

結晶片岩地域における山地の堆砂現象について  
——徳島県祖谷川流域の荒廃地調査を中心として——

渡辺 和 衛\*

Land Devastation and Sediment Accumulation in the Area of Crystalline  
Schists along the River Iya, Tokushima Prefecture

by

Kazué Watanabe

Abstract

The research works on land devastation and sediment accumulation have never been done in crystalline schist areas before. The writer met with the new phenomena between the river discharge and erosion coefficient which were reverse to the previous data obtained in other regions of different rocks. And the potentiality of landslide region becomes larger with the increasing difference between the two opposite factors in this field. At the lowest course of the river Iya, the peculiar erosion coefficients were measured. Black schist is most brittle, green schist is moderate, schistose sandstone is slightly harder, and conglomerate schist is more harder. The tectonic lines play stronger role of devastation activity than that of other non-crystalline rock region.

In conclusion, the writer estimated the sediment accumulation at  $630\text{m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ . In comparison with the accumulation of this region, Nagasawa water reservoir on the uppermost course of the river Yoshino shows its abruptly abnormal sediment accumulation ( $5,560\text{m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ ). The cause of this fact is still under question.

要 旨

結晶片岩地域はいままで堆砂現象調査の対象地域となつたことがなかつた。今回幸い日本で最も広く長瀬帯の発達する祖谷川において、この調査を実施することができた。こゝでは比流量調査と侵食係数測定の結果から地すべり地の特色をよく確かめることができた。さらにまた、上椎葉の調査の際に用いた方法により、岩石種による固有の侵食係数を求めて、実際の状況と照合してみた。本地域では構造線の発達によつて、侵食係数の低下がよく示され、この点は他の地域と同一であつた。さらに大宮・和田の2地点にダムを建設した場合の推定堆砂量を計算した。現在出合観測所で流量測定が実施されているが、その結果をみても、その変化が激しいことが知られた。特に集中豪雨の際には流出土砂量が急激に増加するためと思う。これは今後の測定結果にまつこととした。

\* 地質部

ついでに吉野川最上流の長沢貯水池の異常堆砂現象にふれ、本地域との比較を試みた。

1. 緒 言

治山治水調査の対象地域として本地域の調査を昭和34年度に実施した。

今回の調査までに本地域の地質状況をふりかえつてみると、江ノ川が花崗岩、大井川・耳川が中生代または古生代の砂岩層・粘板岩層（四万十層）、庄川が花崗岩・花崗斑岩、手取川が中生代手取統、高瀬川が花崗岩地域という状況で、結晶片岩系（三波川系・長瀬系）に相当するものがなかつた。本地の調査によつて、はじめて日本でも最も広く長瀬系の発達する地域を対象とすることができた。

本地域は吉野川水系祖谷川の上流部にあたり、第4次水力調査計画として、大宮谷付近にアーチ式ダム、和田付近にホローグラヴィティ式ダムの建設の計画がある。現在は水路式の発電所が運転中である。結晶片岩系



結晶片岩地域における山地の堆砂現象について (渡辺和衛)

ている。変質の点からは別子統との対比上種々の問題がある。本地域はほぼ中央構造線と御荷鉢線の間にあるものであつて、下流部については、広島大学の光野千春が「徳島県西南部結晶片岩地域の地質および岩石について」において述べており、最近は広島大学において5万分の1川口図幅が完成されていると聞くので、その全貌が明らかとなりつつある。

四国外帯のこの結晶片岩帯については、すでに小川琢治により

上段 別子統 (三波川層中・下部に相当)

- 上部 { 石墨片岩ならびに緑泥片岩
- { 緑泥片岩・石墨片岩ならびに紅簾片岩
- { 角閃片岩

- 下部 { 榴閃岩・石榴網雲母片岩・角閃片岩・石灰岩・紅簾片岩・藍閃片岩・石墨片岩・緑泥片岩・網雲母片岩

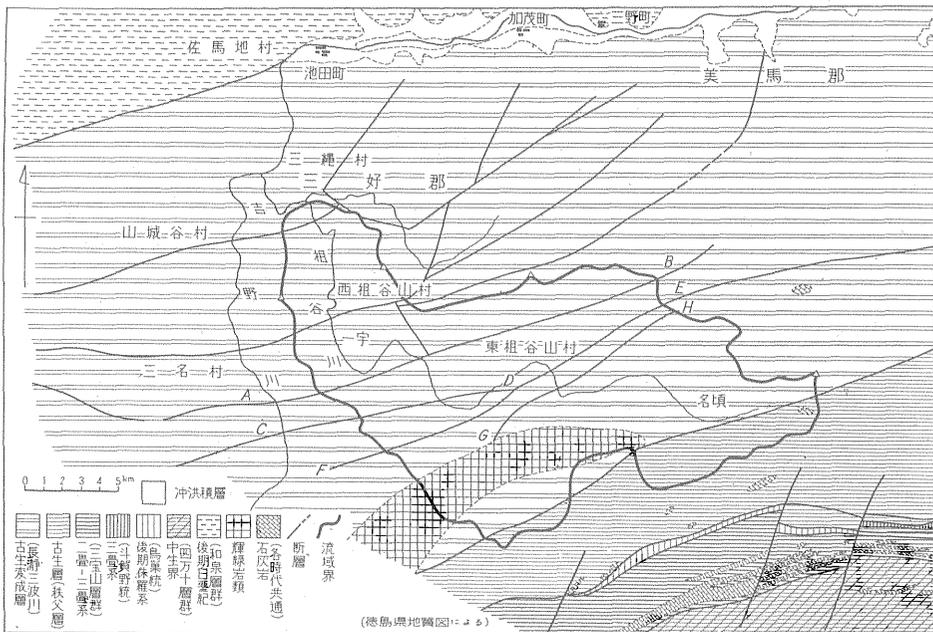
下段 大崩壊統

上部 石墨千枚岩、ならびに緑泥千枚岩

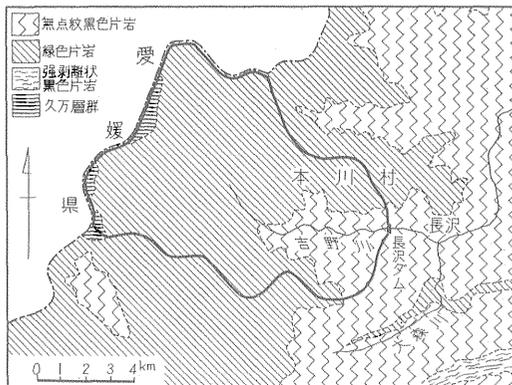
下部 大崩壊片麻岩ならびに片岩

に分類されている。

さて従来の学説を検討するとまことに諸学者の説が多く、それも変成の程度とか、層序決定上の困難性とかによつたものが多い。応用地質の観点では、主としてその岩質の物理性が問題となるので、その点に焦点をしぼつて学説の問題は、しばらくこれを措くことにする。第2図aをみると、本流域はほとんど長瀬帯中にあるが、南



第2図a 祖谷川流域周辺の地質概要



第2図b 長沢ダム上流地質

部名頃付近より南が一部秩父古生層地帯にはいつている。また小川谷の中部には輝緑岩体が貫入している。断層線も多く東西性のもので中央構造線および御荷鉢線に平行のものが多い。そして岩質および構造線の存在によつて後述の侵食係数が色々に変化を示し、1つの規則性を持つていることは本地域の特色であつて、項を改めてその詳細について述べるつもりである。

3.1 主要路線に沿う地質・地形と災害地

3.1.1 大宮谷—宇間

大宮谷のアーチダム計画地点は、尾原信彦によつて詳細に調査が実施されている。付近一帯が片状砂岩によつて構成されている。これは大崩壊層中に好発達するもの

であつて、片麻岩質の岩相を示す部分がある。大宮谷・肥谷等の右岸側は侵食係数も 0.05~0.06 の高い値を示しており、巖々たる山容を呈している。これに反して左岸側の田丸・田丸谷等の国見山の東麓は一般に低い値で 0.04 付近の値を示している。現地観察によれば左岸側の高度 300~400 m の辺に段丘らしきものが存在していることが影響しているものと思われる。第 5 図の侵食係数階級別図をみても、左岸側の方が 0.04~0.05 の値を示す面積がきわめて広く示されていて起伏凹凸が少ない。しかし一般に植生の発達が悪く谷底まで急勾配で単調な斜面を持つている。しかし供給砂礫が少なければ堆砂量もそれほど大きいものとは思われない。この岩石の状況を見ると岩質が相当に堅硬であつて、裂かその他破砕面が発達するような場所以外では、あまり砂礫の搬出が大きくなるように思われる。走向は一般に N80°E のものが多いが、所々で N25°W のような異常を示す部分がある。崩落している崖錐礫の量は右岸側の方がはるかに多いのも侵食係数の値に示されているとおりでである。特に眠谷の付近は観察によれば、高度 400 m より上位の山腹斜面に累々として巨石礫が存在し、0.0662 という本地域最高の値を示す意味がわかるような気がする。若宮谷には礫岩片岩や黒色片岩(千枚岩質)が存在している。こゝには調整池があつてその堆砂状況を注意してみたがあまり貯水池底に堆積していないようであつた。排砂門ももちろんあるがあまり使用された形跡も見えなかつた。貯水池の脊水地点にはかなり細屑化せられた砂礫がたまつている。若宮谷の侵食係数は 0.0435 である。こゝは 0.04~0.05 の分布がもつとも広く占めていてかなり安定化した状況を示している。左岸側の戸ノ谷谷も地質的には若宮谷と同一である(第 1 表参照)。戸ノ谷谷では 0.0303 である。これは地質分布以外の原因、すなわち構造とか地形とかによるものと考えられる(第 2 図 a 参照)。

### 3.1.2 一字一石脇谷間

地質分布からみると、一字・橋詰、および戸ノ谷の南半、名越谷・栗寄谷にかけて、黒色片岩・片状砂岩・緑色片岩が互層となつて、分布している。したがつて、これより北部とは、侵食係数において相違がみられるはずである。第 9 図をみると吉野川の下名、上日浦方面から真地、高野方面へ向かつて褶曲または衝上断層が見られる。したがつて侵食係数の低下が当然予想される所である。戸ノ谷谷が 0.0303、名越谷 0.0405、栗寄谷 0.0368 を示している。これをみても依然として右岸側の方がやや高い値を保持している。この南の重末谷・善徳・今久保・石脇谷の各支流地域では断層を境として累積してい

る地層の状況が異なつており、緑色片岩が多くなつていゝ。そしてこの地域は、第 2 図 a でみられるように東西性の断層がある。この影響が必ず現われるはずである。この地域中で善徳は地すべり地として指定地域となつており、対策工事が実施されている。重末谷の 0.024、今久保付近の 0.028、善徳の 0.0222、石脇谷の 0.039 がこれで極端に低い値を示している。河川水質の上にもその特色を示している。このような地域がまた比流量の値の高い所となつていゝのは、いままでの事例にはなかつた点であつて、本地域の特色といえる。

善徳については特に細かく比流量調査を実施したが、付近には横穴式の排水路や水平式水抜ボーリングが実施されている。特に箸谷方面がよく実施されている。この比流量が高いという点は今後も警戒を要する点であつて、地すべり現象が今後も継続する可能性を示している。

### 3.1.3 石脇谷一京上谷間

石脇谷よりやゝ上流に和田地点があり、ダムサイトとして選定した地点がある。この和田地点の上下流は 0.05 位のかかなり高い侵食係数を示して、案外に堅硬な岩盤によつて構成されているようである。第 6 図の溶流物質等値線図によつてみても、50kg/day/km<sup>2</sup> の最低の値を示し、これは大宮谷方面の片状砂岩地帯とほぼ同様の値である。一般に濃度希薄な所は風化が著しく進んでいないと考えられる所で、岩盤も新鮮な露出を示していることが多い。この区間の侵食係数は 0.03~0.04 の程度であつて路線地質図によつて地質をみても、緑泥片岩・石墨片岩および石墨千枚岩からなつていゝ。例外として小島橋より南 466.7 m の地点までには片状砂岩が露頭しており、急傾斜の谷壁を形成している。なお釣井(大寺)付近に侵食係数 0.035 の地点があり、河川に平行した断層線の存在が考えられる。一般に左岸側は植生の発達が悪く、露岩が山肌の処々に見られ、谷の勾配も強く谷壁の発達が著しく悪くなつていゝ。対岸から河川の流況を遠望できるほどである。和田谷は侵食係数 0.041、釣井谷 0.042、元井谷 0.032、梅峯谷 0.044、大枝 0.031、京上谷 0.019、小川谷 0.04 となつていゝ。このうち京上谷の値が著しく低い。小川谷は流域も大で、やゝ発達した流域で支川というよりは、小規模な延長川の性格を備え、河口も広く河床礫の sorting もよく正常である。この中流に輝緑岩体の貫入があるので、河床礫はその存在をよく物語つていゝ。

京上谷から東へ 0.02 の低い地域が延びていゝが、ここは比流量値も低く、地すべりの危険度は、はるかに低いようである。

### 3.1.4 京上谷—西山谷間

京上谷付近は石墨千枚岩で構成されている。この岩質は風化を受けるとはなはだ弱く侵食係数が異常に低くなるのであろう。下瀬農協付近に地すべり地があるが、あまり大規模なものではないようである。林谷・釜谷の侵食係数は0.034を示して中庸の値である。ところが下瀬・鎖谷の前面、蔓原谷付近は0.029から0.014と急激に侵食係数の低下を示している。この付近は石墨絹雲母片岩と緑泥片岩の薄層の交互層であつて、特に緑泥片岩の部分風化しており、軟弱化している。またこの付近には小砂利の堆積段丘がよく発達し、これが侵食係数が低く示される1つの理由である。原久保方面は比流量においても $5\text{ m}^3/\text{sec}/100\text{ km}^2$ 以上である。しかも溶流物質量でも $500\text{ kg}/\text{day}/\text{km}^2$ の値を示している。この地すべり地が現在はやゝ安定しているが、まだまだすべる可能性が残っているようである。

### 3.1.5 西山谷—菅生間

西山谷は侵食係数は0.037である。河床礫は一般に柱質な角礫が多く、石英片岩の分布が広いものと思われる。西山谷の比流量は $4\text{ m}^3/\text{sec}/100\text{ km}^2$ でやゝ高い値である。これから東の久保谷の方面では比流量が著しく低くなつている。この付近は数本の断層の交錯するところであるが、侵食係数の上にその変化は示されていない。滝下付近から侵食係数が低くなり0.029を示す。菅生も0.0198である。この付近は段丘層がかなり厚く堆積し、凹地群さえ見られている。一般にこうした堆積層の厚い所は比流量が低いものであるのが常識であるが、こゝも著しく高い比流量をもつている。溶流物質量も $150\text{ kg}/\text{day}/100\text{ km}^2$ を示してかなり高い。これは前の善徳・久保方面と非常によく似た現象である。菅生の地すべり地もこの地域内にある。これがこのような結晶片岩地域の地すべりにおける1つの特色と結論することができる。

### 3.1.6 菅生—名頃

菅生より上流名頃までの間は、いままでと多少異なつた現象を呈している。それは右岸にみられる大ダレ、カイキ荒(樺荒)に見られる、山崩れ現象である。岩質が一般に堅硬で片状構造の発達比較的弱いところである。したがつて侵食係数の低下も0.025~0.035の程度にとどまつている。比流量も大ダレの西の支流を除いて $3\text{ m}^3/\text{sec}/100\text{ km}^2$ 以下である。また溶流物質量も $30\sim 80\text{ kg}/\text{day}/\text{km}^2$ の程度で決して高い濃度でもない。したがつて善徳や久保でみられたような地すべり現象でなく、岩石表面が剝離するといつた災害のようである。これには小さな裂かの発達状況とか山腹の傾斜などが潜在因とし

て存し、集中豪雨その他の原因がきっかけとなつて発生したように思われる。その後は風化の促進とか、二次的の要因によつて漸次、その災害範囲が拡大されたものようである。

カイキ荒や、大ダレの対岸をみると、小起伏の山崩れ地形がよく観察され、案外に水量の多いことも観察される。あるいはこの付近に破碎帯の発達があるのではないかと思われ、そのことは地質図からはよみとれるのである。

### 3.1.7 名頃上流地域

名頃から上流地域は地質的にみれば、南部に秩父古生層が発達している。本流に対する支流はこの秩父古生層中の方がよく発達している。侵食係数は0.0425である。比流量は $4.35\text{ m}^3/\text{sec}/100\text{ km}^2$ であり、溶流物質量も $90\text{ kg}/\text{day}/100\text{ km}^2$ でやゝ高い値を示している。

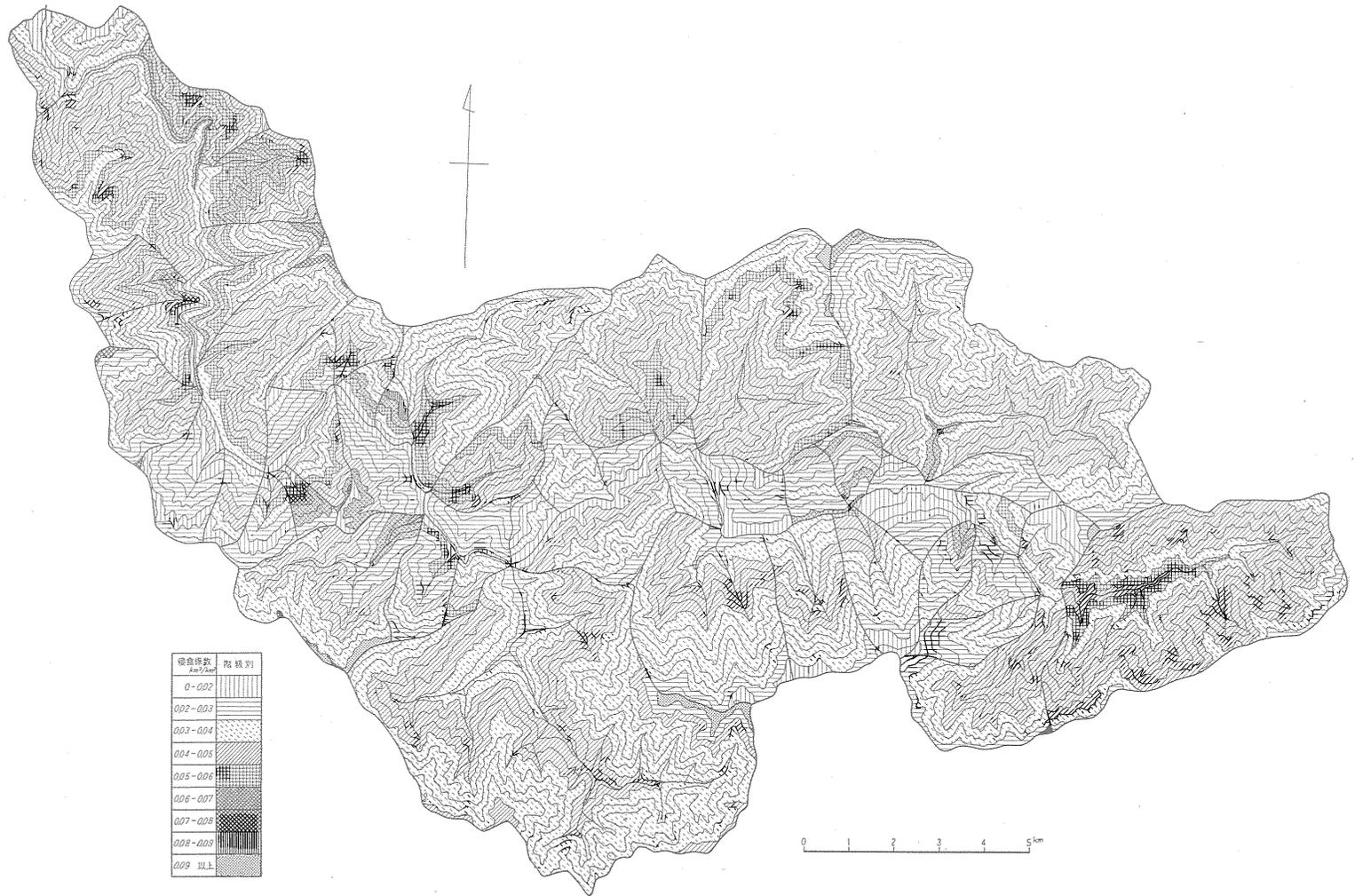
### 3.2 侵食係数分布図・比流量分布図・溶流物質量分布図による全域の概観

第3図は低水量比流量分布図を示したものである。比流量計測面積は $149.31\text{ km}^2$ であるので、この時期の比流量は $2.58\text{ m}^3/\text{sec}/100\text{ km}^2$ となる。祖谷川の和田測水所の記録によると、 $190\text{ km}^2$ の流域面積として、長期平均で低水量は $2.81\text{ m}^3/\text{sec}/100\text{ km}^2$ 、濁水量 $1.91\text{ m}^3/\text{sec}/100\text{ km}^2$ であるからこの時期は低水と濁水との中間に位するものである。その分布をみると、若宮谷・重末谷より下流は、 $2\text{ m}^3/\text{sec}/100\text{ km}^2$ 以下の値であり、片状砂岩の分布地域とよく合致している。眠谷が特に低い値を示している。侵食係数の異常に高いのと思ひ合わせてみると興味深い。栗寄谷から名越谷・善徳・今久保谷方面にわたつて、高い比流量地域があり、災害地の所在と一致している。大体この流域の2倍近い比流量を示している。この付近の侵食係数が異常に低いこともすでに述べた。右岸側は小島谷・和田谷・京上谷の方向に向かつて、段々と2より1へと比流量が減少している。左岸側は $3\text{ m}^3/\text{sec}/100\text{ km}^2$ で右岸より高く、元井谷付近は $5\text{ m}^3/\text{sec}/100\text{ km}^2$ の高い値を示している。西山谷も $4\text{ m}^3/\text{sec}/100\text{ km}^2$ の値である。西山の対岸が比流量が高く侵食係数が低いことについてはすでに述べた。さらに上流左岸の菅生・切谷方面は $5\text{ m}^3/\text{sec}/100\text{ km}^2$ の値を示し、侵食係数0.03~0.01の低い値である。第4図は侵食係数分布図である。これをみるに当つて第2図aの地質概要図に示されているA—B, C—D, D—E, F—G, G—Hの各断層線に注意する必要がある。この各断層線に沿つた地域の侵食係数を検討すると、多く低い侵食係数を示していることが明らかとなる。各地点についてはすでに前項に述べておいたので省略する。





第4図 祖谷川侵食係数分布図 単位  $\text{km}^3/\text{km}^2$



第5圖 祖谷川侵食係数階級別分布図

3.2.1 侵食係数と溶流物質質量について

第6図は溶流物質質量分布図を示す。これは、河川中のイオン濃度と流量との積を単位面積における1日の量として示したものの分布図である。第1表によれば河川中におけるイオン濃度は、最少17ppmから最大1,077ppmまでであるが流量の大小に大きく影響されるわけである。一般に災害地(地すべり、崩壊など)ほど流出物質が多

いものであるから、この値の大きいほど不安定な所ということになる。たゞ、温泉水などの場合は例外である。この観点から第6図をみると、善徳・名越・石脇方面の災害地が特に高い値を示している。左岸では元井谷付近が高い値を示している。この両者の間に挟まれた地域は冥地一鎖谷間で一般に50以下の低い値を示している。原一久保の高い地域が地すべり地であることは、すでに

第1表 祖谷川水力計画地域付近の各支流の流量、比流量、水質、溶流物質、侵食係数

	溪流名	流量 (m <sup>3</sup> /sec)	面積 (km <sup>2</sup> )	比流量 (m <sup>3</sup> /sec/100km <sup>2</sup> )	pH	T (°C)	水比抵抗 (Ω-cm)	溶流物質 (ppm)	溶流物質 (kg/day/km <sup>2</sup> )	面積 (km <sup>2</sup> )	侵食係数 (km <sup>2</sup> /km <sup>2</sup> )
①	大宮谷	0.0043	3.47	1.28	6.6	8	42,750	28	31	4.68	0.0529
②	田丸谷	0.0528	2.85	1.85	6.9	8	35,220	32	51	3.21	0.0412
③	眠谷	0.0242	2.54	0.95	7.1	8	28,620	35	30	4.79	0.0662
④	若宮谷	0.0899	5.00	1.80	7.3	8	24,600	40	62	7.31	0.0435
⑤	戸ノ谷	0.0755	3.97	1.90	7.2	8	21,420	42	69	4.34	0.0303
⑥	名越谷	0.0210	0.63	3.33	7.3	9.5	23,850	44	127	1.33	0.0408
⑦		0.0350	0.56	6.25	—	—	—	—	—		
⑧	栗寄谷	0.0755	2.13	3.54	7.6	9.7	18,000	49	150	2.18	0.0368
⑨	谷荒谷	0.0072	0.10	7.20	7.5	10.9	18,810	62	386	1.72	0.0222
⑩		0.0225	0.13	17.30	7.5	9.0	10,260	72	1,077		
⑪	箸谷	—	—	—	7.7	—	9,000	—	—		
⑫		0.0008	0.12	0.66	7.6	10	15,840	57	31	4.13	0.0241
⑬	重末谷	0.0607	3.30	1.83	7.3	9.8	24,120	46	73		
⑭	今久保谷	0.0396	1.56	2.54	7.4	8	22,740	40	88	2.05	0.0272
⑮	琵琶谷	0.0500	0.92	5.43	—	—	—	—	—	0.70	0.0506
⑯	石脇西谷	0.0032	0.20	1.60	7.4	12.3	15,480	66	456	1.01	0.0390
⑰	石脇東谷	0.0008	0.34	2.35	7.6	9	21,150	44	89		
⑱	小島谷	0.0970	5.36	1.81	7.3	9.8	24,450	43	67	10.71	0.0378
⑲	釣井北谷	0.0112	0.94	1.20	7.3	6.5	31,590	21	22	2.95	0.0352
⑳	釣井谷	0.1166	8.62	1.35	7.2	7	34,380	21	25	9.01	0.0352
㉑	和田谷	0.0410	0.94	1.15	7.5	8	21,660	40	40	4.08	0.0408
㉒	元井谷	0.1241	2.37	5.24	7.75	8.5	13,410	59	267	2.97	0.0321
㉓	樽峯谷	0.0292	0.70	4.17	8.0	8	14,310	52	188	0.76	0.0442
㉔	京上谷	0.0157	1.52	1.03	7.35	9.3	24,030	42	38	2.42	0.0313
㉕	小川谷	0.3203	18.18	2.12	7.65	9.3	23,670	44	67	39.73	0.0404
㉖	林谷	0.0238	1.40	1.70	7.7	8	19,620	42	62	5.18	0.0336
㉗	釜ヶ谷	0.0321	1.67	1.92	7.7	8.5	17,280	47	78		
㉘	鎖谷	0.0790	7.07	1.34	7.7	9.5	13,050	60	58	10.78	0.0428
㉙		0.0027	0.36	0.75	7.5	9.9	18,810	50	32	0.95	0.0208
㉚		0.0025	0.06	4.16	7.6	9	12,150	59	212	0.35	0.0293
㉛		0.0011	0.09	1.22	7.45	9.7	15,570	70	74		
㉜	落合川	0.1115	7.26	1.53	7.75	8.5	16,800	65	86	12.77	0.0439
㉝	蔓谷	0.0066	0.12	5.50	7.9	12.3	14,130	73	347	2.22	0.0137
㉞		—	—	—	—	8.5	15,750	56	—		
㉟	西山谷	0.2702	6.74	4.00	7.3	8	34,290	31	107		
㊱		0.0037	0.12	3.25	7.1	10	26,100	44	124		
㊲		0.0065	0.06	11.00	7.3	11.5	19,350	57	533		

溪流名	流量 (m <sup>3</sup> /sec)	面積 (km <sup>2</sup> )	比流量 (m <sup>3</sup> /sec/100km <sup>2</sup> )	pH	T (°C)	水比抵抗 (Ω-cm)	溶流物質 (ppm)	溶流物質 (kg/day/km <sup>2</sup> )	面積 (km <sup>2</sup> )	侵食係数 (km <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )
③⑧	0.0113	0.34	3.32	7.6	10.5	15,750	57	163	③⑧ } 1.88	0.0376
③⑨ <sub>1</sub>	0.0017	0.34	0.50	7.25	9.6	23,400	44	19		
③⑨ <sub>2</sub>	0.0059	0.20	2.95	7.3	10	22,730	47	120		
④⑩	0.0043	0.23	1.88	7.4	9.2	27,180	40	65		
虹谷	0.0200	4.38	0.45	7.35	9.2	37,350	37	15	5.68	0.0359
久保谷	0.0851	0.99	2.41	7.2	9.5	39,420	38	79	4.12	0.0339
菅生谷	0.0040	0.10	4.00	7.15	8.8	36,000	34	118		0.0376
おもわれ谷	0.0392	1.26	3.11	7.55	11.1	21,780	54	145	1.52	0.0388
安藤谷	0.0552	0.96	6.00	7.25	9.3	33,396	38	189	④⑤ } 2.29	0.0198
	0.0026	0.10	2.60	7.3	12.3	12,420	79	178	0.78	0.0289
	0.1132	6.52	1.73	7.3	8.3	26,820	36	54	24.01	0.0365
切谷	0.0976	1.57	6.22	7.3	7	37,170	18	97	④⑥ } 0.0198	
樺荒対岸	0.0396	0.80	5.00	7.8	10.3	17,100	53	227	④⑦ } 2.32	0.0312
	0.0219	0.53	4.13	7.2	10	38,700	40	142	④⑧ } 0.0308	
	0.0633	—	2.77	7.8	8.2	20,976	42	101	2.66	
	0.0670	2.28	3.66	7.4	9	20,880	46	146	④⑨ } 0.0343	
	0.0093	0.36	8.33	7.25	8.5	49,500	27	60	④⑩ } 3.33	
大ダレ谷	0.0030	0.16	4.37	7.9	11	32,700	48	78	④⑪ } 0.0253	
カイキ荒	0.0239	0.99	2.41	7.25	6	35,370	17	35	} 2.40	0.0253
	0.0120	0.82	1.46	7.3	8.5	38,250	28	35		
	0.2086	7.00	2.98	8.0	9.7	14,130	59	129	7.13	0.0408
名頃本流	0.9350	21.52	4.35	7.35	6.9	31,800	24	90	21.52	0.0425

(昭和34年11月下旬測定)

述べた。さらに久保谷の異常に低い地帯を挟んで菅生付近の高い値の地域に入る。しかし濃さの度を検討すると善徳 1077, 久保 533, 菅生 188, 大ダレ 78, というように、上流に向かうほど値が低下を示している。終りに侵食係数と溶流物質濃度との関係を求めてみよう。このような化学成分は一寸した環境の変化によつて著しく変化を示すので個々のものを比較した場合は、なかなかその法則性をみいだすことが困難である。そこで各調査地ごとにその地域内の平均値を求めて比較する方法を採用した。第8図がその結果を示したものである。耳川・大井川・高瀬川の中央高地および表日本型と庄川・祖谷川・手取川の裏日本および四国型とに分けられる。図中に各地域に主として発達する地質について附記しておいた。高瀬川の場合は資料不足で、やゝその精度に疑問がある。見掛け上この2つの系列に分けられ、侵食係数の増加によつて系列によつて値は違ふが溶流物質増加の割合がほぼ一定であることを示しているようである。侵食係数の0.01 km<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>増加に対して140 kg/day/km<sup>2</sup>の増加を示す。

これは別の表現をすれば10mの地表低下をすることによって年間約50tの溶流物質が増加することを示している。

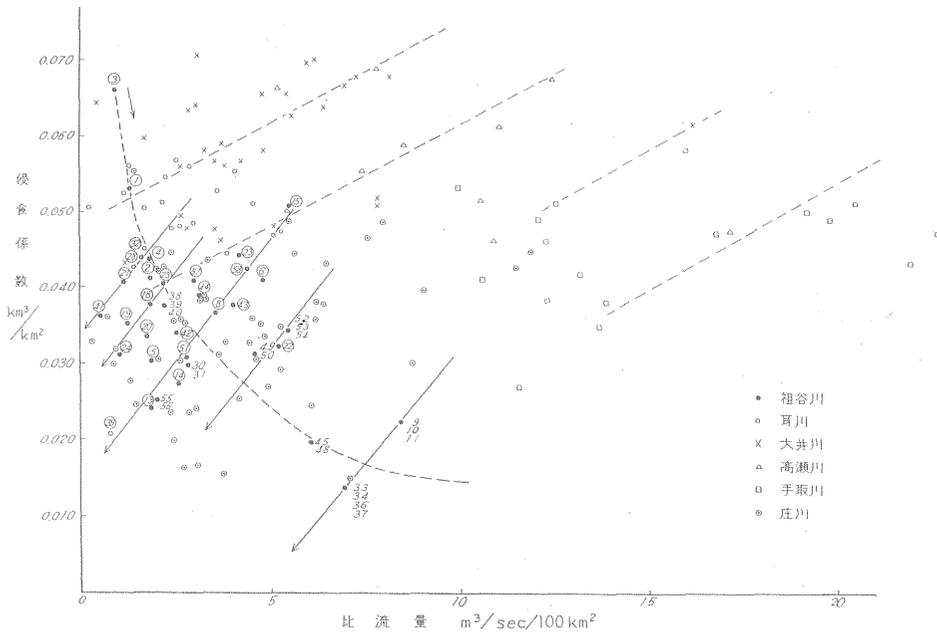
10mの地表低下を起こすのにかりに12,500年を要するとすればその間には、625,000tの溶流物質増加があることになる。これを固形物の体積に略算すれば(比重を2と仮定する)312,500m<sup>3</sup>となる。かくすると流出土砂量と溶流物質量の比は10,000,000m<sup>3</sup>:312,500m<sup>3</sup>=1:0.032=32:1 従来の考え方からすれば大河の浮流物質と溶流物質の比は7:3であるとされている。しかし源流山地におけるものでは転流物質がはなはだ多いのであるから、流出土砂量の方が15倍以上も大きくなつてもそれほど不合理ではないであろう。

### 3.2.2 比流量と侵食係数について

侵食係数と比流量との関係は大井川調査以来色々検討してきているが、簡単な関係が示されず、特に点が散点して一つの直線または曲線にはまらず、見掛け上いくつかの平行直線の上にはまらつて見える。このようなものを説明することは、その信頼性がはなはだうすくなつてしまう。各平行直線の意義が明確になるためには、他にも1つの因子を考えねばならない。その因子が何であるかはいまのところ判明していない。これは1つの概念図として考えていこう。すなわち侵食係数は比流量とは異なつて長年月かゝつて除々に増減するもの



第6図 祖谷川溶流物質質量等値線図 単位 kg/day/km<sup>2</sup>



第7図 侵食係数と比流量

でやゝ固定したものである。したがつて各谷のその値はあまり急激に変化しないと考える。これに反して比流量は各谷によつてほぼ定まつた値をとるが、侵食係数ほど固定的のものではない。しかし両者が相伴なつて (phase のずれはあるが) 変化し、その間には関係があるものである。第7図によつてみると祖谷川の場合は他の地域と異なつて、比流量の少しの変化によつて侵食係数の増減がはなはだしいようで、この点からはこの地域が安定なものではなく、豪雨その他の異常降水によつて案外に山崩れや地すべりを起こしやすい inertia を持っていると考えてよいようである。たゞこの地域が古来の記録からみても、あまり異常な降雨に際会したことが少ないので、まだ、そのおそるべき災害が発生していないのである。洪水流量 1,200 m³/sec を超えるような場合には、大規模な災害の発生するおそれがあると思われる。

3.2.3 岩石種による固有侵食係数について

すでに耳川の上椎葉調査の際に、岩石種による固有侵食係数を求めた。同じ様式で本地域でもこれを求めてみる。そのためには正確な地質図が必要であるが、いまこの全地域にわたつての図幅が入手できないので、広島大学の光野千春の祖谷川下流部付近の地質図によつてこれを求めることにする。その結果は第2表に示してある。岩石種の分け方は黒色片岩・緑色片岩・砂岩片岩 (片状

砂岩) の3種類に簡單化して示した。黒色片岩の中には石墨千枚岩や石墨絹雲母片岩のようにかなり風化や強度の違うものも含まれるので問題もあるであろう。地層が水平に近い場合は地表の地質分布図のみで岩石種分布を定めると誤差が大きくなるおそれがあるが、本地域のように高角度の場合は一応無視してよいと思う。この地域をみると構造線の方向、およびその累帯構造には一定の規則性があるので、第2表のように、その関係式を組立てる場合、この法則性にしたがつて、なるべく合理的になるようにした。それは東西方向に、大体同一層準の地層が延長すること等を標本抽出の基準とした。さて(1)大申。(2)大申対岸 (3)南日浦兩岸によつて

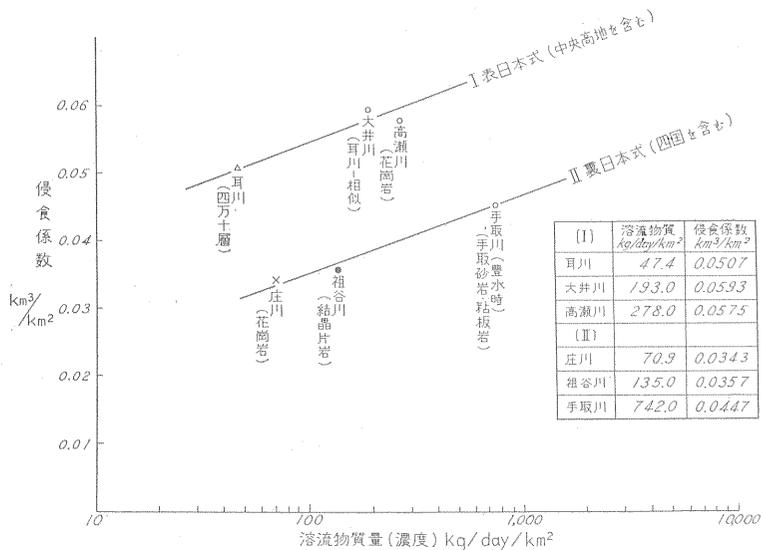
黒色片岩	0.0111 km³/km²	}
緑色片岩	0.0921 "	
片状砂岩	0.0495 "	

が示され、黒色片岩がすでに一番風化侵食され土壌化しやすい傾向を示している。緑色片岩の値はやゝ高すぎるくらいがある。これは南日浦の地質分布があまりに偏倚しているためのものである。

次の(4)若宮谷 (5)戸ノ谷谷 (6)善徳北では

黒色片岩	0.0149 km³/km²
緑色片岩	0.0553 "
片状砂岩	0.0547 "

結晶片岩地域における山地の堆砂現象について (渡辺和衛)



第 8 図 溶流物質濃度と侵食係数 (低水時における溶食状況)

第 2 表 祖谷川荒廃地域における結晶片岩の岩石種による侵食係数の変化 (構造, 岩質の要素を含む)

項目 号	流域名	岩石 符号	岩石種	面積 (km²)	面積 百分比 (%)	岩石種分布と侵食係数の関係式	岩石種による 侵食係数 (km³/km²)
(1)	大 申	x	黒色片岩	1.29	49.7	$49.7x + 25.5y + 24.8z$ $= 0.0413 \times 100$	$\left\{ \begin{array}{l} x = 0.0111 \\ y = 0.0921 \\ z = 0.0495 \end{array} \right.$
		y	緑色片岩	0.92	25.5		
		z	砂岩片岩	0.38	24.8		
(2)	大 申 対 岸	x	黒色片岩	0.97	60.6	$60.6x + 16.8y + 23.6z$ $= 0.0339 \times 100$	
		y	緑色片岩	0.27	16.8		
		z	砂岩片岩	0.36	23.6		
(3)	南 日 浦 両 岸	x	黒色片岩	1.21	8.15	$8.15x + 2.35y + 89.5z$ $= 0.0471 \times 100$	
		y	緑色片岩	0.41	2.35		
		z	砂岩片岩	13.34	89.50		
(4)	若 宮 谷	x	黒色片岩	3.63	52.4	$52.4x + 6.3y + 35z + 6.3u$ $= 0.0435 \times 100$	
		y	緑色片岩	0.44	6.3		
		z	砂岩片岩	2.43	35.0		
(5)	戸 ノ 谷 谷	u	礫岩片岩	0.44	6.3	$58.6x + 4y + 34.2z + 3.2u$ $= 0.0303 \times 100$	
		x	黒色片岩	2.18	58.6		
		y	緑色片岩	0.15	4.0		
(6)	善 徳 北 (名越谷)	z	砂岩片岩	1.27	34.2	$35x + 65z = 0.0408 \times 100$	
		x	黒色片岩	0.12	3.2		
		y	緑色片岩	0.44	35.0		
(7)	栗 寄 谷	x	黒色片岩	0.94	45.0	$45x + 4.7y + 50.3z = 0.0368 \times 100$	
		y	緑色片岩	0.01	4.7		
(8)	田 丸 谷	z	砂岩片岩	1.15	50.3	$(z = 0.0412)$	

項目 号	流域名	岩石 符号	岩石種	面積		岩石種分布と侵食係数の関係式	岩石種による 侵食係数 (km <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )
				(km <sup>2</sup> )	(%)		
(9)	田丸南谷	x	黒色片岩	0.50	20.4	$20.4x + 4.9y + 74.7z = 0.0379 \times 100$	$x = 0.0149$ $y = 0.0553$ $z = 0.0488$
		y	緑色片岩	0.12	4.9		
		z	砂岩片岩	1.83	74.7		
(10)	眠谷	x	黒色片岩	0.06	1.4	$1.4x + 93z + 5.6u = 0.0622 \times 100$	$u = 0.1428$ たゞし $u = 0.1428$ とする
		u	礫岩片岩	0.24	5.6		
		z	砂岩片岩	4.00	93.0		
(11)	重末谷	x	黒色片岩	1.64	39.0	$39.0x + 32.5y + 28.5z = 0.0241 \times 100$	$x = 0.0266$ $y = 0.0082$ $z = 0.0388$
		y	緑色片岩	1.37	32.5		
		z	砂岩片岩	2.19	28.5		
(12)	重末~今久保	x	黒色片岩	0.86	45.0	$45x + 16.8y + 38.2z = 0.0297 \times 100$	$x = 0.0266$ $y = 0.0082$ $z = 0.0388$
		y	緑色片岩	0.32	16.8		
		z	砂岩片岩	0.77	38.2		
(13)	今久保谷	x	黒色片岩	0.74	47.3	$47.3x + 23y + 29.7z = 0.0272 \times 100$	[注] 本地区 は断層破砕 帯通過す
		y	緑色片岩	0.36	23.0		
		z	砂岩片岩	0.46	29.7		

礫岩片岩 0.1428 km<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>

で依然として黒色片岩の値が低い。礫岩片岩の値が非常に高いが、その岩質からみると合理的のようである。河床にあるものは非常な大塊が多いのもこの岩質がなかなか小塊には崩壊しないことを物語っている。

さらに (9)田丸谷 (10)眠谷に  $x = 0.0149$   $y = 0.0553$   $u = 0.1428$  を代入して求めると

黒色片岩 0.0149 km<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> (同前)  
 緑色片岩 0.0553 " (同前)  
 片状砂岩 0.0488 "  
 礫岩片岩 0.1428 " (同前)

となる。

これに反して、(11)重末谷、(12)重末-今久保谷、(13)今久保谷は破砕帯の通過する一連の地帯で侵食係数がきわめて低い地域である。こうした所はこういった群を集めて操作すべきであろう。求められた値は、

黒色片岩 0.0266 km<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>  
 緑色片岩 0.0082 " (善徳では多く地すべり崩壊を起こす)  
 片状砂岩 0.0388 "

となつてくる。こゝでは緑色片岩の値が異常である。

#### 4. 祖谷川上流部の流砂量および堆砂量

本論文の主題である流砂量および堆砂量について、いままで述べてきた地質・侵食係数・岩石種固有侵食係数・比流量・溶流物質量等の各結果を利用して、一つの推定を実施してみたいと思う。

#### 4.1 有効流砂量公式および捕捉係数による流砂量および堆砂量

有効流砂量公式はすでに示したように、

$$S = 4.73 e^{112c} + 950$$

$S$ …年間毎平方秆当り流砂量 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/year  
 $c$ …侵食係数 km<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>

である。まず大宮谷付近にアーチダムが建設された場合について述べてみよう。この場合の総面積は 283.92 km<sup>2</sup> で、侵食係数は総平均で 0.0363 km<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> であるから

$$S = 1,226 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$$

したがつて、

$$1,226 \text{ m}^3 \times 283.92 = 348,086 \text{ m}^3/\text{year}$$

これは年間に山から流出する砂礫量の全量に近いものである。もし高いダムで捕捉係数が1であるとすれば、これがこのまゝ堆砂量になるわけである。しかし長い流路の途中に残留するものもあり堰体から濁流となつて逸出する部分もあるので1より小さい捕捉係数を考えねばならない。手取川調査の結果を利用して、捕捉係数を0.5とすれば、年間堆砂量は 174,000 m<sup>3</sup> となる。

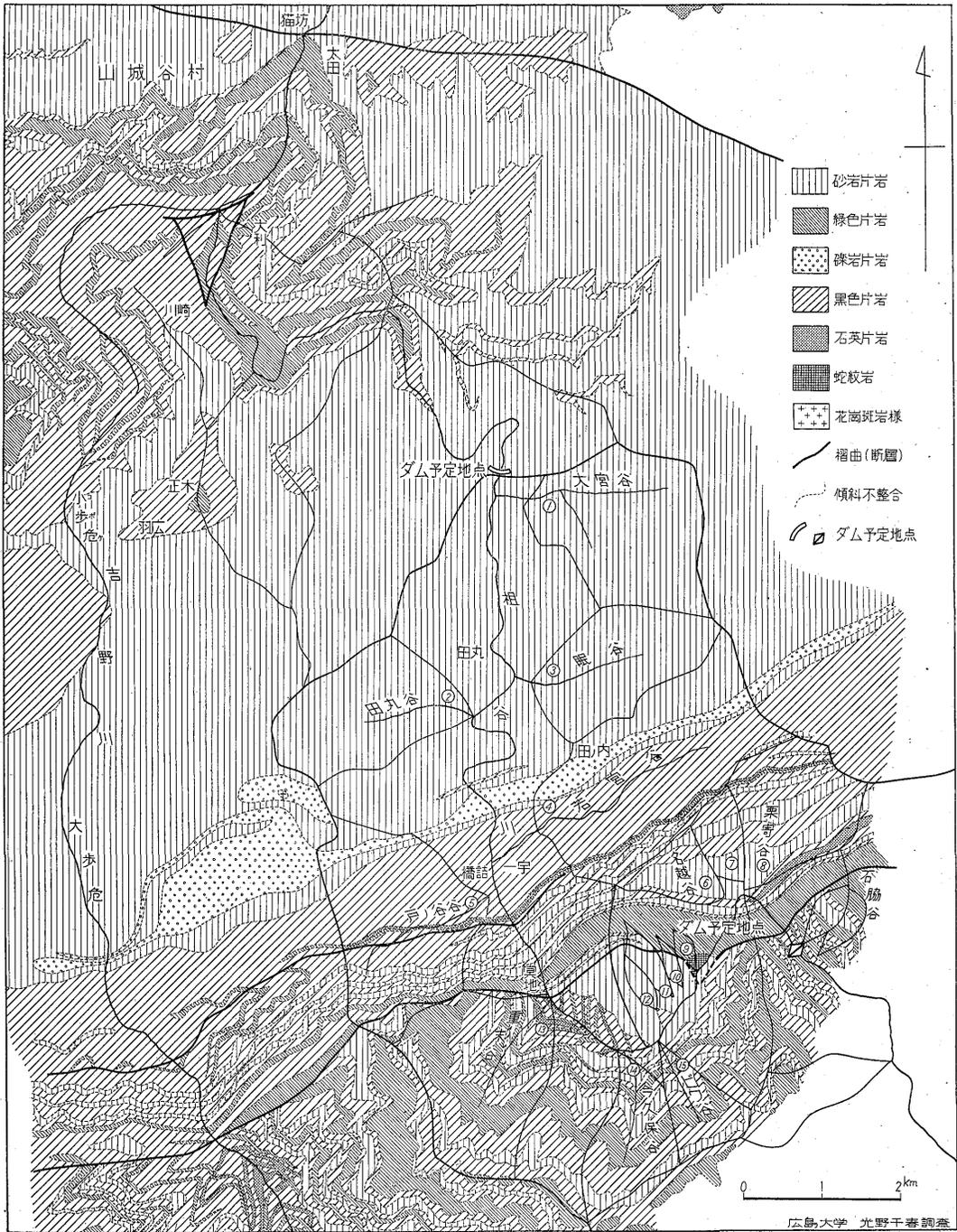
$$(612 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year})$$

さらに和田付近にダムが建設されたとすると、流域面積は 189.31 km<sup>2</sup> で総平均侵食係数は、0.0389 km<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> であるから

$$S = 1,320 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$$

したがつて全面積では、249,889 m<sup>3</sup> である。捕捉係数を0.5とすると、125,000 m<sup>3</sup> (660 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/year) となる。以上の捕捉係数は0.5としたが、これは0.4から0.68まで状況によつて変化するものであるから、安全側で見

結晶片岩地域における山地の堆砂現象について (渡辺和衛)



第 9 図 祖谷川下流部の地質と荒廃状況 (岩石種別侵食係数測定基図)

積するには0.68にすべきであろう。かくすれば大宮谷までは227,000 m<sup>3</sup> (799 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/year), 和田までは、170,000 m<sup>3</sup> (898 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/year)である。

現在名頃上流でダムが完成に近づいているがこれについて推算すると、面積は21.50 km<sup>2</sup>で侵食係数は0.0425 km<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>であるから

$$S = 1,500 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$$

となる。

したがって全域では32,250 m<sup>3</sup>である。手取川の例にならつて堤高40mの砂防ダムとすると捕捉係数は0.4であるから年間の堆砂量は、

$$12,900 \text{ m}^3 \text{ (600 m}^3/\text{km}^2/\text{year)}$$

となる。

#### 4.2 砂防ダム堆砂量推算方式による試算

この方法は図表上で求めればよいので侵食係数と60日高水比流量値がわかればよいわけである。まず大宮谷にダムが建設された場合について考えると、侵食係数や流域面積の値は前のものそのままでよいが、60日高水比流量値を求めねばならない。これは流量要覧の35日流量と豊水流量(ともに比流量として示す)とから推算する必要がある。資料としては昭和23年から昭和28年までの和田測水所(190 km<sup>2</sup>)のものがあるが、大体9.8 m<sup>3</sup>/sec/100 km<sup>2</sup>の程度である。最近の資料としては、祖谷川一字測水所のものがある。昭和35年度において60日流量が13.15 m<sup>3</sup>/secであるから、面積を206.88 km<sup>2</sup>として6.35 m<sup>3</sup>/sec/100 km<sup>2</sup>となる。昭和35年は例年に比較してきわめて流量の少なかつた年のようなのである。和田測水所4年間の平均比流量は7.91 m<sup>3</sup>/sec/100 km<sup>2</sup>である。さて手取川報告に所載の砂防ダム堆砂量と60日高水比流量から、本地域の堆砂量を求めてみると、60日高水比流量を9.8 m<sup>3</sup>/sec/100 km<sup>2</sup>として、630 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/yearとなる。

したがって全域では、178,900 m<sup>3</sup>となる。和田にダムを建設した場合も、侵食係数がやゝ高くなるだけで面積が189.31 km<sup>2</sup>、60日高水比流量には相違がないので、ほとんど同様と考えてよいから差は面積だけの相違となる。したがって、119,200 m<sup>3</sup>となる。

最上流の名頃については、60日高水比流量が不明なのでこの方法では求められない。

たゞ問題は、和田の測水記録のみによつたのは大宮ダムの場合には、やゝ不適當であると思われる。この方法では流量の要素が入るのでかなりの幅の変化を求めることができるのが特色である。調査の目的が50年～100年の堆砂量を推算することにあるので、年々の変化よりも20年～30年、もしくはそれ以上の年数を経た水理常数

(60日高水比流量)を用いるわけである。

最近では集中豪雨が多くなり、短時間における雨量強度が非常に問題になつてきたようであるから、この方法も段々と時間経過を短かくして、短期間の災害現象に役立つように、徐々にその方向を変えていく必要を痛感している。

#### 4.3 長沢貯水池の堆砂量との比較検討

吉野川の最上流に堤高68.7mの長沢ダムがある。流域面積が70.02 km<sup>2</sup>であり一部黒色片岩、大部分が緑色片岩から構成されている。貯水池周辺は主として黒色片岩のようである。この貯水池に対する堆砂量が最近とみに増加して、その対策が問題となつている。完成は昭和24年12月で総貯水量は31,900,000 m<sup>3</sup>であつたものが現在28,575,000 m<sup>3</sup>に減少している(昭和34年3月末)。

堆砂状況を見ると昭和25年から昭和28年までの間に  $S = 2,447 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$  の高い堆砂率を示している。昭和29年から昭和33年までは  $S = 7,691 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$  というような異常な堆砂現象を生じている。これはまことに解釈に苦しむ値である。この原因としては昭和29年8月に異常な降雨があり、脇ノ山測水所で1,400 m<sup>3</sup>/secという最高流量を示している。この際の長沢の資料がない。しかし400 m<sup>3</sup>/sec以上の洪水であつたと思われる。過去の記録では昭和5年8月12日に679 m<sup>3</sup>/secという最大流量を示している。このような高所における調整池は大井川支流の寸又川と同じく、流路が直線状で河床が狭い場合によく起きる異常な堆積現象を起こすようである。

さて長沢の場合の侵食係数は0.0443 km<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>であるから  $S = 1,623 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$  であつてとても説明が困難である。黒色片岩層が、祖谷川の実例(岩石種固有侵食係数)で0.0162とすると面積比の関係で、この地域の緑色片岩の固有侵食係数は0.0507となる。主として緑色片岩の部分が崩壊するとすれば、 $S = 2,344 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ となる。

これは昭和25年から昭和28年までの値である2,447 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/yearに接近している。この地域の黒色片岩の値がもつと低ければ、これ以上の流出土砂量となるはずである。それでも昭和29年から昭和33年の7,690 m<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>/yearという値を説明することは不可能である。これはまた別の考えを用いなければならない(以上の例でもここでは捕捉係数を1としなければならない点にも1つの困難性がある)。そこで黒色片岩部分があつとも貯水池に接近して存在しているから、これから多量の砂礫生産が行なわれると考えることは一つの考え方である。黒色片岩の固有侵食係数として0.011…0.0226平均

0.0162 が用いられた。これは早く土壌化するものであるとして多量の土砂供給源となると考える。昭和29年8月の洪水にかかわらずこの年の堆砂量は、 $28 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$  という少量である。これは一度堆積した土砂を下流または両岸に再堆積させた故としか考えられない。泰阜ダムにおいても洪水直後堆砂量が異常に減少した現象を示している。このような洗い流しとも思われる現象は68mの高ダムでは、現実に起こりそうにも思われない。現に排砂門もそれほど有効に働くはずがないからますます不思議である。しかし深淺測量に問題ありとするも最近では堆砂量測定には音響測深法などが用いられ、精度をあげるために努力がなされているので、この方面の誤差もそれほど大であるとは思われない。

要するに最も可能性のある考え方は、前に述べたように黒色片岩の崩壊が主因であろうということである。黒色片岩の占める面積は垂直面積  $11.5 \text{ km}^2$ 、斜面を考慮に入れば、 $19.6 \text{ km}^2$  になる。いま現在の堆砂量  $7,690 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$  のうち  $2,344 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$  が緑色片岩より供給されると仮定すれば、 $5,340 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$  が主として黒色片岩から供給されたことになる。

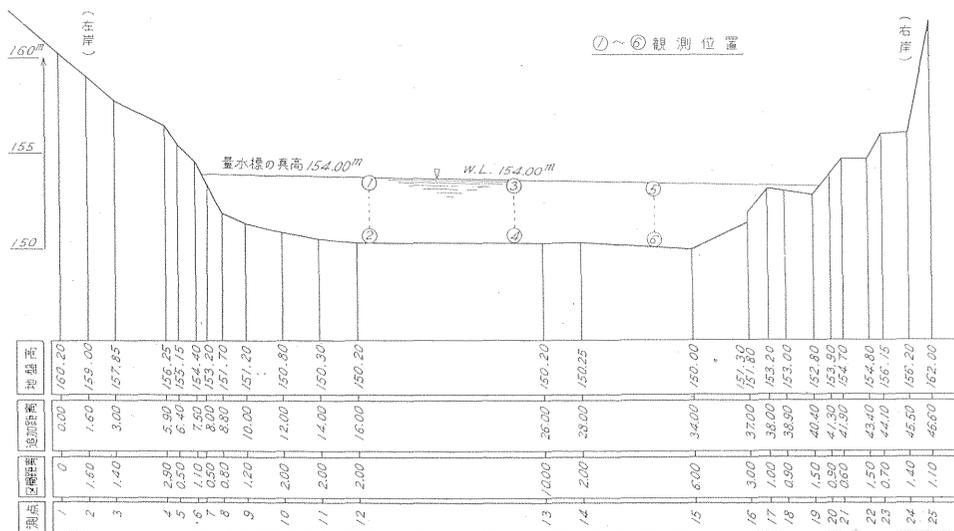
ない。

いずれにしてもこの長沢ダム上流の荒廃状況には注目すべき点が多いようである。またこのような現象は、小規模なものとしては、祖谷川の善徳・久保・菅生等の地すべり地における土砂生産量に見られるものであろう。これが長沢の場合には大規模に起こっているものと思われる。この意味でこの長沢貯水池の実例は、得難い貴重な資料であり、資料供覧の便をよせられた四国通商産業局公益事業部の方々に謝意を表するものである。

#### 4.4 祖谷川流砂量観測成果について

昭和35年6月から本所の規定する方法によつて祖谷川出合観測所において流砂量測定が実施されている。測定河川横断は第10図に示すようで6カ所において測定している。観測の仕様としては、

- 1) 河川流量  $70 \text{ m}^3/\text{sec}$  以上の時、2時間ごとに観測。
- 2) 沈殿量は河水を入れて1時間後の値である。
- 3) 採水時間は2分間とした。
- 4) 採水器投入位置は第10図のように河幅を3等分して6カ所で観測した。
- 5) 流量観測は簡易浮子法で観測した。



第10図 祖谷川流砂量測定箇所横断面図 (四国電力株式会社建設部開発課設置)

これをこの黒色片岩地域に平均に配分すると、

$$373,800 \text{ m}^3 \div 19.6 (\text{km}^2) = 19,070 (\text{m}^3/\text{km}^2/\text{year})$$

したがって年間における地表低下量は、0.019mで1.9cmにも達する。これがはたして事実か否かは現地踏査によらなければ決定しがたい。四国の四万十川周辺の急勾配河川の上流では、年間10cmもの地表低下量であるというから、この位のことは実際に起こりうるかも知れ

である。現在も観測継続中である。

現在までの資料からみると、昭和35年9月、10月に流量  $70 \text{ m}^3/\text{sec}$  を超える日があつたので、その結果を概示しよう。

昭和35年9月20日

流砂量 流量  $10,000 \text{ m}^3$  当り  $8.4 \text{ m}^3$   
平均流量  $78 \text{ m}^3/\text{sec}$

昭和35年10月

流砂量 流量 10,000 m<sup>3</sup> 当り 48.0 m<sup>3</sup>

平均流量 75.2 m<sup>3</sup>/sec

これを見るとほぼ同一の流量でも濃度に大差があり、6倍もの差がある場合があることがわかった。

9月の場合、8時間で流れた浮流物質量は、1,836 m<sup>3</sup>で、10月の場合は、9時間で12,130 m<sup>3</sup>であった。

9月の量は手取川の流砂量に近似している。大体この位の値が通常である。10月の値はたしかに異常であるといえる。この観測資料が漸次集積されるならば祖谷川の流砂量状況が明らかとなり、さらに長沢貯水池における異常堆砂の問題にも曙光をみだすことができるであろう。

### 5. 結 語

結晶片岩地域における堆砂現象を取り扱うのは、これが最初である。まず比流量調査が実施され、これを侵食係数値と対照検討したところ、善徳・久保・原・菅生等の地すべり地は侵食係数が低く 0.02~0.03 km<sup>3</sup>/km<sup>2</sup> の値であるにかかわらず、比流量は 4~5 m<sup>3</sup>/sec/100 km<sup>2</sup> という、全域比流量の2倍以上の値を示している。これはいまままでに経験しなかつた現象で、地すべり地がまだ引続いて災害を起こす余地を多分にもっているのを示しているのではあるまいかと思う。そこで岩相分布のよく行なわれた地質図を利用して、岩石種による侵食係数を算定してみた。この結果では黒色片岩(石墨網雲母片岩・石墨千枚岩等)がもつとも低い値を示し、土壌化が早く進むことを示している。次に緑色片岩があり、構造線が通過した所では著しく破碎し風化する傾向を示している。片状砂岩は大体似た値で 0.04~0.05 の値を示している。礫岩片岩は、最高の値を示している。侵食係数の低い部分は大略東西方向に並んでおり、これは中央

構造線と御荷鉾線との間のいくつかの構造線の方向によく合致している。

堆砂量推定は大宮谷のダムの場合、

1. 174,000 m<sup>3</sup>/year (有効流砂量公式, 捕捉係数0.5)
2. 178,900 m<sup>3</sup>/year (砂防ダム堆砂量図による)

和田にダムある場合は

1. 125,000 m<sup>3</sup>/year (有効流砂量公式)
2. 119,200 m<sup>3</sup>/year (砂防ダム堆砂量方式)

である。

なお吉野川最上流の長沢貯水池の異状堆砂について一つの推定を試みた。

祖谷川の出合観測所において流砂量測定を実施したが、同一の70~80 m<sup>3</sup>/secの高水時において、流砂量が非常に異なつた値を示し、高い時は低い時の6倍以上に達している。この河の特色として流出土砂量に変化常なく、雨量強度によつて著しく異なつた流出状況を示すのであろう。

(昭和34年11月調査)

### 文 献

- 1) 小林貞一：日本地方地質誌、「四国地方」, 朝倉書店, 1950
- 2) 林野庁治山課：山地における流出土砂量土石流の実態について, 治山調査報告, III, 1960
- 3) 林野庁治山課：崩壊地の基礎的特性について, 治山事業調査報告, II, 1959
- 4) 渡辺和衛：石川県手取川上流の治山治水のための堆砂調査, 地質調査所月報, Vol. 12, No. 4, 1961
- 5) 電力中央研究所：我国における貯水池の埋没に関する地質工学的研究, 1953