

**研究報告:「柿田川の河床材料の粒度について考える」**

知花 武佳 東京大学大学院准教授

【知花武佳 会員】 おはようございます。東京大学の知花と申します。

先ほど少しご紹介がありましたけれども、意外と第1回の研究会からおりまして、参加した当時、私は24歳、博士課程1年生でしたが、それ以来ずっと参加させていただいています。最近少し欠席がちですけれども、よろしくお願ひします。

**柿田川の河床材料の粒度について考える**



**東京大学大学院工学系研究科  
准教授 知花武佳**

【1】

私は、先ほどの研究の話で言うと、生物ではなくて、ずっと物理環境をやっているのですが、けれども、何と云っても普通の川と違って、柿田川の物理環境はなかなか変化しないのです。なので、次々と研究対象を見つけるのは難しく、さあ次は何をしようかというのは悩んでおるところですので、ご意見をいただければと思います。

そういう意味では、今日も何を話すか、相当苦労したのですが、前半で昔何をやっていたかというのを振り返って、後半、最近別の川でやっていたことと見比べて何が言えそ

うかなというところをお話したいと思います。時間があれば、ないかな、水シンポジウム絡みの別の話もしたいのですけれども、それは様子を見ます。

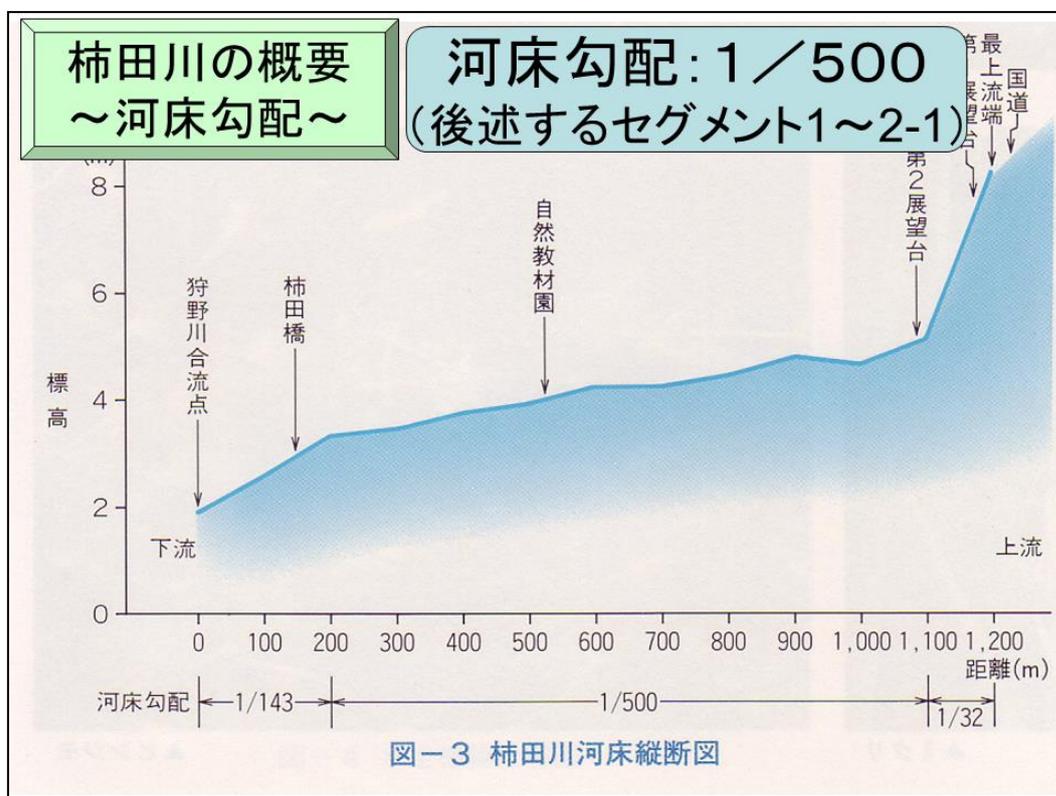
今日は、柿田川の河床材料、河床材料といっても、柿田川はこんな川なので、何が河床材料だ？という気もするのですけれども、要はここにあるこの細かい粒々の大きさの分布というのに何か特徴があるかなというのをやってみましたということです。



【2】

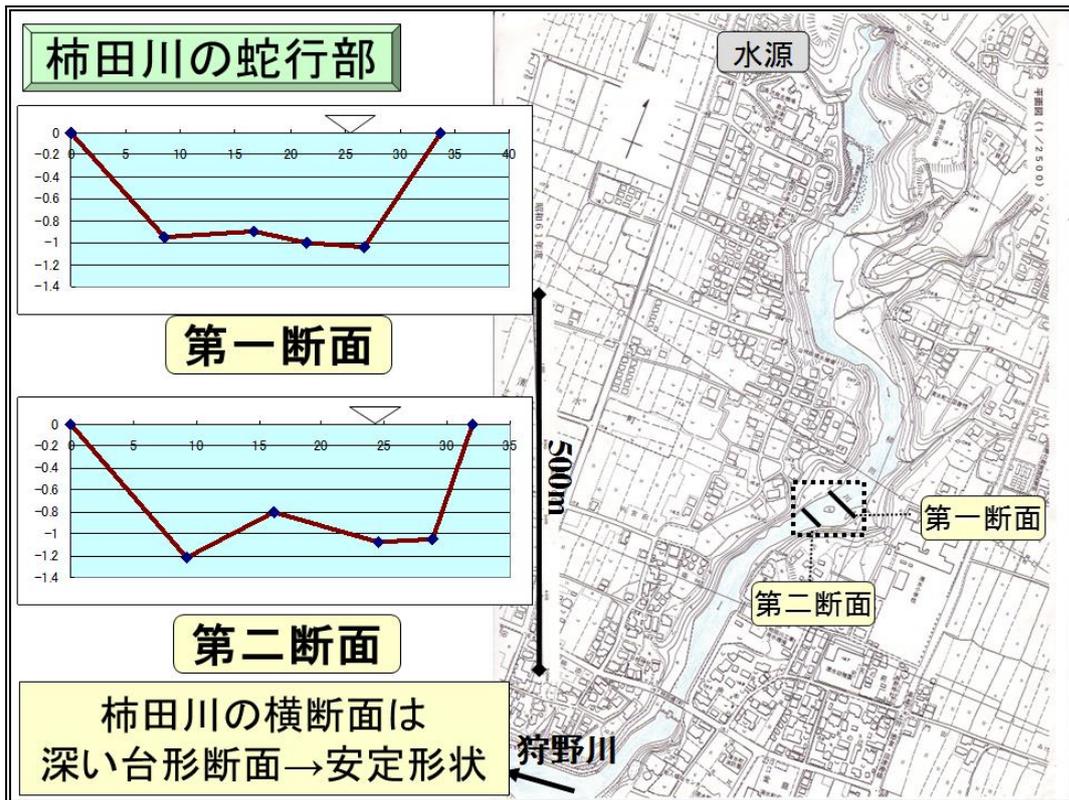
これは昔の話ですけれども、とある人から、この柿田川というのは何でこんな形をしているのだと言われて、確かに何だろうこれは？と思いました。最初、これは穿入蛇行だと思ったのです。穿入蛇行というのは、要は平野の上で、川がぐにゃぐにゃ曲がっていて、その後地盤が隆起して川がずっと沈み込んだものです。それかなと思ったのですけれども、ここは黄瀬川の扇状地の末端で、結構川岸がやわらかい材料なのですね。やわらかい基盤岩のときに穿入蛇行をすると、普通、外岸は切り立つのですけれども、内岸がなだらかになるはずで。だからどうも形が変だということに気がしまして、これは多分黄瀬川がつくった扇状地が少し隆起して、その中の地下水の水みちが抜けたのだろうと思ったのです。そして、これを誇らしげに第6回の柿田川のシンポジウムで発表しようとした寸前に、既書いてあったということに気づいたので。ということで、半分当たってうれしかったのですけれども、別に何の新規性もなかったのです。そして泥流層の下の地下水というのは万遍なくとい

うよりはどこかに集中しているのですね。それが集中しているところの上の地盤が、ほとんどほとんどと抜けていってこうなっているのだというような話がかかれていました。



【3】

その結果、柿田川というのは、縦断面形はこうなっていて、河床勾配が500分の1だどここに記載されています。500分1というのは、実は私はあまりなじみがない勾配で、というのは、私がよく行く扇状地というのは、急なところだと60分1とかもありますけれども、100分1で、緩くなって末端になると大体400分1ですね。そこから、一応400分1より下というのが、セグメント2とか言われますけれども、自然堤防帯とか、あるいは僕らは蛇行原と呼ぶところになります。川がそこに入ってくると、500分1に該当する区間はすごく短かったり、あまりなかったりするのので、実は結構珍しい勾配な気がします。とはいえ、別に普通に扇状地の末端から少し平野に入ったぐらいの勾配に該当するという事です。

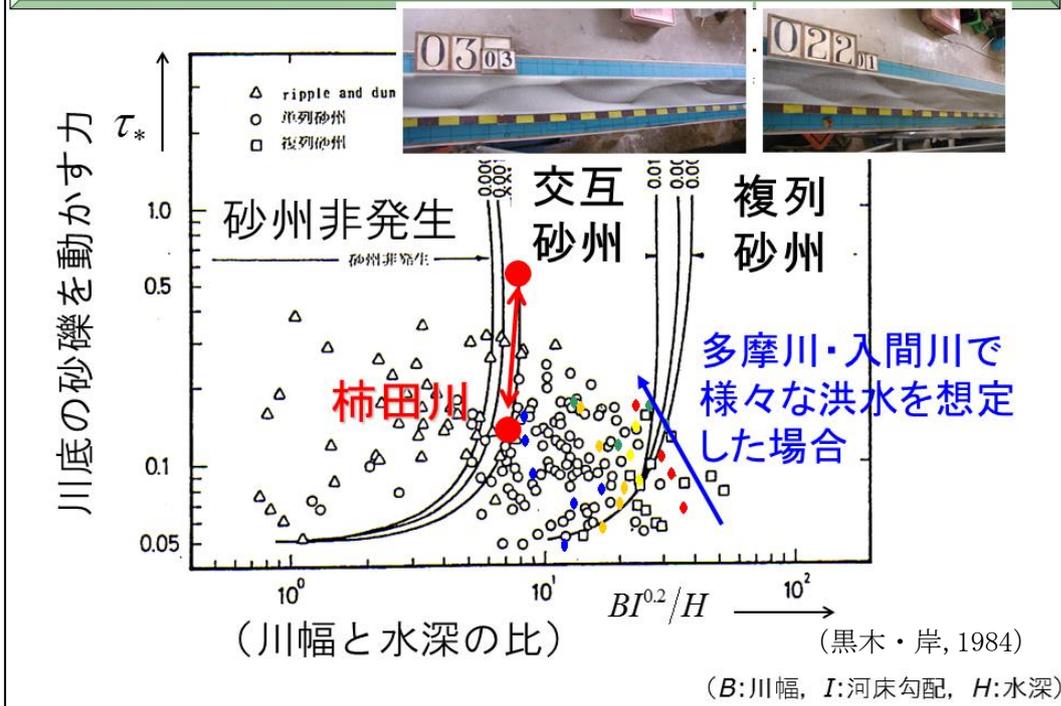


【4】

断面形です。断面形というのが、実験水路みたいな形をしているというのが第一印象でしたけれども、基本的には、どこもこの30m前後、もちろん広いところ、狭いところがありますが、30m前後で水深1m程度です。これは、20年前のデータではありますが、多分そんなに変わってないとは思いますが、こんなものかと思います。

ちなみに、日本の一級河川でいろいろな観測所がありますがけれども、川幅水深比というものです。川幅と計画高水流量が流れた時の水深の比は大体33対1とかというのがオーダーになります。もちろん静岡の安倍川とかあんなのはもっと100とか行ってしまいますし、下流域の細いところだと15とかになるのですけれども、平均するとこうなので、ものすごく平均的な断面形だとも言えます。

## 中流河川では大きめの洪水に匹敵する流れの状態



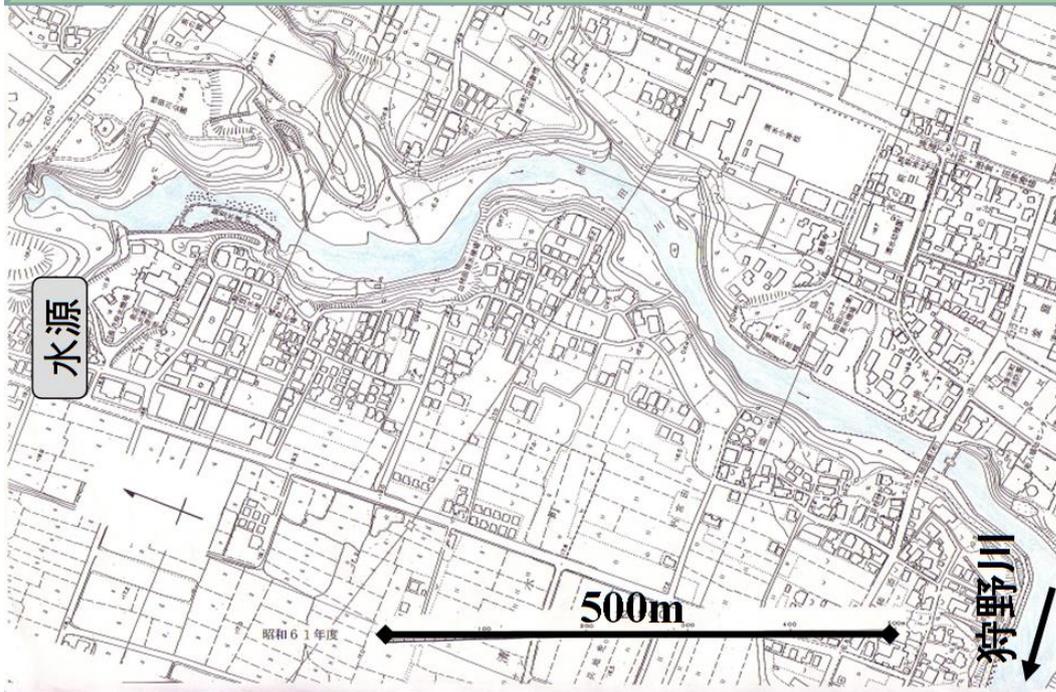
【5】

これは、河川工学をやっている人がよく使う図ですけれども、要は、この川幅と水深の比と、掃流力という川底の石を動かす力の関係でどんな河川地形ができるかを表しています。川幅がものすごく狭いと、川底に小さな模様はできるのですけれども、大きな河原みたいなものがない。それがこのまん中ぐらいになると、交互砂州ですね、河原が交互できる状態になって、それよりも大きくなってくると安倍川、大井川みたいに網目状の流れになってくる。

この図に柿田川の状態を入れると、石の大きさをどうとるかにもよるのですけれども、この辺ですね。多摩川とか入間川をプロットすると、こんなところですよ。複列になるか交互砂州になるか。ちなみにこれは洪水時の状況で、普段は土砂が動いてないので、この一番下の水理量になります。

なので、昔言ったのですけれども、柿田川は常に洪水みたいな状況です。ぎりぎり交互砂州ができるかできないかで、僕の予想としては何となくできているのではないかなというふうに考えています。いや、そんな交互の河原なんかないではないかと訪れると思いますけれども、普通の川は、洪水の後、ずっと水位が引いてきて河原が出てきます。けれども、柿田川は言ってみれば常に洪水ですので、水面の上に姿を現さないだけではないかと。

## 柿田川という「水路」の中に交互砂州をつくと？



【6】

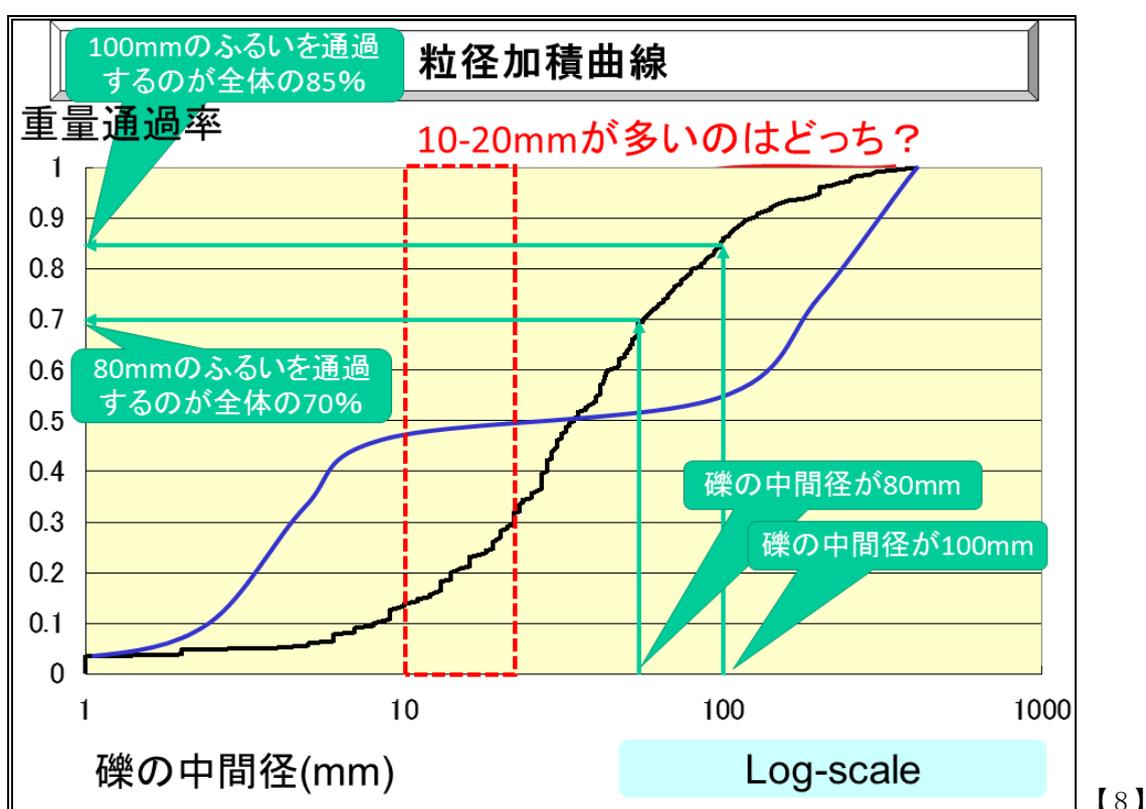
## 柿田川という「水路」の中に交互砂州をつくと？



【7】

これも昔のシンポジウムで発表したのですがけれども、この川の線形を眺めていて、似たような形の川にできた河原を幾つか見てみると、こんな感じの河原がついてもおかしくないのではないかと思います。湾曲しますので、内側、内側につくのですがけれども、こうなっ

くるのではないかなという気がしています。それと、最近土砂がたまってきて掘らなければという所は、この河原の場所とそんなにずれてないのではないかと。この取水口にもかかるんですね、工業用水の。というので、結局流れが川岸から剥離する場所なのでそれはそうなる気もするのですけれども、割とこうやって描いてやると、ある一定の周期で、蛇行しているように見えます。先ほど言ったように柿田川はそもそも蛇行していますけれども、これは地下水がつくった蛇行で、交互砂州がつくった蛇行ではないのです。しかし、その中でまた流れが左右に振れる中で土砂が左右交互にたまっていくのではないかなと、そんな話を昔しました。ここまでです、昔やったのは。



きょうのお話は、この粒径加積曲線というものです。私、知人から「知花さんの専門は何ですか？」と聞かれて、土砂水理と言うと、土砂水理の人に怒られますので、何と言ったらいいのかと迷ってしまいます。そこで思わず「粒径加積曲線」と言ってしまったのですけれども、たしかに半端ない数の粒径加積曲線をつくってしまっていて、あちこちで土砂をひろってはひたすらこのカーブを描いて、このカーブの特徴を解析しているのです。

何かというと、こんな図です。これは横が対数軸になります。縦軸は重量通過率で、要はふるいを何割通過するかです。ですからここを100というか1になっているところが最大粒径です。ゼロというのはないのですけれども、yがゼロに近い所のxの値が一番小さい粒

径ですね。どう見るかという、例えば100mmで見ると、100mmを通過するのが85%で、80mmのふるいを通過するのが70%ですから、80～100mmが全体の15%あるという見方をします。

すなわち、例えば、この青と黒をどう比較するかといったときに、この辺の粒径、80～100mmですね、どっちが多いかなという、黒のほうが上にあるので上のほうが多いと言いたくなるるのですけれども、これは微分で見ます。これは累積関数ですから。ですので、ここのほうが傾きが急なので80～100mmは黒のほうがは多いと。

この青は僕がつくった偽物ですけれども、ここからここまで横ばいなので、ここからここまで粒径はないよということですね。という見方だけ、一応確認しておきます。

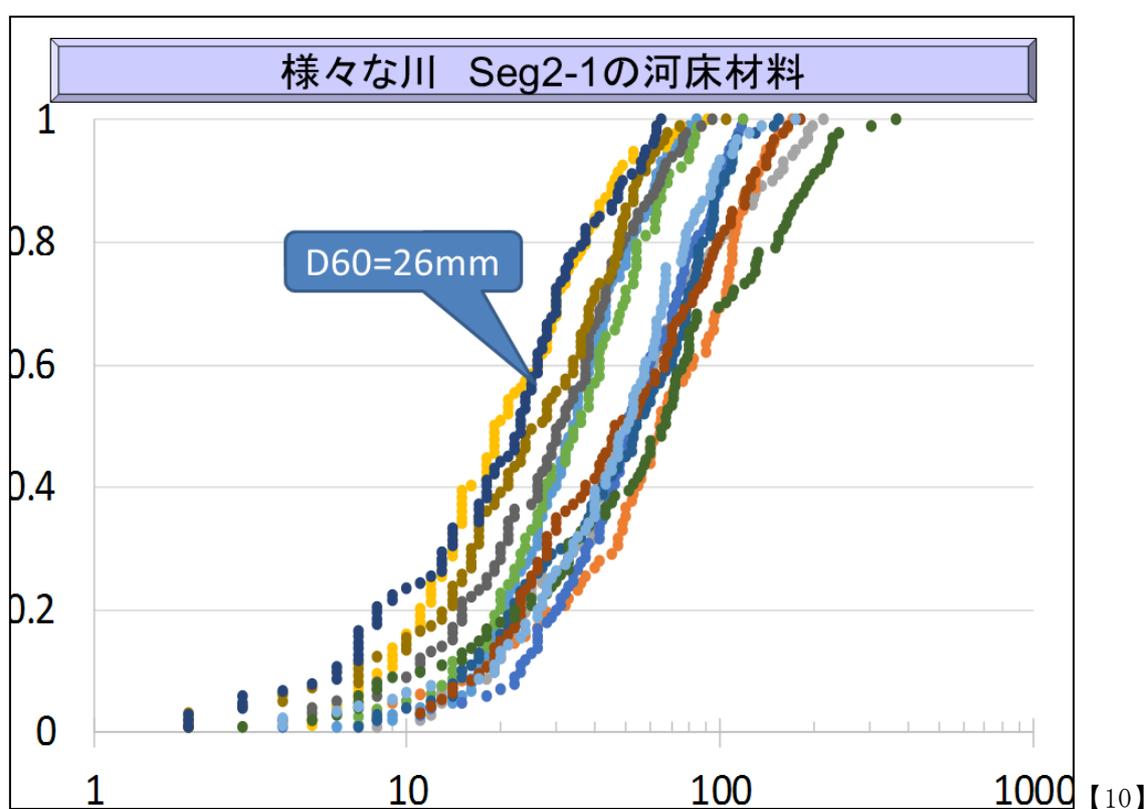
セグメント (山本1994)	M	1	2		3
			1	2	
中地形	山地 狭窄部	扇状地 谷底平野	扇状地 谷底平野 蛇行原	蛇行原 三角州	三角州
河床材料	様々	20mm以上	10-30mm	0.25-10mm	0.3mm以下
河岸材料	河床, 河岸 に岩の露出	表層に砂シルト が乗ることはある が薄く, 河床と同 じ	下層は河床と同じ. 細 砂, シルト, 粘土の混合 物		シルト粘土
線形	様々	曲がりが少ない	蛇行が激しいが, 川幅 水深比の大きな所では 八の字蛇行か島の発生	蛇行が大き いものもある が, 小さいも のもある	
河岸侵食	露岩によっ て水路が固 定される事 がある.	非常に激しい	中程度だが河床材料が 大きいほど大		安定
河床 勾配	様々	1/60- 1/400	1/400- 1/5000		1/5000 以下

【9】

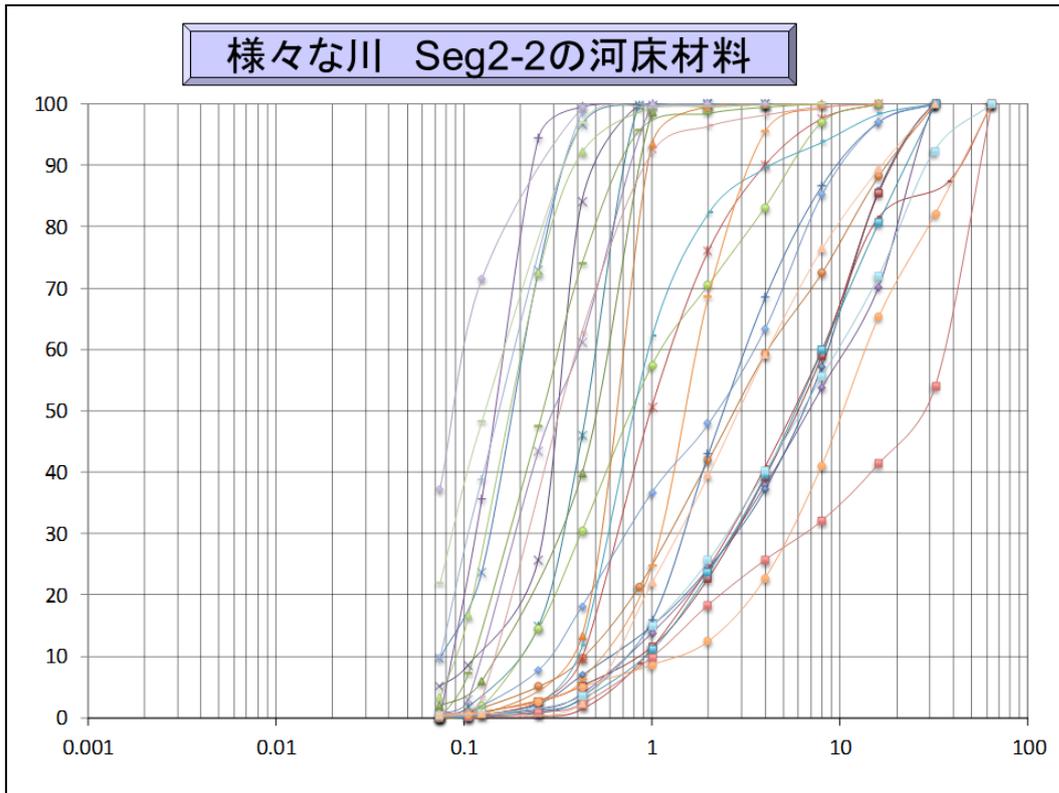
もう一つ、先ほど少し言ったのですけれども、セグメントという概念があります。これは山本晃一先生が提唱されたもので、セグメントM、すなわち山間部から1、2、3と変化するのですが河川の縦断面形は、変曲点を持っているのです。そして、扇状地部分だと勾配が60分1～400分1で、粒径が2cm以上となっています。このセグメント2というのが、400分1～5,000分1で、2-1と2-2というのがあります。これが我々がはかっていると何となく少し感覚が違うのですが、理由はまだ謎です。何が合わないのか？いろいろな人に聞いていますけれども、我々がやると、2-1の粒径はこれよりもずっと大き

くなります。2-2はそんなにおかしくないです。そしてセグメント3が真っ平らな、三角州です。

何でこういうのが分かれるかという、川の縦断面形を見たときには勾配に変化点を持って、それぞれに応じた粒度、石の大きさがあるわけです。それが何でできるかという、地形が扇状地と、僕は蛇行原と呼びますが自然堤防帯、三角州に分かれるからです。セグメント2-1と2-1の違いは結構微妙ですけども、よく言われるのが、下流部だけでも、交互の河原が上から見えるのが2-1で、河原も見えず水がとろんと流れているのが2-2であるとして、その違いが言われます。

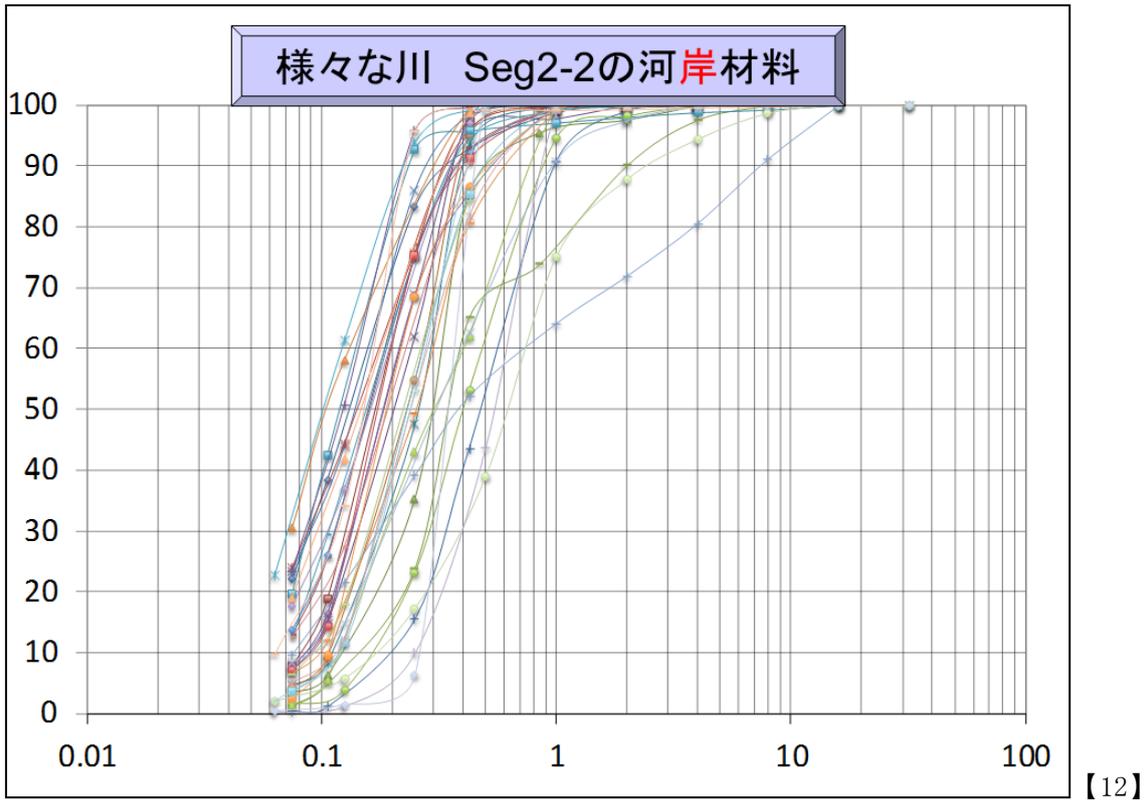


これはセグメント2-1と言われるところの粒度加積曲線ですけども、結構いろいろな川ではかりました。ここでyが0.6になるxの値であるd60というのを代表粒径で見ることが多いですけども、一番小さいので26mmとかですから、3cm~5cm強ぐらいまで広がっています。見ていただけたときれいですよね。全部S字型です。対数正規分布に乗っているというこういうカーブになります。粒径の対数をとったときの正規分布ですね。



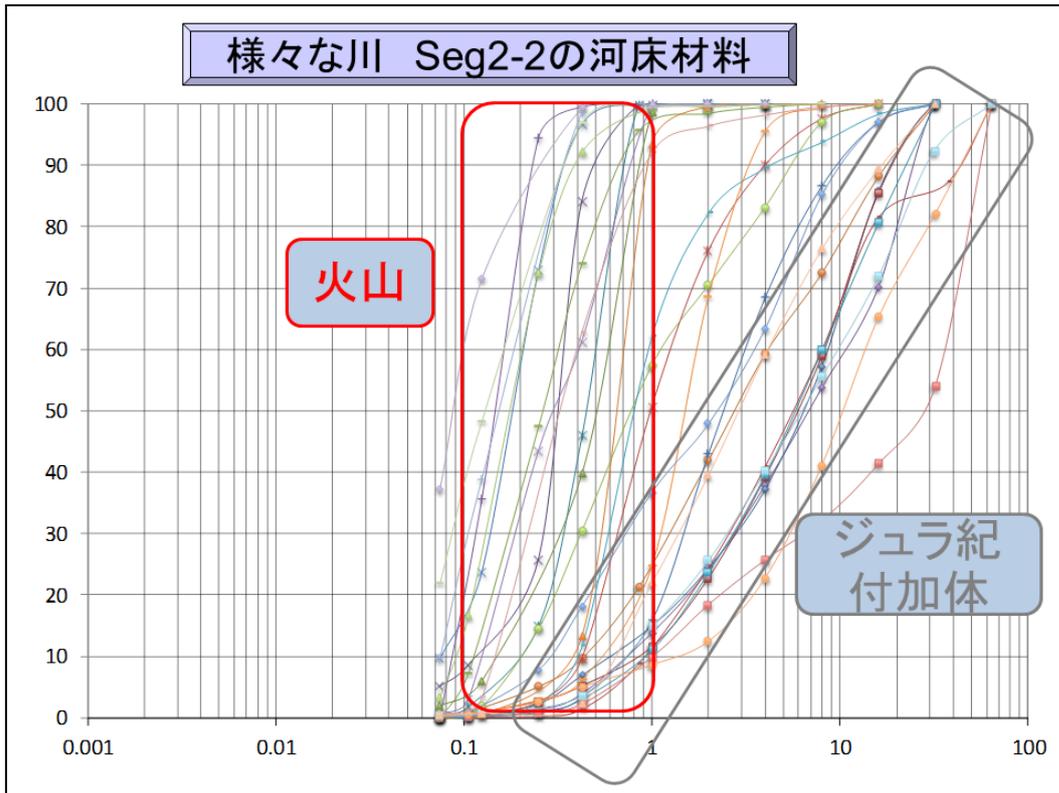
【11】

これがセグメント2-2という区間に行くと、結構散らかっているのですね。散らかっているのですが、0.1～1mmは実はきれいに形がそろっています。これ、縦にまっすぐ落ちているので、ものすごく幅の狭い粒度分布です。そして、粒径自体は違うのですが、その粒度の分布形が似ているということですね。これに加えて0.1～10mmの粒度でd60が1～4mmになるグループがちらちらあって、あとはd60が8～10mmの粗いやつがいます。というので3種類に分かれます。



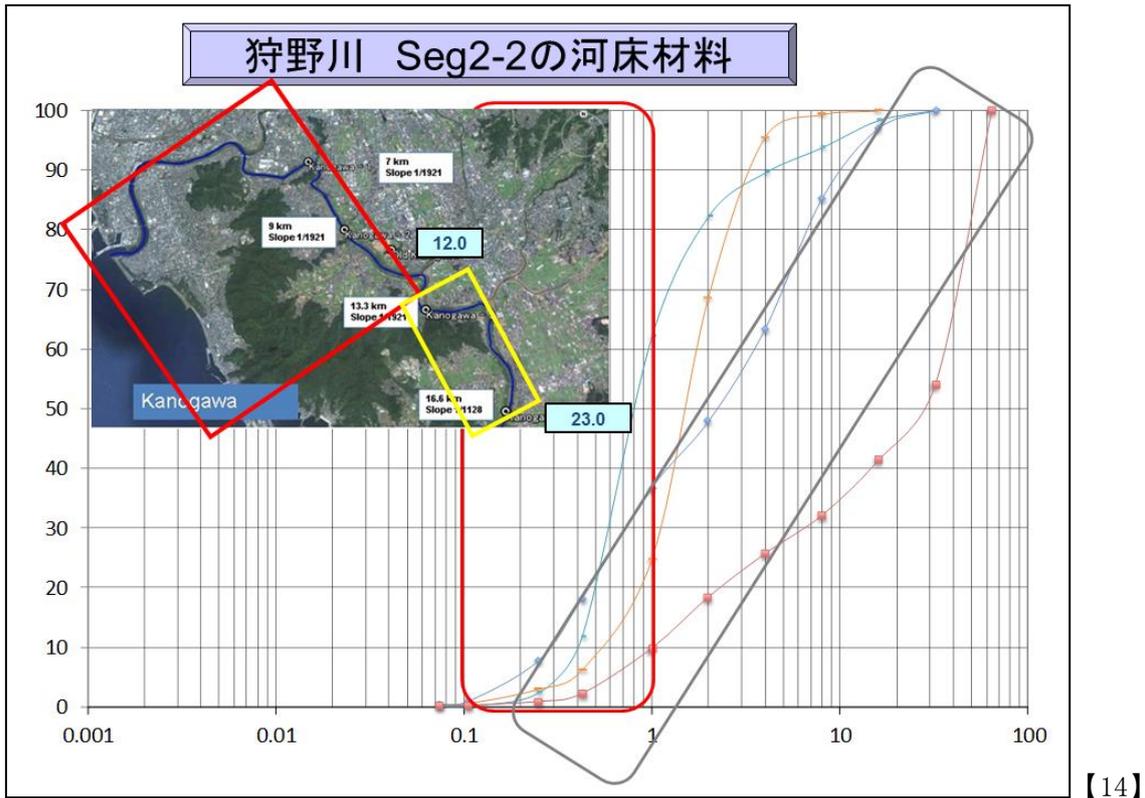
ところが、セグメント2-2というところで川岸の材料を見てやると、実は全然多様ではないのですね。私もいろいろなところの川岸で砂をとってふるいにかけてみたけれども、d60が0.25mm前後という場合が非常に多いです。それを中心に多少はばらつくのですが、0.1mm～1mmです。なので、ものすごくそろっています。しかもこれはシルト分が場所によって違うことによるので、シルト粘土分をとって考えるとほとんど1本の線に乗ってくるぐらいです。

さっき申しましたように、川というのは勾配とか流量に応じていろいろな土砂の動きをするのですが、川岸の材料というのは浮遊砂という舞い上がった砂ですね。



【13】

そうやってセグメント2-2の河床材料をもう一回見ると、0.1～1mmの粒径加積曲線は、川岸と川底の材料が同じだということがわかります。一方粗い粒径のグループは、最大で2cmぐらいのを含んでいるのです。下流部なのに2cmぐらいのを含んでいる。そして、それらの中間的なものという、3つのグループに分かれます。僕らの研究だと、河床と河岸がともに浮遊砂なのはほとんど火山を流れる河川です。要は、細かい砂が多いのですね、火山だと。火山と火山岩はまた違うのです。火山岩が固まって山の形をしているのは、火山岩のただの山です。僕が言っているのは、火山です。一方でこの粗いグループが、ジュラ紀の堆積岩を流れる河川が多いです。古い堆積岩、要は太平洋側でプレートが沈むときに押しつけられた付加体とよばれるものです。

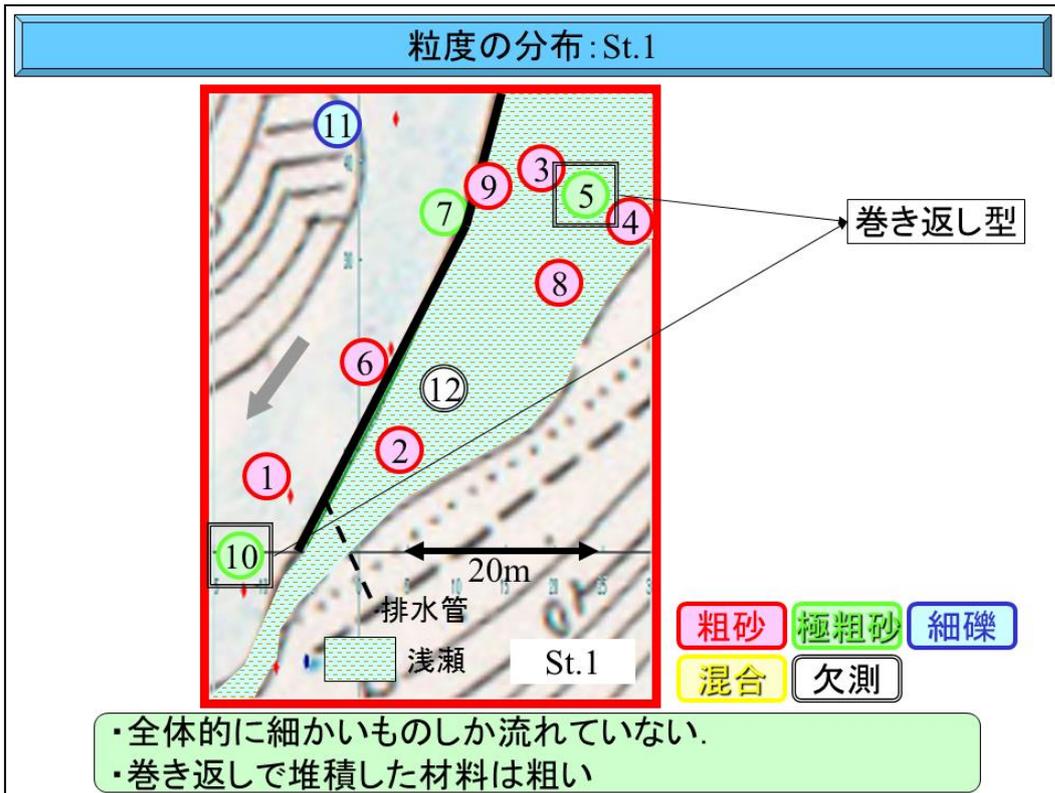


そして、狩野川の粒度を見ると火山のグループはいません。実際狩野川は火山岩で100%占められていますけれども、活発な火山はないので、これはおかしくないかなと。一番右の粒度の粗いのは計測ミスです。これはセグメント2-1だったので、これは間違えて入ってしまったのですけれども消し忘れしました。というので、狩野川は火山のグループでもジュラ紀の堆積岩のグループでもなく間に来るグループで、火山ではない火山岩だから、おかしくないのかなと思います。

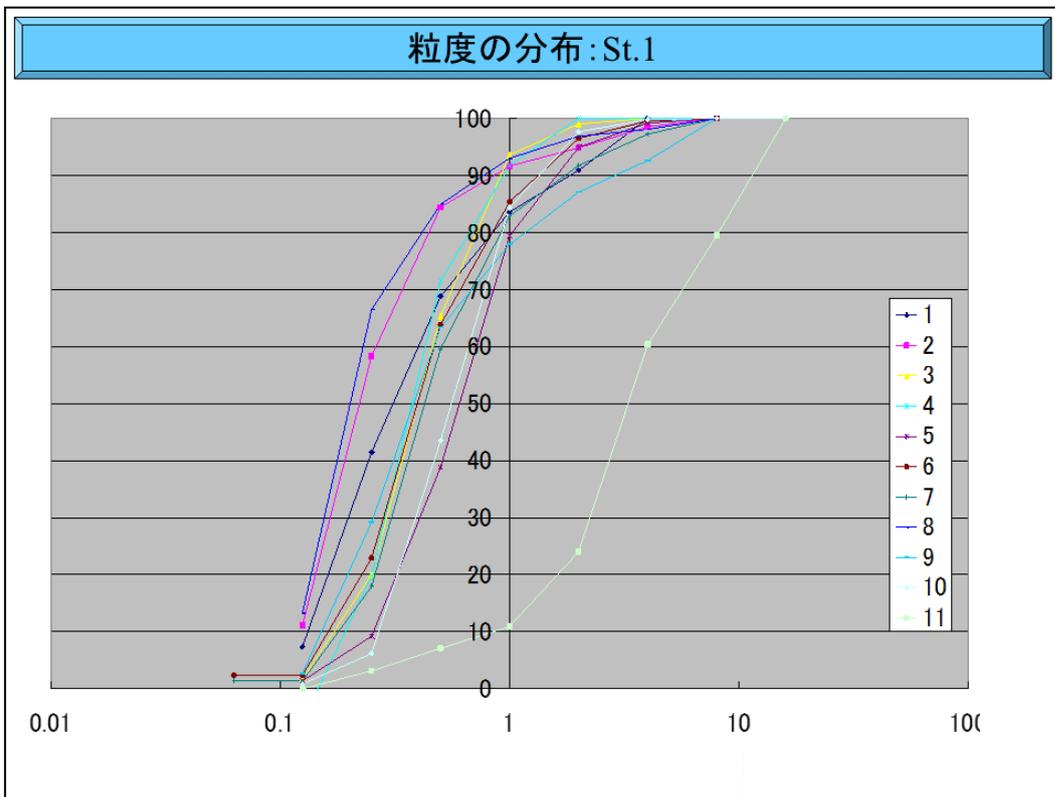


【15】

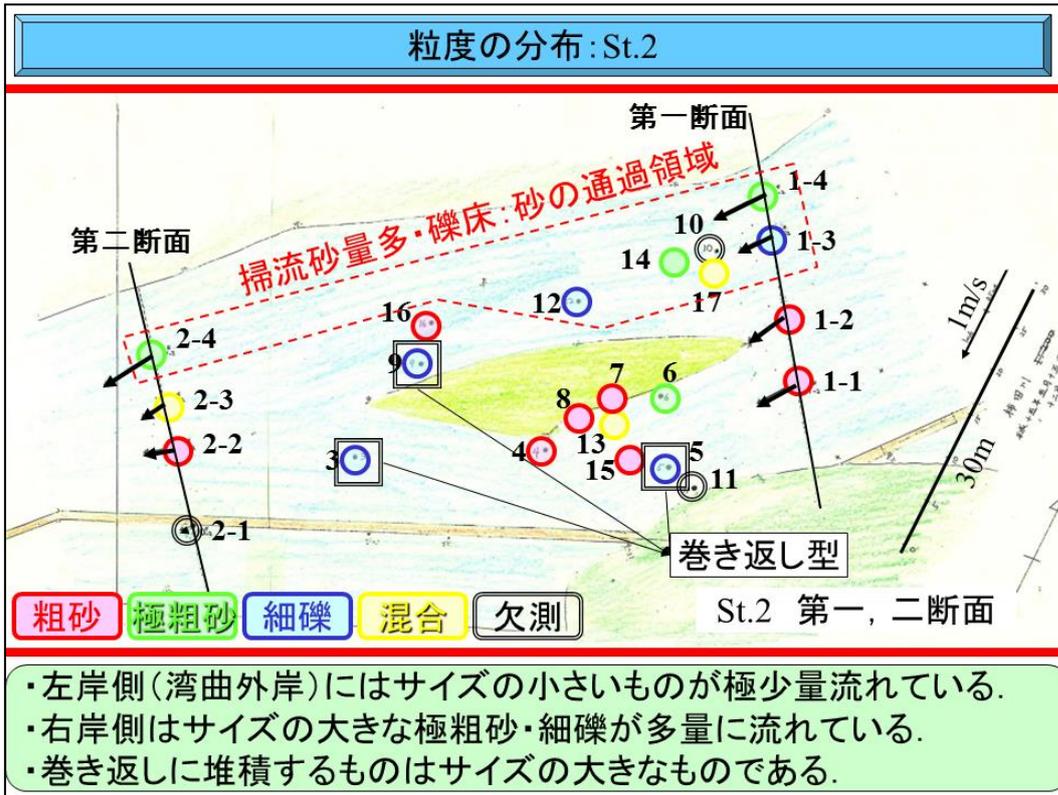
次にここに示す写真が20年前にやった仕事です。こんなことしてばかじゃないかとも言われましたけれども、一生懸命柿田川の川底にたくさん筒を刺して、どれぐらいのスピードで筒が埋まるかということをやりました。いろいろなところではかったのです。



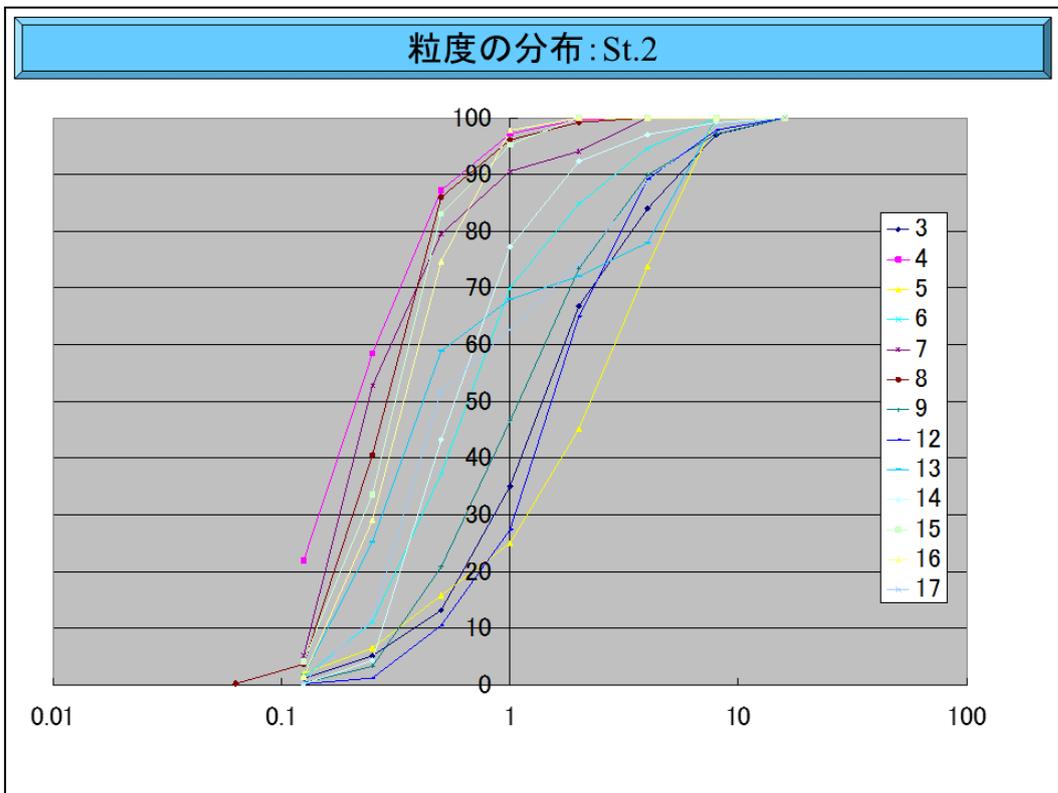
例えばこのステーション1と呼んでいるのは一番上流の湧き間のところです。第二展望台から木道でずっと歩いていくと、ここにヒューム管が通っているところがあります。



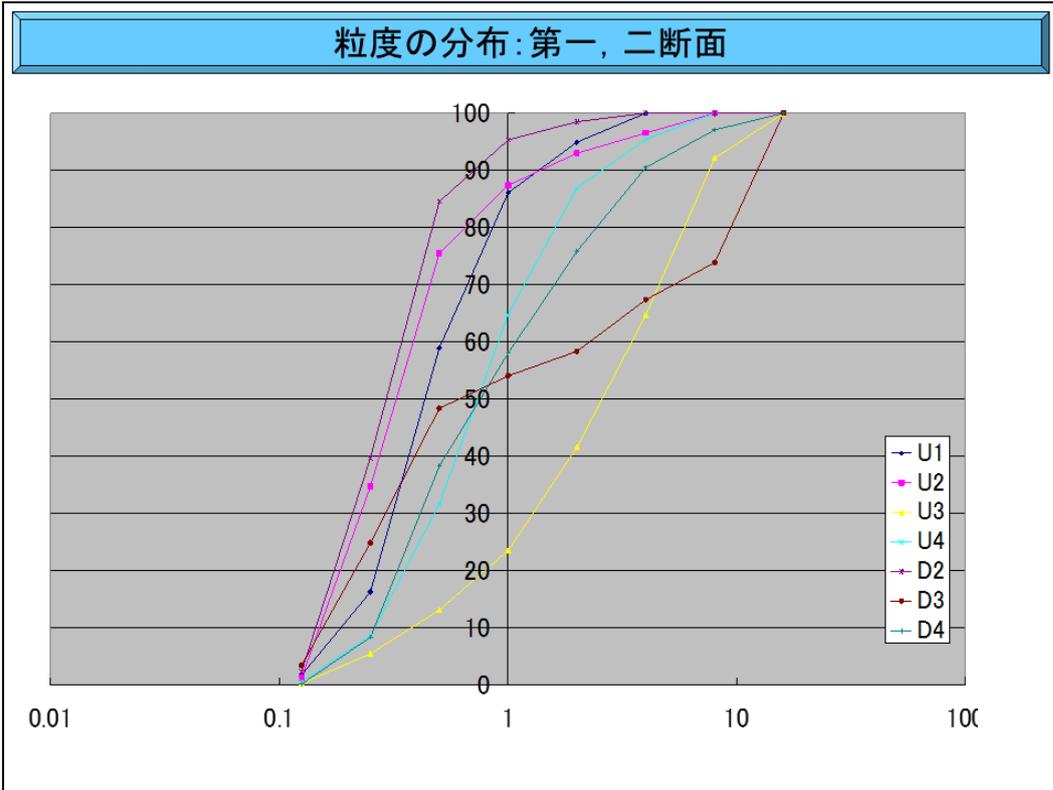
ここではかると何とさっきお示した河岸材料と同じだと言った河床材料のグループです。



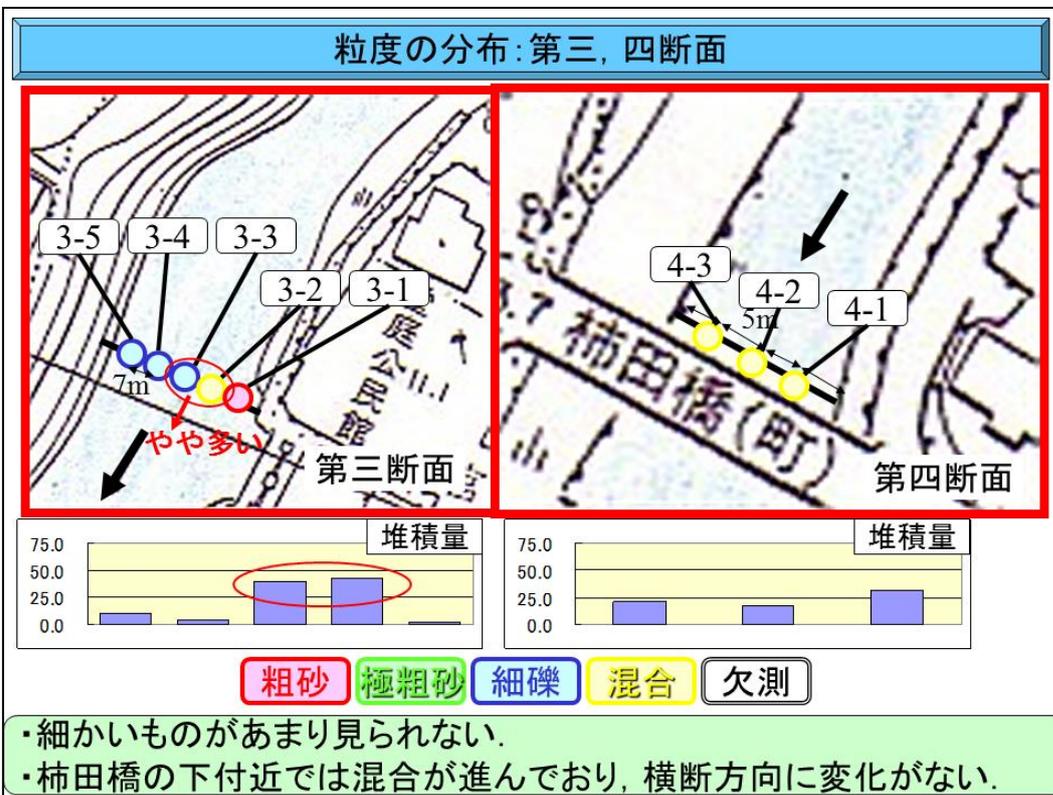
【18】

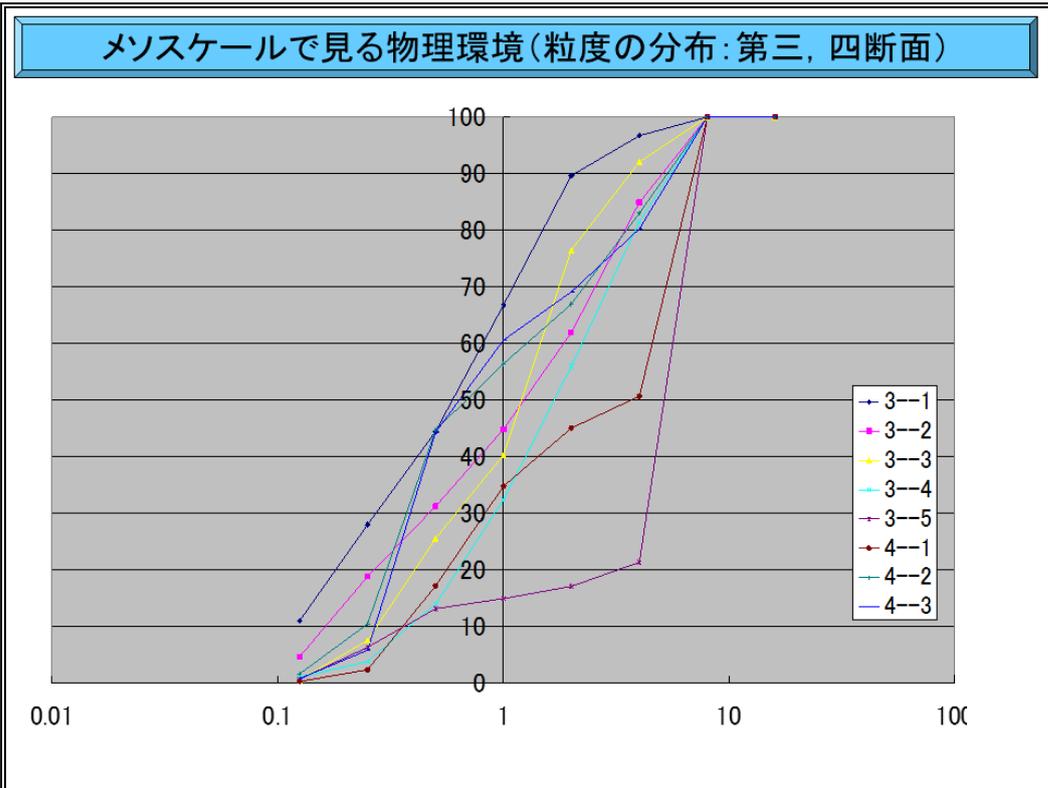


【19】

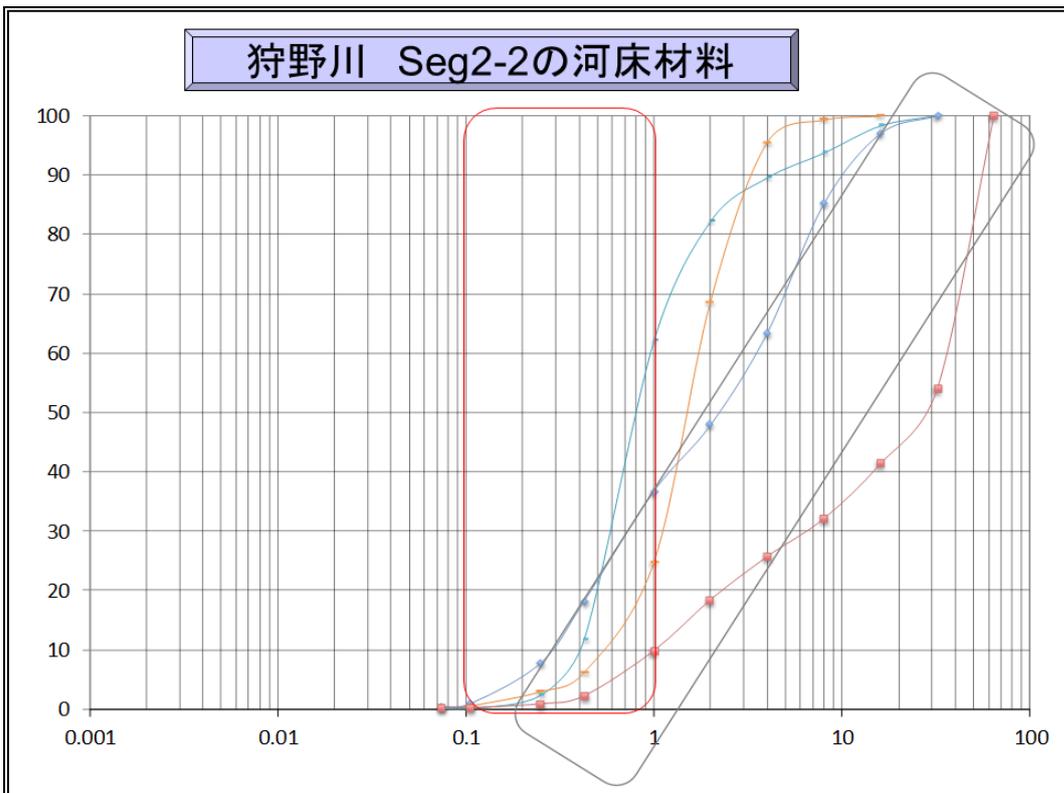


もう少し下流の観察園の前あたりではかると結構いろいろなのが出てくるのですが、火山特有のこの細かい砂が結構あって、狩野川同様のその他のグループというのが出始める。





【22】



【23】

最後、出口ですけれども、狩野川が合流するところです。僕の感覚で言うとあまりきれいなS字ではないです。けれども、結局は狩野川同様のグループの粒度になって出ていくのだらうと思います。すなわち、狩野川の河床材料とほとんど同じものが出ていくのでしょう。



【24】

問題は、何でだろうと。普通セグメント2-2で細くなるというのは、僕の場合は上流に粗いものが堆積して、下に行くにつれだんだん細かいものが選択輸送されて最後にあの粒度になるという理解だったのです。けれども柿田川は最初からですね。何で最初から下流の堆積物なのだと考えて、そうか、これは黄瀬川の下流部だからだと思ったのです。ただ、つい先ほど伺いして、この辺でもう黄瀬川の河床勾配が228分1あるのです。すると少し粒径が細か過ぎるのですよね。細かいものが選択的に輸送されて粗いのは残されているのかなと思ったのですけれども、掃流力を考えると、別に2cmぐらいまでなら動かしてもおかしくないです。にもかかわらず、1mm前後しか動いてない。ここは少し謎です。

だから、この辺を少し解明すれば土砂の動きと地形との関係というのが見えるかなというふうに思っております。ありがとうございました。

【加藤憲二 研究会代表(静岡大学名誉教授)】 どうもありがとうございました。ご質問、1つか2つ、あるいはコメント。竹門さん。

【竹門康弘 会員(京都大学防災研究所 准教授)】 砂はどこから来たのですか。要するにどこから来たかというのを想定しないと、今の議論ができないのではないかと思います。

【知花】 失礼しました。どの段階から言うかによりますけれども、最初は、黄瀬川が運

んできた扇状地の砂がこのベースにあるはずです。少し粗くてもいいんですよ。掃流力に応じた細粒分が選択的に流れていっているのかなという感じです。

【竹門】 あと土砂収支も聞きたいところです。

【知花】 それは、そろそろ考えなければいけないのですけれども、私、これをやったのが20年前で、20年前でもパイプが一瞬で埋まっているのですよね。そんなペースで20年間流れ続けていたら柿田川の川底はすごく下がっているはず。

【竹門】 つまり、砂は今でもどこかから供給され続けているのではないのかということですね。

【知花】 あるとすれば、この辺、斜面は微妙に削れているというのはあって、昔、柿田川の公園の階段が削れているというのを指摘したことがありましたけれども、微妙に周りの斜面は削れています。ですけれども、あのペースで動いていたら、運び終わるか、逆に常に少しずつ下がっているか、どっちかなので。

【竹門】 湧水から出てくる可能性はないのですか。

【知花】 それは昔から結構言われるのですけれども、湧水周りであのパイプを刺していても一切入ってこないで、あれは上下に動いているだけですよね。だから抜けてはきてない。だからこれぐらいの動きがあったら出るはずですが。だからわからないんですよ、あの震災の後、結構状況が変わっているので、あれがまた何を意味するのか、吹き出し口も変わりましたし。

【竹門】 そうですよ。湧き間が変わりましたよね。

【知花】 ええ。あれでまた少し不安定になった可能性はあります。後で発表に出てくる藻類とかを見ていると、あまり動いている心配がないのですよ、上のほうほど。だから周りからちよろちよろ入ったのが、途中からは結構な量になって砂が動いています。あと、ヒューム管が貯砂ダムみたいな働きをしていますので、あいつが徐々に供給しているなどというのは印象としてありますけれども。

【加藤】 どうもありがとうございました。

— 了 —