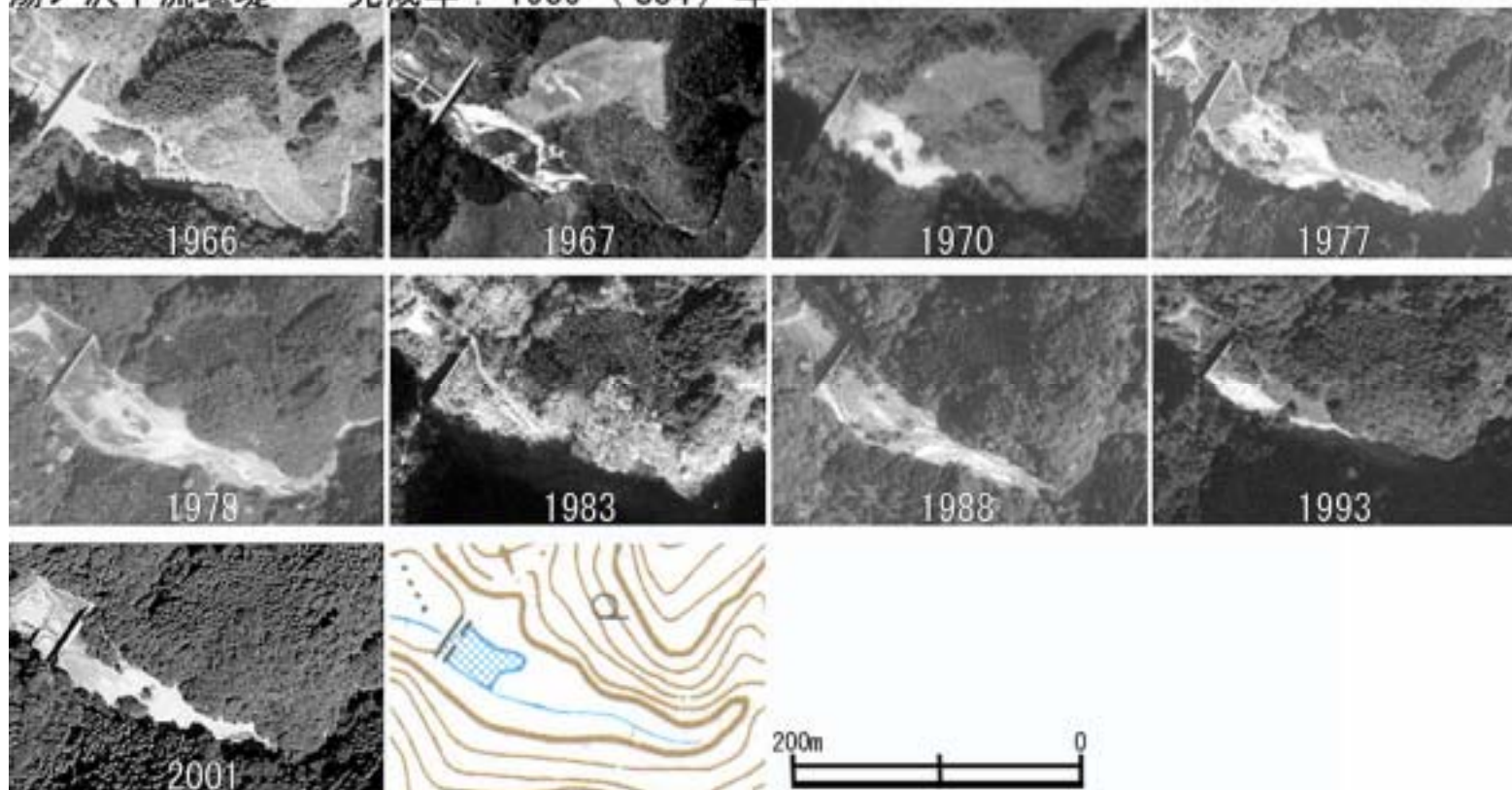


図 - 9 (c) 湯ノ沢下流堰堤

3つの堰堤の満砂までに要した期間から求めた侵食深をまとめたものが、表 - 7 となる。同時に、表 - 4 で得られた三保ダム流域、河内川流域の侵食深も示した。満砂年は1977年として計算して求めた値であり、実際の値は表 - 7 の値よりやや大きくなる可能性がある。

表 - 7 侵食深の分布

流域	流域面積 (km ²)	高度分散量 (m)	平均年侵食深 (mm/year)
西沢下流堰堤流域	2.9*	108.7	0.77
東沢中流堰堤流域	4.9*	127.4	2.87
湯ノ沢下流堰堤	1.6*	95.1	1.61
三保ダム流域	158.5	96.7	1.24
河内川流域	39.1*	109.1	2.03

*流域面積は数値地図より計算 侵食深は空隙率(0.3)を考慮

河内川流域での侵食深(2.03mm)に対して、本調査で用いた推定法によって得られた3つの堰堤の侵食深はそれぞれ0.77mm、2.87mm、1.61mmであり、近い値を取っている。3つの堰堤流域の面積の違いを考慮して、3つの堰堤流域の平均侵食深を算出したところ、2.01mmとなり、河内川流域全体の侵食深とほぼ同じ値となった。3つの堰堤流域の合計は河内川流域全体の面積をカバーしており、このことから、本調査で用いた推定法によって、流域内の土砂流出量の分布は良好に推定できると言える。

3つの堰堤の侵食深は、東沢中流堰堤流域の値が西沢下流堰堤流域の4倍近い値を取るなど、ばらつくことが見て取れる。流域の条件によって、土砂流出量が大きく変わること示しており、今後、さらに小さな流域面積の堰堤を検討していくことによって、流域の条件の違いが強く反映され、このばらつきは大きくなることが予想される。したがって、流域内の土砂分布を求めた上で流域条件の違いとの対応関係を比較する、という本調査の方針は、丹沢山地からの土砂流出の要因を検討する上で有効であると考えられる。

なお、3つの堰堤については、基準高度分散量も同時に求めたが、侵食深の大小との間に相関は確認できない。今後さらに多くの堰堤流域について検討する必要があるが、最も侵食深の大きな東沢中流堰堤流域には多数の崩壊地が存在することなどを考慮すると、本調査で対象とするような小流域では、地形量以外の要因による影響が流域からの土砂流出に寄与している可能性が高い。

3. まとめと今後の予定

本年度の調査の結果として以下の項目が明らかとなった。

- ・三保ダムにおけるダム堆砂データは、経年的に顕著な変化を生じていない
- ・三保ダム流域からの土砂流出量は平均年侵食深換算で 1.24mm であり、地形量（本調査では基準高度分散量を用いた）との対応でみると、全国のダム流域と比較した際に標準～上位であると位置づけられる
- ・三保ダム流域内でもっとも土砂流出量が多い河内川流域（平均年侵食深換算で 2.03mm）において、西沢下流堰堤、東沢中流堰堤、湯ノ沢下流堰堤の満砂までに要した期間を用いて、流域内の土砂流出分布の推定を行ったところ、年平均侵食深換算でそれぞれ 0.77mm、2.87mm、1.61mm と妥当な値が得られた
- ・河内川流域内では、土砂流出量の場所的な違いが大きい
- ・流域内の土砂流出量分布と基準高度分散量のあいだには明確な対応関係は見られなかった

次年度は以下の項目について検討を行い、結果として、丹沢山地において生じる土砂流出がどのような要因によって引き起こされるのかを示す。

- ・本年度に引き続き、河内川流域内の砂防堰堤の満砂までに要した期間を用いてそれぞれの堰堤流域の土砂流出量を推定し、河内川流域内の土砂流出量分布を示す
- ・得られた土砂流出量分布と流域内における、地形量、植生、崩壊地の各要素の分布との対応関係について検討を行い、丹沢山地で土砂流出を引き起こす要因について明らかにする
- ・上記検討で得られた丹沢山地での土砂流出の要因について、航空写真や地図から時系列変化を読み取り、丹沢山地における長期の土砂流出特性について推定する

4. 引用文献

- 相浦英春，嘉戸昭夫，長谷川幹夫（1996）ブナ林の皆伐および針葉樹の造林が行われた多
雪山地における表層崩壊の発生過程，日本林学会誌，Vol.78，No.4，p.398 - 403
- 秋谷孝一（1979）治山の調査設計と航空写真，森林航測，125，p.3 - 8
- 芦田和男，高橋保，道上正規（1983）河川の土砂災害と対策．森北出版．
- 電力土木技術協会（1964-2002）発電用貯水池・調整池土砂堆積状況．電力土木．
- 江崎一博（1966）貯水池の堆砂に関する研究．建設省土木研究所報告．第129号，p.55-83．
- 藤原滉一郎（1970）航空写真による林地崩壊に関する研究，北海道大学農学部演習林報告，
第27巻，第2号，p.297 - 345
- 藤原治，三箇智二，大森博雄（1999）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.85-92．
- 日浦啓全（1991）山地流域における土砂移動に関する研究 砂防ダムの堆砂量の推移から
みた流域内の土砂移動の実態について，高知大学農学部演習林報告，第18号，p.21
- 35
- 日浦啓全，海堀正博，末峯章，里深好文，堤大三（2004）2004年台風10号豪雨による徳
島県木沢村と上那賀町における土砂災害緊急報告(速報)，砂防学会誌、Vol.57，No.4，
p.39 - 47
- 神奈川県（1999）平成9年度三保ダム堆砂対策砂防計画調査報告書
- 河村和夫，井上大榮，角田隆彦，友利方彦，中島達也（1997）わが国における地質別の
崩壊特性と貯水池堆砂．応用地質，第37巻，第6号，p.31-41．
- 建設省河川局監修（1997）建設省河川砂防技術基準(案)同解説計画編，山海堂
- 牧野道幸（1969）空中写真と災害，森林航測，76，p.7 - 9
- 宮崎洋三，大西外明（1998）貯水池の堆砂実績から見た流域の土砂流出についての研究．
水文・水資源学会誌．第11巻，第1号，p.22-30．
- 宮崎洋三，大西外明（1994）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，-28，p.81-90．
- 中越信和，前河正昭（1996）75年を経過した砂防植栽地におけるニセアカシア林の動態，
森林航測，179，p.10 - 13
- 日本林業技術協会（2001）森林・林業百科事典，p.94
- 西尾元充（1964）空からはかる，技報堂，p.62 - 68
- 沼本晋也，鈴木雅一，長友幹，蔵治光一郎，佐倉詔夫，太田猛彦（1999）航空写真を用い
た崩壊地植生回復過程の検討 - 1970年房総南部集中豪雨による崩壊跡地の25年間の変
遷 - ，砂防学会誌，Vol.52，No.2，p.14 - 20
- 沼本晋也（2000）森林斜面における表層崩壊の動態に関する研究 東京大学千葉演習林に
おける1970年豪雨事例を中心として，東京大学大学院農学生命科学研究科 博士論文，

p67 - 69

- Ohmori, H. (1978) Relief Structure of the Japanese Mountains and their Stages in Geomorphic Development. Bull. Dept. Geogr. Univ. Tokyo, No.10
- 岡野眞久, 高柳淳二, 藤井隆弘 (2003) 計画堆砂容量の設定とダム貯水地流入土砂量に基づく貯水池堆砂量推定方法についての考察.ダム水源地環境技術研究所所報, p.31-37.
- 佐藤直志 (1974) 空中写真の性質, 森林航測, 105, p.2 - 7
- 清水収, 新谷融 (1998) 治山・砂防ダムの堆砂を用いた土砂流出速度の広域計測, 平成 9 年度科学研究費補助金 (基盤研究(B)(2)) 研究成果報告書「森林時空間情報解析による流域変動履歴に関する研究」, p.30 - 38
- 鈴木雅一 (2001) 黒部川上流, 廊下沢崩壊地の推移 航空写真を用いた崩壊発生後 25 年間の変化の検討, 砂防学会誌, Vol.54, No.2, p.13 - 18
- 鈴木雅一 (2002) 航空写真による最近 57 年間の丹沢山地北部の崩壊地と森林の変遷, 砂防学会誌, Vol.54, No.5, p.12 - 19
- 鈴木雅一 (2002) 航空写真で見る日本の森林の変貌, (社)日本治山治水協会, 森林の公益的機能 新解説シリーズ 第 2 巻
- 高橋宏治 (1967) 治山調査における航空写真の判読利用について, 森林航測, 63, p.6 - 10
- 竹林征三, 廣瀬昌由 (1993) 新しいダム貯水池計画堆砂量推定法についての提案. 水利科学. 第 210 号, p.1-24.
- 田中治雄, 石外宏 (1951) 貯水池の堆砂量と集水区域の地形及び地質との関係について (第 1 報). 土木学会誌, 第 36 巻, 第 4 号, p.173-177.
- 塚本良則 (1998) 森林・水・土の保全, 5pp, 朝倉書店
- Yoshikawa, T.(1974)Denudation and Tectonic Movement in Contemporary Japan. Bull. Dept. Geogr. Univ. Tokyo, No.6, p.1-14.