

5. 十津川流域における削剥と流砂

諏訪 浩

明治22年十津川崩壊災害のときの十津川流域の平均削剥高は少なめに見積もって90mmないし200mmと推定される。過去40年余りにわたり、十津川流域ではダムへの年平均土砂流出高はおおむね減少傾向にあり、その値は現在およそ0.6mm/年である。崩壊による削剥高とダム堆砂、地盤上昇速度の間の関係について考える。

5.1 熊野川の流砂

奈良県南部を流れる十津川は本宮町で北山川と合流して熊野川となり、新宮で熊野灘に至る（図1）。熊野灘に面して河口から北東へとつづく七里御浜の砂浜が近年やせ細ってきて、漁業に不都合が生じたり、アカウミガメの産卵適地が減少したり、台風による強い波浪で防波堤が決壊したり（写真1）というような災害や問題につながっているとの指摘がなされている（例えば、奥西一夫ほか、2001）。



図1 熊野川流域の水系図。西側の流域が十津川，東側が北山川。



写真1 七里御浜の井田海岸から鵜殿港方面を臨む。前浜の著しい侵食。防波堤の白い部分は1997年の台風による風浪で倒壊し、その後復旧された箇所。2000年11月12日撮影。

その原因として、熊野川河口の鵜殿港が拡張されたために南西から北東へ向けての漂砂の動きが抑制されている。また、熊野川におけるダム建設によって上流から河口へ向けての流砂が阻止されている。さらに、1960年代から70年代にかけて砂利採取が盛んに行われたことなどの影響が指摘されている（例えば、岩田好一朗，2000）。このような問題は様々な現象が関係し、現象の間に相互作用が働いたりするので、原因を定量的に明らかにすることは必ずしも容易でない。

熊野川の流砂を検討するためには全流域を対象とする必要があるが、本稿ではその手始めとして、熊野川の支流である十津川を取り上げる。北山川流域は四万十帯からなる北部と熊野酸性岩が広がる南部からなるが、十津川流域は北端が一部秩父帯であるほかはおおむね四万十帯である。十津川流域では大規模崩壊が北向きの流れ盤斜面に目だつというような、崩壊に関する地質構造規制が指摘されている（平野昌繁ほか，1984）。基盤地質の違いのため、北山川には岩盤河床の区間が多く、瀦峡があり、またラフティングに最適な早瀬が発達するが、十津川は深い谷底の河床は礫床区間が支配的である、というように河川地形が両者でかなり異なる。これらに河川の合流点付近の様子を写真2に示す。



写真2 十津川（左）と北山川の合流点付近の様子。十津川の水は白濁している，原因は砂利採取。北山川は澄んでいる。砂州の礫径は北山川からのもののほうが大きい。北山川流域の石のほうが堅くて破碎し難い。2000年11月13日撮影

5.2 1889年十津川災害

明治22年8月18日から20日にかけて、十津川流域は未曾有の豪雨にみまわれ、崩壊が多発して大災害となった。その様子は、直後に行われた災害調査の報告書である吉野郡水災誌(1891)や、宮本常一(1958)、小出 博(1955)、千葉徳爾(1975)、瀬尾克美(1977)、平野昌繁ほか(1984, 1987)などに詳しい。

脚の遅い雨台風にとまなう豪雨で、十津川流域では8月19日から21日にかけて崩壊が無数に発生した。総雨量は1000mmあるいはそれ以上に達したものと推定されている。縦横がそれぞれ90m以上の、規模が大きな崩壊だけでもおよそ1200箇所を数え、大規模崩壊が河道を閉塞し、天然ダムが新湖を形成したものは53箇所にとどまった。新湖を生じた崩

壊の体積は1箇所あたり 10^6m^3 から 10^7m^3 の桁の規模である。

天然ダムは今も大字永井に残る1箇所（新湖名は大畑瀨）を除きことごとく決壊した。崩壊後数十分ないし数時間で決壊したものから、十数日経過して決壊したもの、さらに9月11日から12日にかけての台風にもともなう大雨で決壊するものもあった。これら新湖の決壊の影響が重なり、下流の十津川および熊野川沿いの多くの集落が洪水に襲われた。例えば新宮町では死者50名、流失家屋数百、半壊家屋3000を数えた。なお、当時の人口が21,792人、戸数4,588戸であった十津川流域では、死者245名、流失364戸、全壊139戸を数えた。大きな被害を受けた十津川の住民に対し、中央や地方の官吏達から移住を勧める話が持ち上がり、当時の国策もあって、600戸、2489名が北海道への移住を決断した。幾多の苦難を乗り越えた入植者達の新しい村はその後発展を遂げ、現在は新十津川町として知られている。明治の水害や移住の経緯については、例えば森・森（1984）に詳しい。

5.3 崩壊にともなう流域斜面の侵食

田畑茂清ら(2001)は、この十津川災害で天然ダムを形成した崩壊の移動土塊体積を求めている。53崩壊のうち27箇所で位置が特定され、体積が求められた。総体積は $200 \times 10^6\text{m}^3$ となる。十津川の流域面積 $1,020\text{km}^2$ で除すと、削剥高（平均侵食深）196mmを得る。移動土塊体積のデータのうち、土砂の移動形式が土石流と推定されるものが半数近くにのぼるが、これらの移動土塊体積データの信頼度はあまり高くないように思われる。そこで、移動形式が崩壊・地すべりであるものに限ると、合計は $91.6 \times 10^6\text{m}^3$ であり、削剥高に換算すると90mmである。

新湖を形成するような大規模崩壊が全崩壊土量のかなりの部分を担っていると思われるが、中小規模の崩壊の土量はこれらには含まれていない。中小規模の崩壊の総土量を当時の資料から推定することは容易でない。しかし、新湖を形成した崩壊の移動土塊量に比べるとかなり少ないと考えられる。中小規模の崩壊による土量を除外するとやや過小に評価



図2 十津川流域のダム

することになるが、1889年十津川崩壊による流域の削剥高は90mmないし200mm程度とみてよいだろう。なお、位置が特定されなかった26箇所については、それらが主として支川の上流に位置していることを考えると、それらの崩壊による土量は、以下で検討する流砂への寄与はあまり大きくないと思われる。

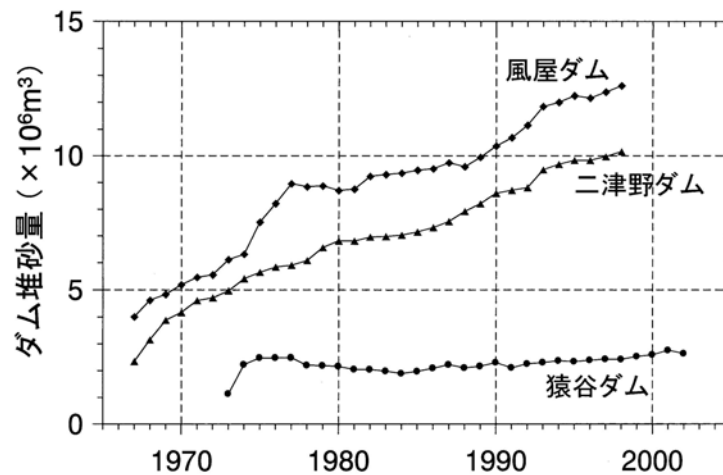


図3 ダム貯水池堆砂量累積値の推移。猿谷ダムは国土交通省紀ノ川ダム統合管理事務所提供の資料に、風屋ダムと二津野ダムは建設省紀南工事事務所(1999)に基づく。

5.4 ダム貯水池への流入土砂

十津川流域には主として発電を目的とするダムが建設されている。1937年九尾ダムが、1940年にはその上流に川迫ダムが、戦後になって、1957年に九尾ダムの下流に猿谷ダム、1960年にはその下流に風屋ダム、さらに下流に二津野ダムがそれぞれ竣工している。また、風屋ダムの集水域には1980年に奥吉野揚水発電所の瀬戸ダムと旭ダムが竣工している(図2参照)。この揚水発電のためのダムは大飯原子力発電所の運転開始に合わせて建設されたものである。

これらのうち集水域が大きいのは猿谷、風屋、二津野の三つのダムである。これらの位置を図1に示し、それぞれのダム堆砂量の推移を図3に示す。この図から、堆砂量の大小は集砂域面積の大きさにおおむね対応していることがわかる。ここで集砂域とは、問題とするダムの全集水面積からそのダムより上流に位置するダムの集水面積を除いた面積と定義する。

表1 ダム貯水池堆砂量と年平均土砂流出高

	期間	堆砂量 ($\times 10^6 \text{ m}^3$)	土砂流出高 (mm/年)	土砂流出高 (mm/年)	集水域 (km^2)	集砂域 (km^2)
猿谷ダム	1973～1985	0.83	0.84	0.62	212	83
	1985～2002	0.66	0.47			
風屋ダム	1967～1985	5.45	0.70	0.64	684	432
	1985～1998	3.15	0.56			
二津野ダム	1967～1985	4.80	0.79	0.75	1019	335
	1985～1998	3.01	0.69			

堆砂量を集砂域の面積で除すと、集砂域からの土砂流出高を得る。これらの値を 12 年間ないし 18 年間の平均値として表 1 に示す。データが覆う期間を 1985 年までの前期間とそれ以降の後期間に分けて得られる土砂流出高を比較すると、三つのダムとも後期間で値が小さいことがわかる。貝塚爽平(1969)によると、風屋ダムでは 1960 年の竣工後 4 年間の年平均堆砂量は $1,118\text{m}^3/\text{km}^2/\text{年}$ 、すなわち風屋ダムへの年平均土砂流出高は $1.11\text{mm}/\text{年}$ であったことになる。この値も考慮すると、土砂流出高は減少傾向にあるとの確信を強める。しかし、この減少傾向は流域における流砂の自然の変化傾向を反映するものなのか、それともダム竣工後、ダム堆砂量のたどる比較的普遍的な変化傾向を示すものなのかは必ずしも明らかでない。1889 年十津川崩壊で生産された土砂の去就を考える上で重要なポイントである。

表 1 では、三つのダムの堆砂データの期間が同一でない。共通の期間として 1973 年から 1998 年までの 25 年間をとりあげて、三つのダムの総集砂域（三つの集砂域の和）からの土砂流出高を求めると、 $0.61\text{mm}/\text{年}$ となる。ちなみに、三つのダムの集砂域の合計は二津野ダムの全集水面積の 83.4%である。

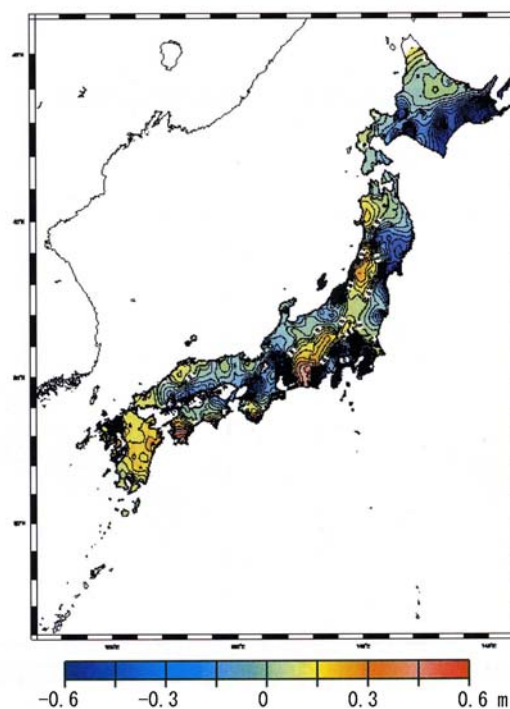


図 4 過去 100 年間に生じた地盤の鉛直変動。国見ほか（2001）を一部改変して引用

5.5 崩壊による削剥高、土砂流出高と地盤高変動の対比

日本列島の第四紀を通じての地盤の垂直変動量が地形面や地層の解析から求められている（例えば、貝塚爽平，1969）。それらによると、紀伊半島中央部の変動量は年平均値でおおむね $0.5\text{mm}\sim 1\text{mm}/\text{年}$ の隆起速度に相当すると考えられる。では、現在の地盤隆起速度はどうだろうか。地盤の隆起速度と削剥速度がおおむねバランスしていると考えることが

できるとすれば、隆起速度はこの範囲で大きめの値が期待される。国土地理院測地部(2001)が過去 100 年間に生じた地盤の上下変動を図(図 4)にしている。それによると、十津川流域では過去 100 年間に 10cm~30cm だけ地盤が上昇していることになる。過去 100 年の間には 1944 年に東南海地震が、1946 年に南海地震が起きている。従って紀伊半島南部ではプレート運動によりおおむねこの程度の隆起速度が期待されるものと思われる。

ここで十津川流域の現在の地盤隆起速度を 1mm/年と仮定すると、1889 年十津川災害の時の削剥量 90mm ないし 200mm は地盤隆起量の 100 年ないし 200 年分に相当することになる。いっぽう、1889 年のような規模が大きな崩壊の頻度はどの程度であろうか。それが 100 年ないし 200 年というのであれば、隆起速度と削剥速度がこの程度に短い時間長でもおおむね釣り合っていることになる。瀬尾克美(1977)には、十津川流域では寛政元年五月(1789 年)、嘉永元年八月一日(1848)にも同様の災害があったと記されている。そのときの崩壊規模をうかがい知ることのできる歴史資料は見あたらない。

1889 年以降には同様規模の崩壊は十津川流域では発生していないが、堀井甚一郎(1961)によると、総雨量が 400mm 前後以上の事例は 7 回以上を数えたことがわかる。そのうち、1953 年 7 月の豪雨では、玉置山の雨量計が 17 日からの 4 日間に 634mm の降雨を記録しており、村内は河川の増水と崖崩れで陸の孤島と化したと記されている。有田川災害を引き起こしたあの豪雨である。1958 年 8 月 25 日の 17 号台風は十津川村役場所在地の小原で 667mm の降雨をもたらし、大きな被害を引き起こしたとある。また、1959 年 9 月 26 日の伊勢湾台風では国道が流失して長期間不通になるなど、被害が大きかったことが記されている。これらの豪雨で生じた崩壊にともなう移動土砂量はしかし、1889 年崩壊に比肩されるほどのものではない。

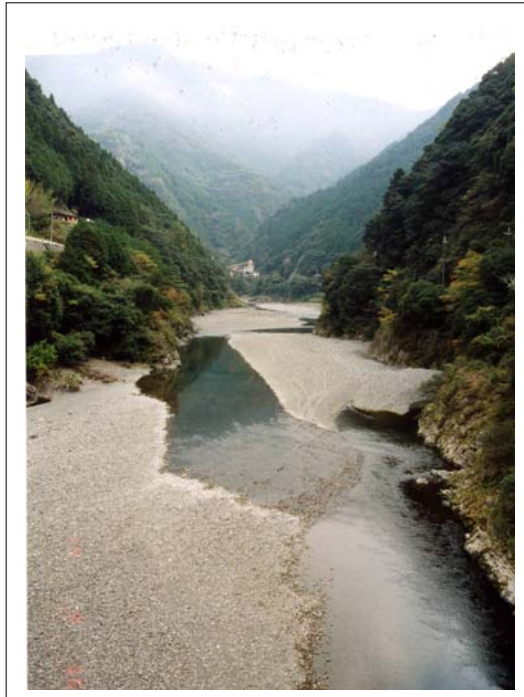


写真 3 湯泉地温泉付近。上流向き。1889 年十津川災害で河床が著しく上昇したままのことで、2000 年 11 月 14 日撮影

ところで、1889 年の崩壊で河道に移動した土砂は必ずしも全てが、そのときの洪水で一気に入下流へ運ばれたわけではなく、崩壊斜面直下、あるいはそこからあまり遠くないところに滞留したものも多かったようである。十津川村役場のある小原から 1.5km 上流にある湯泉地温泉^{とうせんち}付近の河床の堆砂状況を写真 3 に示す。崩壊後にこのように滞留した土砂のさらに下流へ向けての移動は、上述のような豪雨の度に活発化したものと思われる。いわゆる Sediment wave（例えば、池田 宏，2000）が伝播するなかで下流へ向けて徐々に動いていくというのが一般的だと考えられる。そして崩壊から 50 年が経過しようとする頃から、流域には徐々にダムが建設されてゆき、土砂移動は抑制されるようになった。4 節に記した堆砂データはダムが建設され始めてから、さらに 30 年を経過して以降のものである。風屋ダムの様子を写真 4 に示す。



写真 4 風屋ダムとその下流（風屋大橋から望む）。ダム下流右手から支川滝川が合流。
ただし流砂は少なく、岩盤河床の状態に近い。2000 年 11 月 14 日撮影

表 1 に示す土砂流出高に 1889 年崩壊起源の土砂はどのように寄与しているだろうか。ダムがあるので流砂が把握できる一方、ダムが入ってしまったため流砂の状態はもはや自然の状態とは異なる。

先に述べた地盤の隆起速度に見合う削剥速度という概念に戻ると、ダム堆砂から得られる最近の年平均土砂流出高 0.61mm/年は、過去 100 年に生じた地盤隆起の速度 1~3mm/年より小さいことがわかる。土砂流出高が減少してきて現在はその平均削剥速度より小さくなっているということなのか。1889 年崩壊起源の土砂が流砂に寄与していて、寄与の程度が徐々に低下してきていることを示すのだろうか。いや、それほど単純に割り切れるも

のではないかも知れない。流域にはほかにも削剥速度を左右する条件があるように思われる。自然林が人工林に変えられ、その人工林が近年の林業の斜陽化で荒廃するという状況や、道路建設、砂防ダムや治山ダム、山腹工の施工など、影響条件は多い。また、ダム堆砂量だけから推定される土砂流出高は、過小評価になっているだろう。河道区間では量的には少ないながら、現在も砂利採取が行われている（写真5）。また、出水時には濁水中の懸濁粒子は浮流砂となってダムの下流へ流れ去っている。しかし、それらの量の把握は必ずしも容易でない。



図5 砂利採取の様子（左）
と国道168号芦廼瀬川橋の下
の砕石プラント（上）。
2000年11月14日撮影

大雨の度に、また震度4を超えるような強震を伴う地震の度に山が緩むといわれる。兵庫県南部地震の例を見るまでもなく、強震にさらされると、その地震で崩れなくても、斜面の部位によっては亀裂が入るなどして斜面が不安定になること、同時に降雨浸透特性や流出特性に変化が生じることはよく知られている。90年ないし150年間隔でくり返すという南海、東南海地震は、1889年十津川災害の時のような大規模崩壊にどのような影響を及ぼしているだろうか。また、削剥速度を1mm/年とすると、1889年十津川災害の時の削剥量90mmないし200mmは90年ないし200年分の削剥に相当することになるが、この時間長と、南海、東南海地震の繰り返し間隔とがあまり変わらないのは意外なことのようにも思われる。海溝型地震は周期的に起こるが、それと比べると豪雨の規模も出現も著しく不規則だからだ。周期的にくり返す海溝型地震の揺れや、さらに高頻度にかかる内陸直下型地震の揺れが、1889年十津川災害の時のような豪雨による大規模崩壊の素因にどのような影響を及ぼすかを明らかにすることは重要な課題である。2004年9月5日と6日には都合3回、紀伊半島南東沖を震源とする地震（本震はM7.4）があり、所によっては震度5弱の揺れを記録した（図6）。1889年以降の地震で目につくものを挙げると以下ようになる（国会資料編纂会、1998など）。

1. 1899年（明治32年）3月7日、9時55分 マグニチュードM7.0、震央は紀伊半島東南部、奈良県吉野郡と三重県南牟婁郡で被害が大。奈良県では北山筋で被害が大。

震度は、十津川筋ではおおむね4～5、北山筋で5～6。

2. 1906年（明治39年）5月5日，8時9分 M6.2，震央は紀伊中部，御坊や湯浅で壁に亀裂，田辺で壁落下，本宮で落石などの小被害

3. 1944年（昭和19年）12月7日，13時35分，東南海地震 M7.9，震源の深さDは40km，奈良県で死者3，負傷21，住宅の全壊89戸，半壊177戸など。十津川筋ではおおむね震度5。

4. 1946年（昭和21年）12月21日，4時19分，南海地震 M8.0，D24km，奈良県では負傷者13，住宅の全壊37，半壊46など。十津川筋の震度はおおむね5。

5. 1948年（昭和23年）5月15日，20時44分，M6.7，D0km，田辺市付近が震源，和歌山県と奈良県南部で小被害。西牟婁地方で被害が大きかった。死者2，負傷33，家屋の倒壊60など。和歌山の被害は死者1，負傷18，家屋の全壊4，半壊33，道路の崩壊597，橋の落下2，山崩れ51など。

6. 1950年（昭和25年）5月26日，16時4分，M6.5，D47km，熊野川下流，木ノ本（現熊野市－矢ノ川峠－尾鷲に通ずる山道）の10箇所以上で山崩れ・落石による被害。畑の石垣崩壊（木ノ本）あり。墓石の転倒はなかった。

7. 2004年（平成16年）9月5日紀伊半島南東沖地震，19時7分，M7.1，D38km，23時57分，M7.4，D44km，

これらの地震による強震が1889年十津川災害のような大規模崩壊の素因形成にどのように寄与するか。それについては第7章においてさらに議論される。

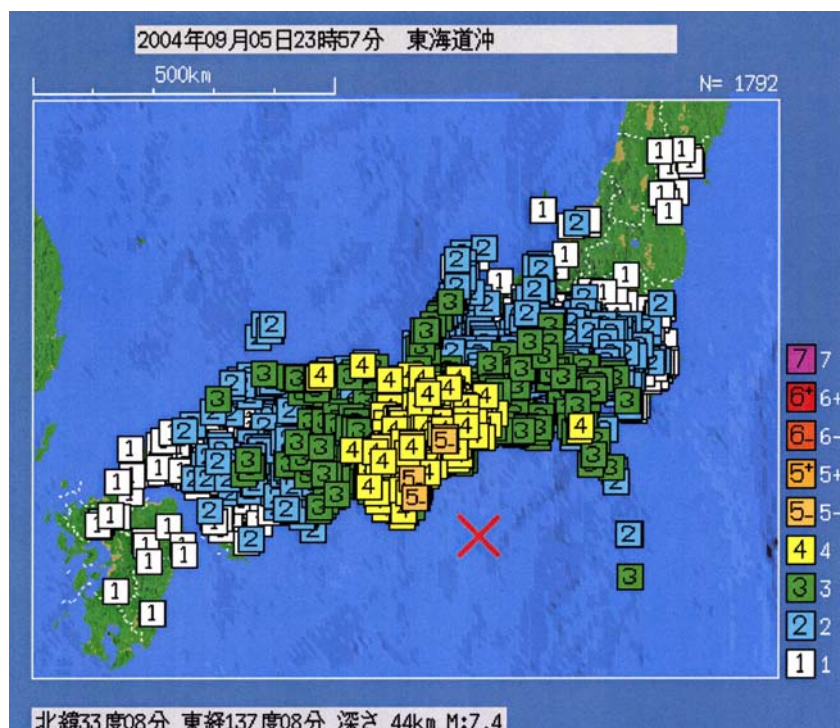


図5 2004年9月5日紀伊半島南西沖地震による震度分布。気象庁（2004）を一部改変

謝 辞

国土交通省紀ノ川ダム統合管理所には猿谷ダム貯水池における堆砂データを提供して頂いた。また、京都大学防災研究所の川崎一郎教授には日本列島過去 100 年間に生じた地盤変動図の存在をご教示頂いた。これら関係各位に感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 千葉徳爾(1975)明治 22 年十津川災害における崩壊特性について(I); (II), 水利科学, 19 巻 2 号, 39-54 ; 19 巻 4 号, 20-38.
- 2) 平野昌繁・諏訪 浩・石井孝行・藤田 崇・後町幸雄(1984) 1989 年 8 月豪雨による十津川災害の再検討, 京都大学防災研究所年報, 27B-1, 369-386.
- 3) 平野昌繁・諏訪 浩・石井孝行・藤田 崇・奥田節夫 (1987) 吉野郡水災誌小字地名にもとづく 1988 (明治 22) 年十津川災害崩壊地の比定 (その 1 ; 西十津川), 京都大学防災研究所年報, 30B-1, 391-408.
- 4) 堀井甚一郎(1961)「十津川」(十津川村役場発行) の第 1 章, 1-36.
- 5) 池田 宏(2000)山から海までの土砂礫の移動と粒径変化, 月刊海洋, Vol. 32, No. 3, 151-155.
- 6) 岩田好一朗(2000)熊野川河口周辺域の海岸浸食, 月刊海洋, Vol. 32, No. 3, 192-196.
- 7) 貝塚爽平(1969)地形変化の速さ, 西村嘉助編「自然地理学Ⅱ」, 朝倉書店, 164-192.
- 8) 建設省紀南工事事務所(1999)熊野川河床調査委員会資料
- 9) 小出 博(1955)日本の地すべり, 東洋経済新聞社, 259p.
- 10) 気象庁 (2004) Web site: www.seisvol.kishou.go.jp/eq/shindo_db/db_map/200409/05/A200409052354168001303308……
- 11) 国会資料編纂会 (1998) 日本の自然災害, 637 p
- 12) 国見利夫・高野良仁・鈴木実・斎藤正・成田次範・岡村盛司 (2001) 水準測量から求めた日本列島 100 年間の地殻上下変動, 国土地理院時報, No.96, 23-37.
- 13) 宮本常一(1958)十津川崩れ, 水利科学, 2 巻 5 号, 1958, 83-94.
- 14) 森 秀太郎・森 巖 (1984) 懐旧録 十津川移民, 新宿書房, 296p.
- 15) 奥西一夫ほか(2001)京都大学防災研究所一般共同研究 12G-9 報告書, 127p.
- 16) 瀬尾克美(1977)十津川災害について, 新砂防 (砂防学会誌), Vol. 30, No. 2 (通巻 105 号), 11-15.
- 17) 諏訪 浩 (2004) 十津川流域の侵食と流砂, 月刊海洋, 36(3), 200-204.
- 18) 田畑茂清・井上公夫・早川智也・佐野史織(2001)降雨により群発した天然ダムの形成と決壊に関する事例研究, 砂防学会誌, 53(6), 66-76.
- 19) 宇智吉野郡役所(1891)吉野郡水災誌, 全十一巻.