

2008 年度 修 士 論 文

天竜川下流域の河川地形変動に関する研究
Study on change in fluvial topography of lower Tenryu river

大久保 省良
Okubo, Seira

東京大学大学院新領域創成科学研究科
社会文化環境学専攻

1 はじめに

p 1

- 1.1 背景
- 1.2 調査地概要
 - 1.2.A 天竜川概要
 - 1.2.B 天竜川の治水
 - 1.2.C 天竜川のダム
- 1.3 研究目的

2 空中写真による天竜川下流域の河道の変遷

p 5

- 2.1 目的
- 2.2 方法
- 2.3 結果
 - 2.3.A 流路
 - 2.3.B 水制
 - 2.3.C 中州
 - 2.3.D 変化の顕著な場所
 - 2.3.E 河川敷公園

3 天竜川下流域での平常時・出水時の現地観測

p 25

- 3.1 河口より 5km 地点の中州
 - 3.1.A 堆積物
 - 3.1.A.a 目的
 - 3.1.A.b 方法
 - 3.1.A.c 結果
 - 図・表
 - 3.1.B 流速観測
 - 3.1.B.a 目的
 - 3.1.B.b 方法
 - 3.1.B.c 結果
- 3.2 河口より 22km 地点周辺
 - 3.2.A 置き砂
 - 3.2.A.a 目的
 - 3.2.A.b 方法
 - 3.2.A.c 結果

- 3.2.B 地形調査
 - 3.2.B.a 目的
 - 3.2.B.b 方法
 - 3.2.B.c 結果

- 3.3 出水時観測
 - 3.3.A 目的
 - 3.3.B 方法
 - 3.3.C 結果

4 係留式濁度計による連続観測

p 68

- 4.1 目的
- 4.2 方法
- 4.3 結果

5 考察

p 73

- 5.1.A 空中写真
- 5.1.B 現地観測
 - 5.1.B.a 平常時
 - 5.1.B.b 出水時
- 5.1.C 連続観測
- 5.2 総合考察

謝辞

p 77

参考文献

p 81

1 はじめに

1.1 背景

近年、流砂系という概念が提唱されている。土砂が生産される山地から、河道を経て海岸へと供給され漂砂となり、深海へと流出していく連続した全過程の一貫して流砂系と呼ぶ。近年の国土管理において重要な概念である。しかし、わが国では、経済活動によって流砂系の分断が至る所で起きている。特に大きな問題とされているものに、ダム等の構造物による流砂系の分断がある。

これは、ダムを設置することでダムの貯水池内に土砂が堆積し、下流側への供給土砂量が減少するといった問題である。結果として、海岸侵食等の問題を引き起こしている。これらの問題の解決のためにダム貯水池内の堆砂と海岸侵食について多くの研究がされている。しかし、ダムと海岸との間の河道内の土砂の動きは不明な点が多く、また古くから治水や利水のため河道内には多くの構造物が設置されているため、河道内の土砂の輸送は影響要因が多く解明が難しい。このことから、沿岸の土砂問題を議論する中で、河道内の土砂輸送は考慮されずにきた。また、ダム堆砂と海岸侵食を関連させて土砂管理を行うときにも河道管理と土砂管理の連携は試験的なものを除いて実際には施行されていない。

1.2 調査地概要

1.2.A 天竜川概要

天竜川は、長野県の諏訪湖（標高 759.9m、面積 13.3 k m²、周囲 16.2 k m 最大深度 6.5 m）を水源とし、赤石山脈（南アルプス）木曽山脈（中央アルプス）の間を三峰川、太田切川、小渋川などの多くの支流を集めながら、伊那谷を流れ太平洋（遠州灘）へと注ぐ、幹線流路延長は 213 k m、流域面積は 5090 k m² の一級河川である。流域が長野県、愛知県、静岡県の 3 県にまたがる日本で有数の急流河川である。

また、天竜川は、上流域に中央構造線と共に多くの断層が走っているため、地質的に脆く、急峻な地形のため、山腹崩壊が起こりやすく豊富な土砂生産のある河川でもある。

しかし、近年、天竜川から遠州灘海岸への土砂供給量が減少しており、遠州灘海岸では海岸侵食が起き、沿岸防災力の低下や生態系への影響が問題視されている。

遠州灘海岸は、中田島砂丘に代表されるように広い砂浜のある海岸だった。しかし、海

岸侵食の結果、海岸の埋め立てゴミの流出や、アカウミガメの産卵地の減少、津波や高潮に対しての危機管理の面など、多様な問題が発生している。

1.2.B 天竜川の治水

昭和中ごろまで、天竜川では洪水が頻発していた。第二次世界大戦以降、連続河川堤防、流域に多くのダムを設置するなど、近代的河川整備によって洪水の被害が激減した。また、中下流部の治水事業は、1885 年（明治 18）から国の直轄事業となり 1911 年（明治 44）の大洪水を契機に、1923 年（大正 12）に鹿島地点の計画高水流量を 11,130 m³/s とした。

下流部（河口から鹿島地点）では、昭和初期には、大平川の締め切りを行い、1944 年（昭和 19）には東派川を締め切り、1958 年（昭和 33）には西派川を締め切った。これら流路の修正により、河道が一本化され、ほぼ現在の天竜川の河道となった。その後、1968 年（昭和 43）洪水などによる中流部（鹿島地点から長野県境(25km～95km 間)）の甚大な被害により、1973 年（昭和 48）に基準地点鹿島において基本高水のピーク流量を 19,000m³/s とした。そのうち上流ダム群により 5,000 m³/s を調節して、計画高水流量を 14,000 m³/s とするため、堤防整備や新豊根ダムの建設が進められてきた。現在は、下流部の堤防はほぼ完成している。また、天竜川流域は、ほぼ全域が東海地震対策強化地域に指定され、さらに下流部は東南海・南海地震の防災対策推進地域に指定されており、堤防等への地震や津波の被害が懸念されている。

1.2.C 天竜川のダム

天竜川流域には、15 基のダムが設置されており、幹線流路内にも 5 基のダムが設置されている。幹線流路内のダムは多くは発電用だったものが、いくつかは後に多目的ダムとなり、多量の取水を行っているものもある。また天竜川流域のほとんどのダムは貯水池への堆砂の問題を抱えており、これまでにサンドバイパス等の大規模かつ先進的な対策が施されてきたが、解決には至っていない。

	総貯水量(m ³)	竣工年	堆砂量(総容量比)	土砂通過状態
泰阜ダム	42425000	1952	84.5%	ほぼ通過
平岡ダム	10761000	1935	81.6%	ほぼ通過
佐久間ダム	326848000	1956	34.6%	堆砂
秋葉ダム	34703000	1958	36.6%	ほぼ通過
船明ダム	10900000	1977	8.3%	ほぼ通過

表 1：幹線流路内のダム

（財団法人 日本ダム協会 HP より）

1.3 研究目的

流域内のダム群の貯水池内への堆砂により、流域の土砂輸送に著しい影響が出ている天竜川において、流域内の全ダムの影響を受けている最下流のダムの下流側を調べることに
より、ダムの影響と既存の河川構造物や地形との関連性を探り、土砂輸送の要因を把握
することを目的とした。

ダムの設置による影響は、貯水池内の堆砂と取水による流量の減少や洪水調節による
ピーク流量の減少といった直接的な影響だけでなく、その直接的な影響が引き起こす、間
接的な影響がある。この間接的影響には、河道内の樹林化や中州の安定化がある。しかし、
中州や河道内の樹林が流砂系の土砂輸送の問題として扱われることは少ない。これは河道
内の堆積土砂量が、ダム貯水池内の堆砂に比べ少なく、また貯水池内堆砂と違い、ダムが
なくとも河道内には土砂が溜まるためと考えられる。

今回の研究で、注目したものに、水制と中州がある。それぞれの解説を以下に示す。

水制とは、低水路を安定させることや、洪水時に流水を川岸や堤防に衝突しないように
川の中央部に追いやり、堤防沿いに土砂を沈殿させて高水敷を造成することなどを目的に、
川岸・堤防から川の中心部に向けて突出させて設けられる工作物。

水制は、わが国では水はね(みずはね)、はね出(はねだし)等と呼ばれ、古くから伝えられ
ており、河川の状況に応じて多種多様な形態、名称を有している。例えば、低平地河川で
は石レキがなく杭が打ちやすいので杭出水制が発達、杭が打てない扇状地河川等では木材
を三角錘に組んだ牛水制や台形に組んだ棗水制が発達した。水制技術は、単独で用いられ
るより、群として配置されることが多く、その大きさや配置の間隔は、河川の特質に応じ
て決定され、高度な経験を必要とする技術である。 (土木用語事典より引用)

中州とは、州の一種であり川の中にできるものをいう。では、州とは、海や川や湖など
の水面から現れた土砂を言う。 (地学事典より引用)

また、「州」は本来中州の意味で用いられていたが、「州」を用いて行政区をあらわす
ようになったため中州の表記を「洲」とした。しかし「洲」は当用漢字ではないため、現
在では意味に関わらず、当用漢字の「州」が用いられる場合が多い。

本研究では、「州」で統一した。

2 空中写真による天竜川下流域の河川地形の変遷

本章では、空中写真を用い天竜川下流域の河道内の地形の変遷について述べる。

2.1 目的

空中写真を用い、過去为天竜川の河道地形の変遷を調べることで、河川地形の変動要因をさぐることを目的とした。

具体的には、長期間にわたる河道内の中州の形状や大きさ、また河道内構造物の変遷等を把握し、河道内の地形や構造物等の変化に影響を与えたと思われる要因とを探ることを目的とした。

2.2 方法

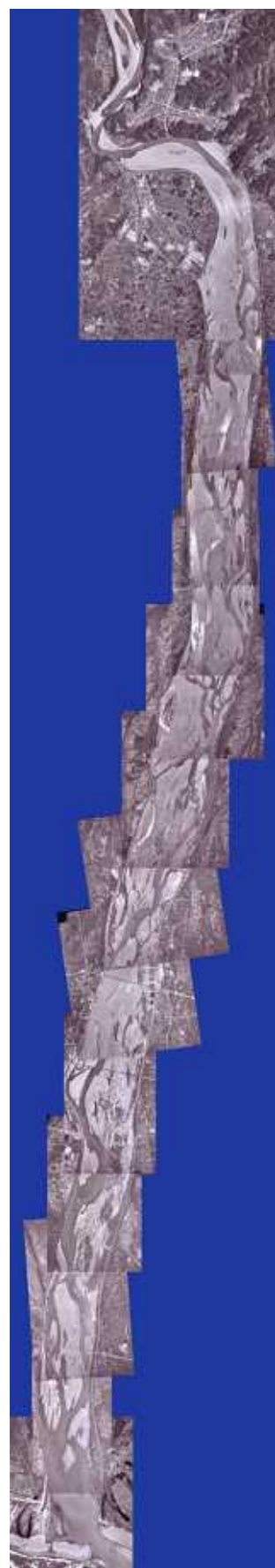
財団法人日本地図センター発行（国土地理院撮影）の1962年、1975年、1988年、2006年撮影の研究対象地（河口より25kmまで）の空中写真を用い解析を行った。

解析には、Adobe社製の画像ソフトPhotoshop7.0とESRI社のGISソフトArcGIS9.2を用いた。

空中写真とは、航空機などから航空カメラにより地表面を撮影した写真のことを言う。国土地理院では主に、地形図作成や、地形・土地利用の判読解析などに空中写真を使用している。その他にも地質・水質・植生状況など情報が含まれており、国土の利用、保全、防災計画といった行政分野などにも利用されている。

また、国土地理院では空中写真を撮影する場合、撮影コースを東西方向にとり撮影対象地域の上空を西へ東へと往復しながら撮影する。本研究で対象とした天竜川下流域は、南北に直線的に延びる河道のため、区間ごとに撮影日時が異なる。また航空機からの撮影のため同じ高度を保つことが難しく、縮尺及び撮影角度にずれがあった。このため、Adobe社製の画像ソフトPhotoshop7.0を用い、各年代の空中写真を合成した。その後、ESRI社のGISソフトArcGIS9.2を用いジオリファレンス機能により、縮尺及び、各地点間の距離を修正し、国土地理院発行の2500分の1の数値地図と一致させた。

その後、ArcGIS9.2により面積や形状の比較解析を行った。



1962



1975



1988



2006

図 2 : 各年代の空中写真

2.3 結果

まず、流路の変遷を見てみた。1962 年では、典型的な網状流路だったものが、2006 年では、ほぼ一本化されており、土砂の輸送機構に変化が生じていることがわかる。

また、流路の蛇行周期についても見てみた。この結果、流路の蛇行に差が見られた。また、流路の蛇行は、Y 座標の - 139000 付近での変化が著しいことがわかった。次に、水制の数の変動を見てみた。今回使用した中で最も古い空中写真の 1962 年では、両河岸に多くの水制があり、右岸で 137 基、左岸で 203 基であった。その後 2006 年では、新設されたものを除くと、水制のほとんどが 2006 年までに土砂に埋没し、その上を樹林化が進行し安定地形となっている現象が見られた。

また、中州にも顕著な違いが見られた。まず、その数だが、1962 年では 70 個であり、2006 年では、48 個になっている。また、その形状に関しては、1962 年では、縦長であり、長大であったものが、2006 年には、縦横比の差がなくなり、また面積的にも小さくなった。中州周辺の流路に関しても右岸側の流路と左岸側の流路の幅に著しい差が生じていた。1962 年の時点では、中州の左右の流路は、ほぼ同一の幅で流れていたが、2006 年になると左右の流路の幅に 10 倍ほどの差が生じている。

2.3.A 流路

1962 年と 2006 年の流路を比べてみた。1962 年では、典型的な網状流路であったものが、2006 年では、流路の一本化が起こっている現状がわかった。そもそも、網状流路（網状河川とも言う）とは、急勾配の幅の広い河床上に、砂礫堆が多数発達した網状砂州（複列砂州）が形成され、平水時の水流が、分流と合流を繰り返して網状流をなす河川。出水時には一本の水流となる。砂礫堆の変形・移動が盛んなため、蛇行河川のような浮遊土砂起源の垂直付加堆積物が保存されないのが特徴（地学事典より引用）の流路である。図 4 と図 5 に 1962 年と 2006 年の同一区間の流路を示した。1962 年では、複列砂州で、網状の流路であるのに対し、2006 年では、中州が高水敷となってほとんど見られず、流路が河道中央に寄っているのがわかる。

また、流路の蛇行波長を比較してみた。蛇行波長の分散値は、1962 年では、中央値が 608 であり、分散値 358 であった。2006 年では、中央値が - 362 のであり、分散値が 275 であった。また、1962 年と 2006 年の両年とも Y 座標の - 139000 付近で中央値が大きく変わっ

ている。Y座標の - 139000 付近から上流と下流に分けてみる。1962 年では、上流では 700 であり、下流では 516 であった。また、2006 年では、上流で、 - 551 であり、下流で、 - 232 であった。

また、上流下流それぞれの分散値についても見てみる。1962 年では、上流で分散値は、254 であり、下流で 413 となっている。2006 年の分散値は、上流で 240 であり、下流で 242 であった。1962 年では、下流で分散値が大きくなっている。これは、Y座標の - 145000 付近から下流において、流路の蛇行が激しくなっているためと考えられる。

また、流路の蛇行の特徴として、1962 年と 2006 年では、Y座標の - 139000 付近で蛇行の傾向が逆転している。この地点は、天竜川下流域の中でもっとも大型の水制が設置されている個所であり、1962 年時点で土砂の堆積と中州形状への影響がすでに見られることから、これらの水制群によるものと考えられる。この水制群は、ひとつの水制が約 100m の長さがあり、その水制が約 100m 間隔で 7 基並んでいる（図 3）。



図 3 : Y 座標の - 139000 付近の空中写真（左 1962 年、右 2006 年）

1962 年の流路

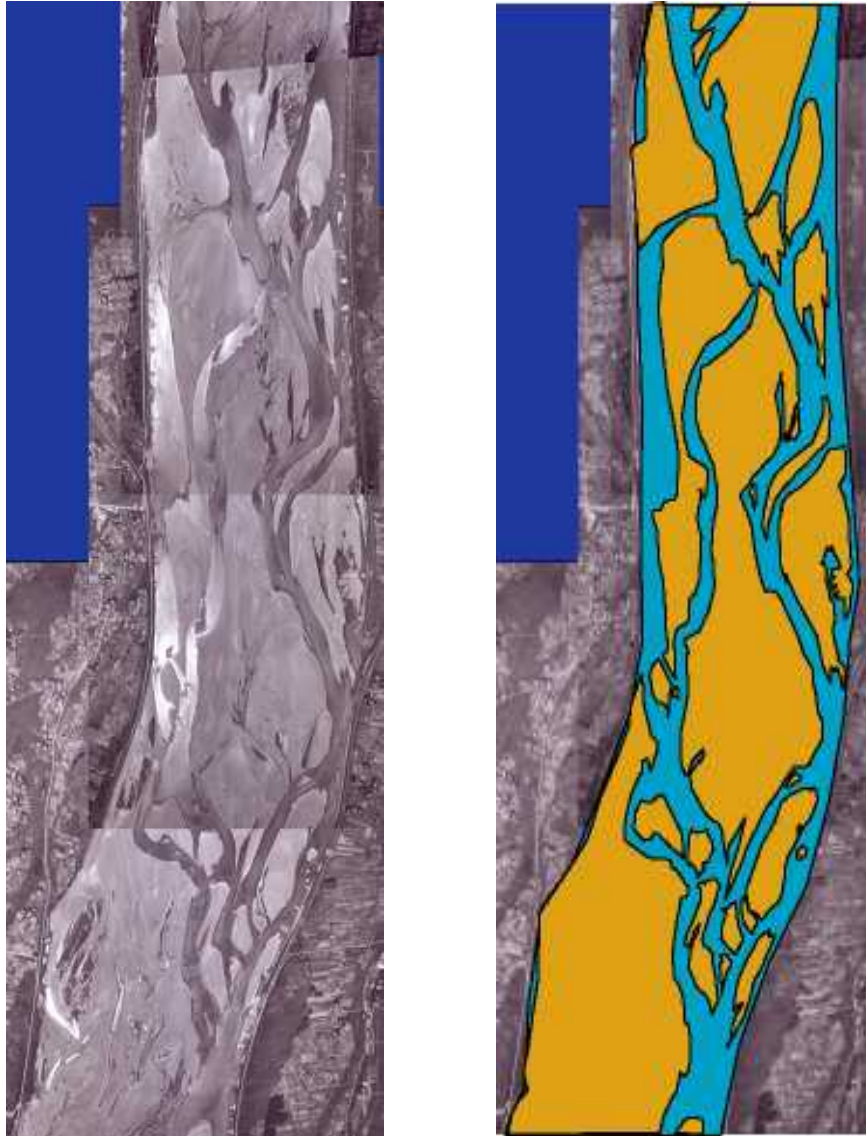


図 4 : 1962 年の空中写真と中州と流路の略図

2006 年の流路

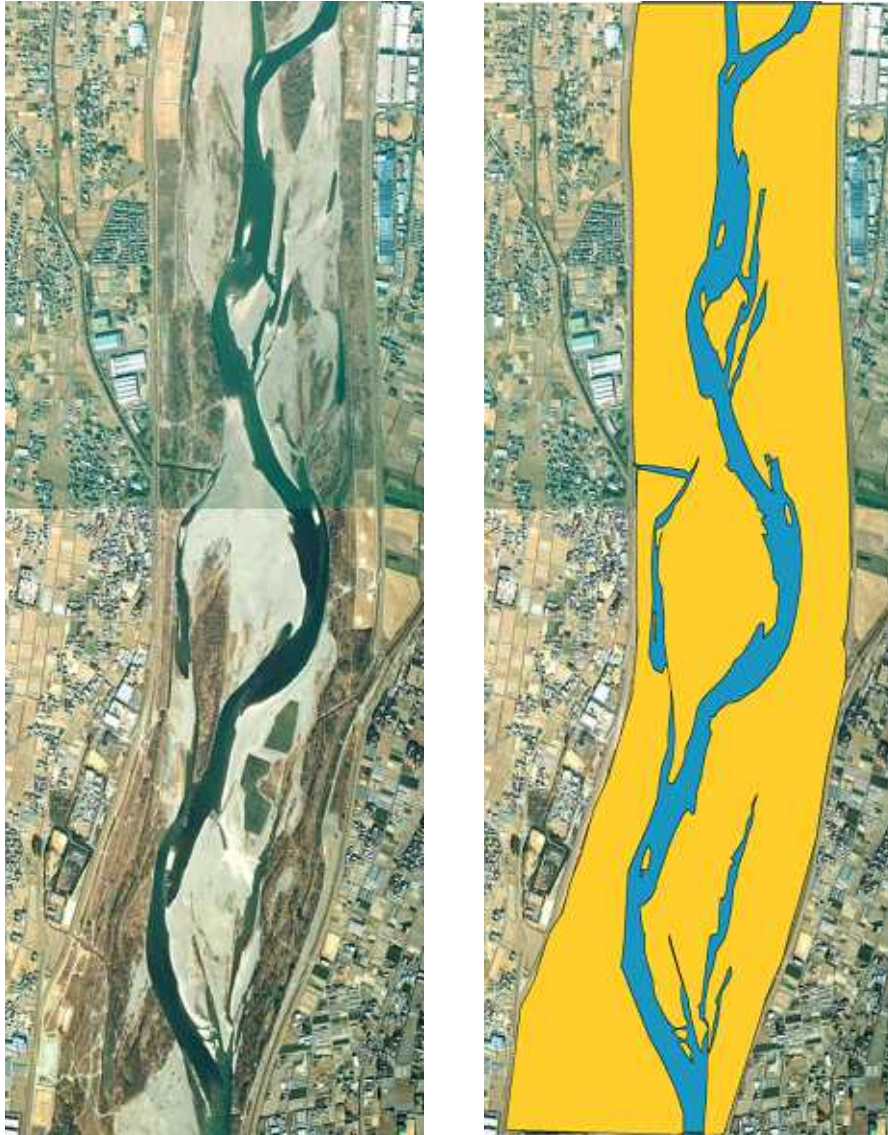


図 5 : 2006 年の空中写真と中州と流路略図

流路の蛇行波長

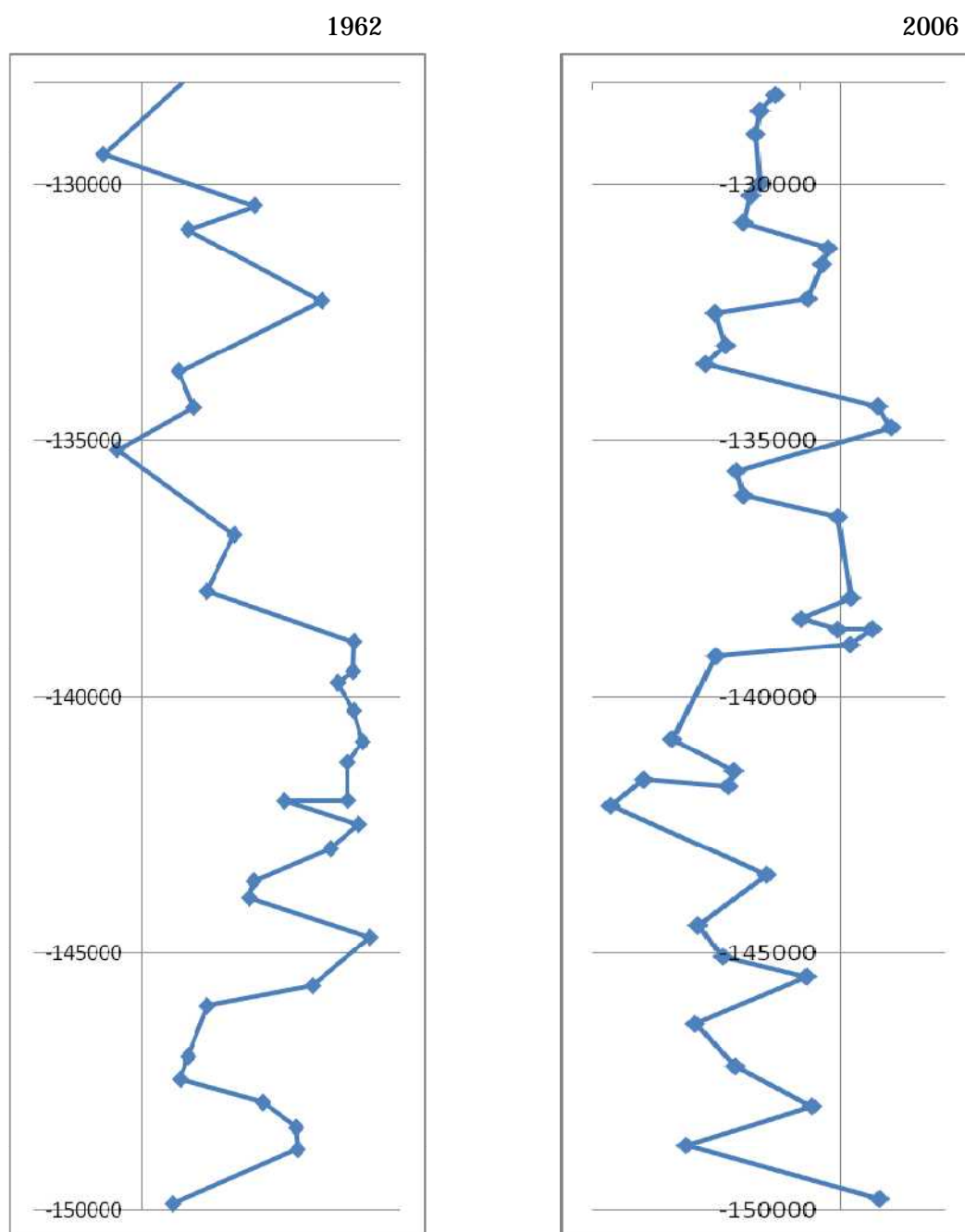


図 6 : 1962 年と 2006 年の流路の蛇行周期比較

2.3.B 水制

右岸と左岸でそれぞれの年代で、水制の数を数えた。数の減少は、土砂や樹林による埋没である。また 1975 年、1988 年、2006 年には新設という項があるが、これは、前の年代にはなかった水制が新しく設置されており、土砂等で埋没しておらず、確認できた水制の数である。また新設の項の中の括弧の中の数字は、前年代の空中写真で埋没していたが地形の変化により再び出現した水制の数である。

1962 年には河岸のほとんどの区間に水制が設置されていたが、その後激しく減少している。特に右岸側の河口より約 8km の付近から 23km の付近までの埋没が顕著であった。

この埋没とした水制は、ArcGIS 上で各年代の写真を重ねた時に前の年の写真で、水制のあった場所が、高水敷になっている場合や樹林化している場合、また、高水敷化しているが、水制の痕跡が判別できたものをカウントした。

	1962	1975	新設	1988	新設	2006	新設
右岸	137	52	20	33	20(7)	41	26(12)
左岸	203	88	2	56	8(3)	46	39
合計	340	140		89		87	
埋没数		222		79		67	

表 2：水制の数の変遷



1962



1975



1988



2006

図 7 : 各年代の水制分布

2.3.C 中州

天竜川は、元来、網状流路であった。1962 年では典型的な網状流路であるのに対し、その後、流路の固定化や偏在化、また一本化が起こっている。これらの変化を中州の形状変化から探った。

中州の数の比較

各年代の中州の数をまとめた。この時に数えた中州は、大きさに関係なく周囲を流路に囲まれているものを一つの中州とした。また各年の括弧の中の数字は、中州の表面が樹林化されておらず、かつ水平方向と垂直方向に凹凸が多いものを表したものである。中州上の凹凸は出水時の流路の跡であり、水平形状に凹凸がみられるのは、侵食傾向、もしくは堆積傾向にあるため、移動性の高い中州と考え、特にカウントしたものである。

1962	1975	1988	2006
70 (4)	45 (0)	35 (0)	48 (0)

表 3：各年代の中州の数の変遷

面積の大きい中州 5 個の比較

中州の形状を年代毎に比較するため、1962 年と 2006 年の各年の周囲を流路に囲まれた中州を面積の大きいものから 5 つを選び(図 8)、面積と中州の縦横の長さの比率を求めた。また中州中央付近の右岸側と左岸側の流路の幅の比率を求めた。

大きい中州 5 個の面積は、合計で 2006 年では、1,886,500m² であり、1962 年の合計 8,172,000m² の約 1/4 となっている。特に 2006 年には、大きな中州がなくなっている。形状は 1962 年では、流路にそって細長かったものが、2006 年になると縦横の長さの差がない形状に変わっている。流路の幅は、1962 年は左右であまり差がみられないが、2006 年では、片方が広く片方が極端に狭くなっている。

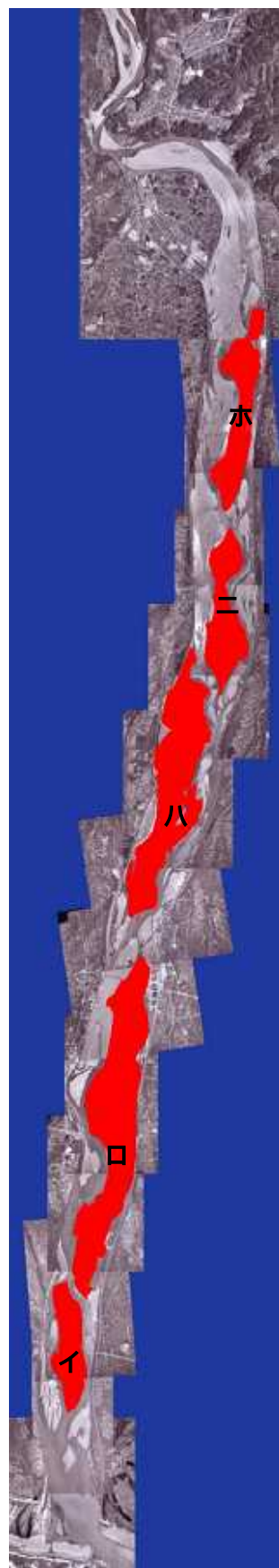
面積の大きい中州 5 個の比較

	面積(m2)	縦横比	左右流路幅比
イ	612000	1:5	1:1
ロ	2937600	1:8	1:1.2
ハ	2505600	1:7	1:2
ニ	1036800	1:4.3	1:1
ホ	1080000	1:5	1:1

表 4 : 1962 年の面積の大きい中州の概要

	面積(m2)	縦横比	左右流路幅比
イ	532800	1:1.7	1:5
ロ	212600	1:2	1:6
ハ	168100	1:3.3	1:10
ニ	641900	1:2	1:8
ホ	331100	1:2	1:5

表 5 : 2006 年の面積の大きい中州の概要



1962



2006

図 8 : 1962 年と 2006 年の面積の大きい中州 5 個の位置

2.3.D 変化の顕著な場所

各年の空中写真を比較し、変化が顕著だった4地点を抜き出した。(図13)

1 地点目 2.3.D.a 河口から2kmの右岸側中州は、1962年では、砂礫で覆われた凹凸の顕著な中州だったものが、その後、樹林化が著しく進行した。

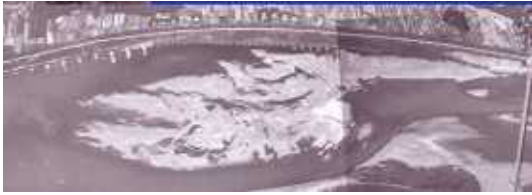
2 地点目 2.3.D.b 緑地公園は、河口から約8km地点右岸側にある。この地点は西派川の分岐点である。1958年には西派川の締め切りを行った後、河道に凹みのように残った。1962年の空中写真では、この凹みが見て取れる。しかし、その後水制間に土砂の堆積があり、緑地公園として整備され今に至る。

3 地点目は、2.3.D.c 新天竜川橋(国道一号線)右岸は、河口より約10kmの新天竜川橋のある付近の右岸である。この地点は、水制間に土砂が堆積し埋まった後、整地され河川実機公園となった。しかし、その後さらに水制の設置が行われ、水制間に土砂が堆積している。

4 地点目は、2.3.D.d 天竜川橋(東名高速道路)左岸であり、この地点も3地点目と同様に水制間の堆積とその後の水制の新設を行った地点だが、この新設された水制は、1962年時よりも約100m河道中央側に設置されている。

2.3.D.a 河口から 2km の右岸側中州 比較

1962



この時点では、この中州は表面に凹凸があり、また入り組んだ複雑な水平形状をしていることから比高が低いことがわかる。このことから、移動性が高いと推測される。

1975



形状が変わり、表面が草本に覆われている。水制との間の流路が狭まっている。1962 年の中州とは、形状的特徴が全く異なっている。これ以降の中州は、表面や水平形状の複雑さがない点や植生がある点など形状的特徴は共通点が多い。

1988



形状は下流端が延長し、水制に接近している。また、大部分が接岸している。植生が草本から木本へと変わっている。

2006



1988 年に植生で覆われていた部分の形状は変わらず、周辺に中州が発達してきている。1988 年に見られる中州には、ほぼ全面が樹林化している。

図 9 : 河口から 2 k m の中州比較図

2.3.D.b 緑地公園 比較

1962



中州と流路があり、自然な地形を保っているといえる。水制は、まだ露出している。

1975



凹部が整地され、緑地公園となった。しかし、緑地公園の脇を浅い流路がある。またその流路に水制を設置している

1988



緑地公園の縁辺部に樹林化が進行している。

2006



流路が変わり水衝部となったにもかかわらず、樹林化した部分は大きく残っている。

図 10：緑地公園比較図

2.3.D.c 新天竜川橋（国道1号線）右岸 比較

1962



水制を設置して護岸を防護している。また幅の広い流路と接している。

1975



新たに橋が建設されている。また水制の設置されていた場所に土砂がたまっている。

1988



1975 年時点でたまっていた土砂を整地し公園化している。また、その縁辺部に水制が設置されている。

2006



1988 年の時点で設置されていた水制に土砂が堆積している。

図 1 1 : 新天竜川橋（国道1号線）比較図

2.3.D.d 天竜川橋（東名高速道路）左岸 比較

1962



比較的大型の水制が設置されており、すでに水制間には土砂の堆積が見られる。

1975



水制は完全に土砂に埋まって見えなくなっている。

1988



水制のあった部分が樹林化して安定的な地形になっている。

2006



1962 年時点での水制の上が整地され、縁辺部に水制が設置されている。この新たに設置された水制は 1962 年の水制よりも約 100m 河道中央側に位置している。

図 1 2 : 天竜川橋（東名高速道路）左岸比較図

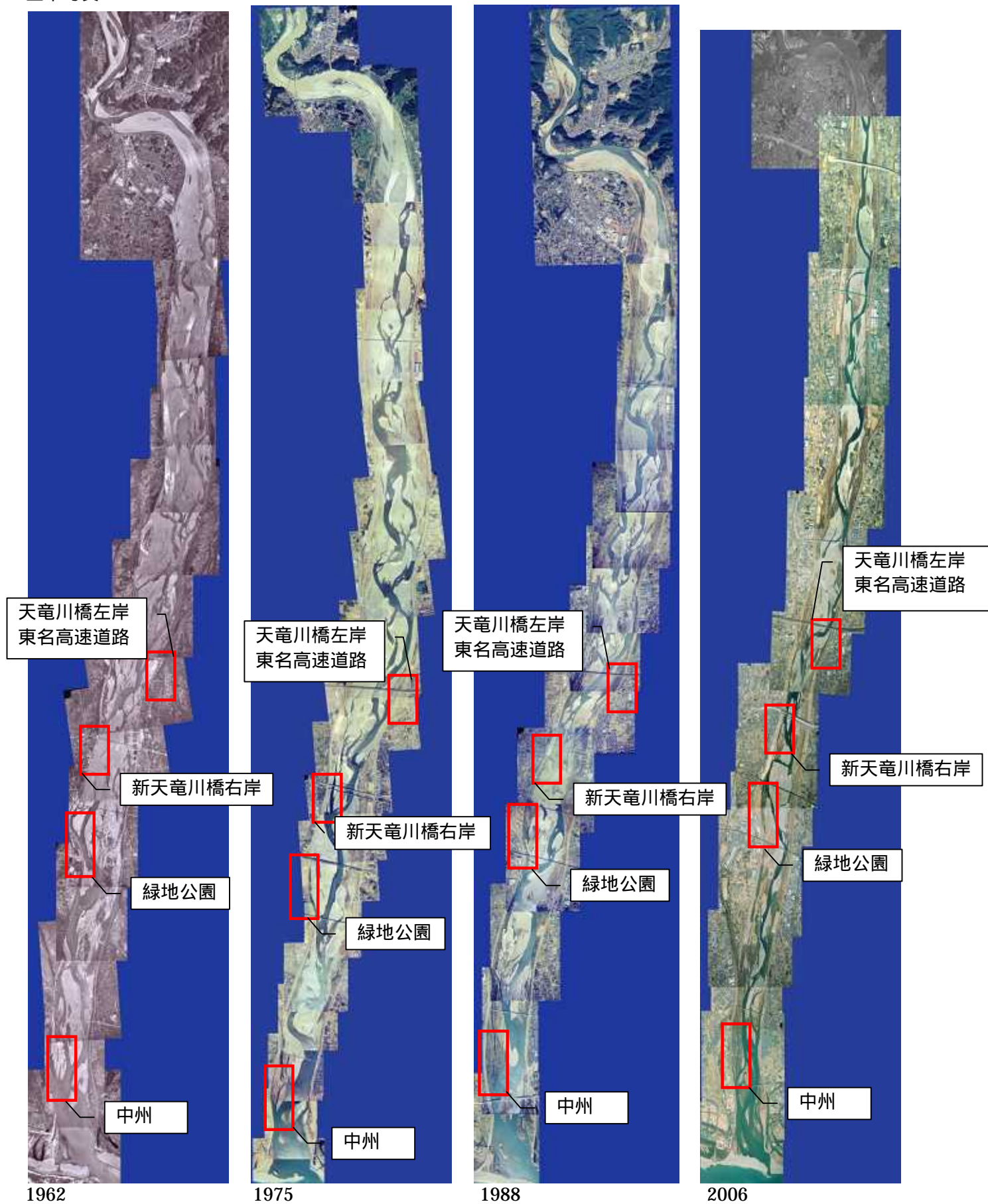


図 1 3 : 比較箇所位置図

2.3.E 河川敷公園

1962 年では存在しなかった河川敷公園だが、1975 年には 4 区間、1988 には 9 区間となっており、2006 年には、10 区間になっている。公園数の増加に対して総面積の増加が著しい。これは、1 つのつながった公園区間を 1 と数えており、公園の設置区間が連続していることを示している。

また 2006 年には、幅 100m を超え、長さが 1km を超える公園区間が 4 か所造成されており、そのうち長さが 3km を超えるものが 2 か所造成された。

これらのことから、河川敷公園は、造成されてのちに流失するといったように大きく失われることがなく、増え続けていると推測される。

また、今回公園とした地域は整地が行われ、用途別に管理されている区間のみであり、植生等の管理を行っていない場所は含めていない。このため潜在的にはさらに総面積が増えると考えている。

	数	総面積(m2)
1962	0	0
1975	4	186900
1988	9	660500
2006	10	1085300

表 6：公園数と総面積

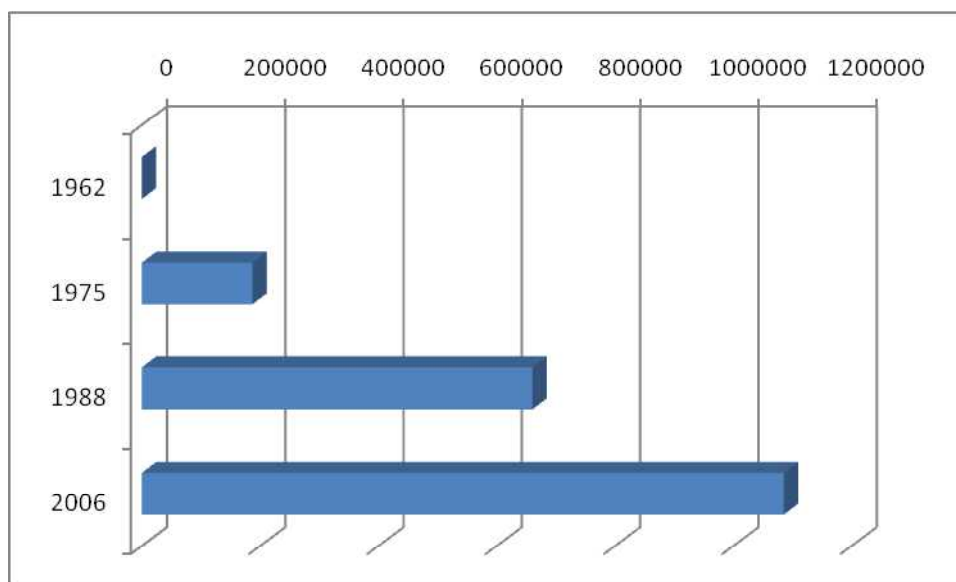


図 1 4：各年代の公園面積

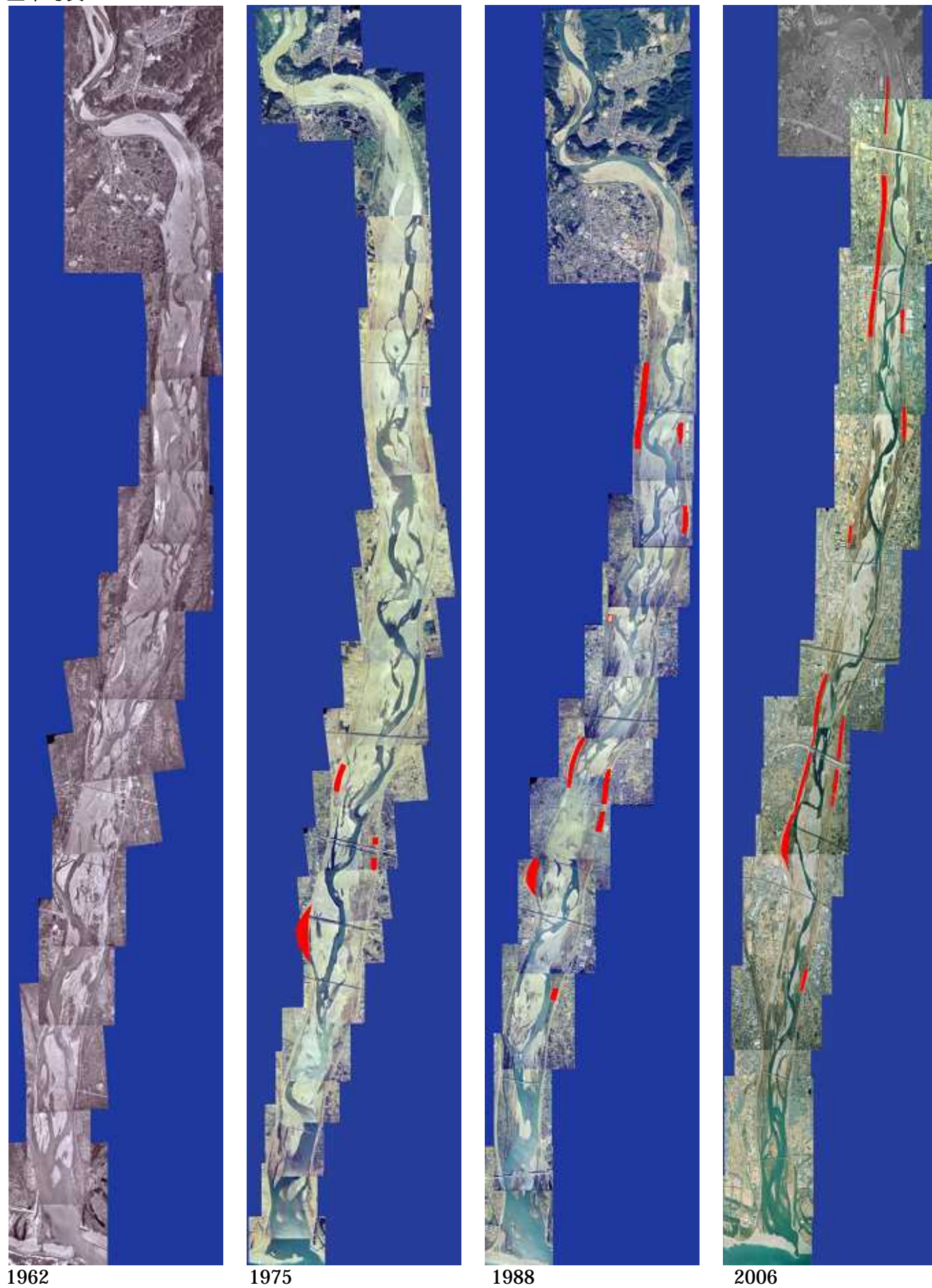


図 1 5 : 各年代の河川敷公園分布

3 天竜川下流域での平常時・出水時の現地観測

本章では、2007 年 7 月 3 日から 2008 年 9 月 7 日までの期間に行った天竜川下流域での 18 回の現地観測について詳細を示す。

平常時の現地観測は、主に河口より 5km 地点の中州及び右岸側の水制周辺と、22km 地点の中州と左岸側の高水敷で行った。

また、出水時の現地観測は主に河口より 3km 地点の掛塚橋とその左岸側で行った。それ以外にも掛塚橋から船明ダムの間で安全に水辺に近づける数か所で行った。



図 1 6 : 現地観測調査地位置図
(赤丸が調査地位置)

3.1 河口より 5km 地点の中州及び水制

河口より 5km 地点の右岸側にある中州と周辺の水制を対象に観測を行った。図 1 6 に位置を示す。

この地点を観測対象とした理由は以下の通りである。

河岸近くに中州が発達している。

中州に高木や草による樹林化が起こっている。

付近の水制の設置年代が新しく、埋没等が起こっておらず観測に向いている。

水制と中州の間の流路にはある程度の流量があり観測に適している。



調査域周辺写真 2004 年 3 月撮影 (赤四角の範囲が写真)



調査域周辺写真 2004 年 3 月撮影

写真出典：天竜川写真集

観測対象とした水制は、この水制群（河口より 5km から 7km までの間にある右岸の水制群）の最下流の 3 基にあたる。また、この 3 基の水制は設置年代が比較的新しく、3 基とも 1999 年（平成 11）設置である。このため、水制と水制の間が埋没しておらず、観測することができた。同じ水制群の中で、この 3 基よりも上流の水制は土砂で埋没しており、樹木の繁茂が著しいものばかりであった（写真 3、4）。また、その傾向は上流の方が顕著であった。



写真 1：観測対象水制上流側から撮影 2007 年 10 月撮影



写真 2：観測対象水制堤防より撮影 2007 年 10 月撮影



写真 3 : 上流の水制



写真 4 : 上流の水制

写真 3 及び 4 は、観測対象地の上流の水制である。水制の周辺に土砂が堆積したため水制は埋没し、高木や草の繁茂が見られる。このことから、水制周辺が陸地化しているといえる。

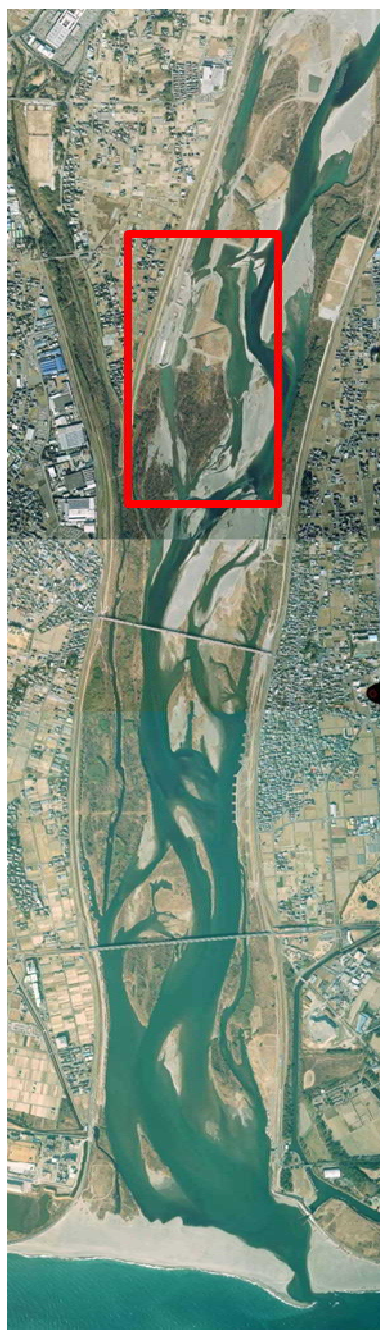


図 1 7 : 河口から 5km 地点までの空中写真
(赤枠内は調査対象地)

3.1.A 堆積物調査

3.1.A.a 目的

既往研究では、遠州灘海岸を構成する主な底質粒径は 0.106mm から 0.85mm である。(岡安 2004) また、河道内の樹林には、海浜成分の選択的堆積が見られる(吉井 2007)。

そこで樹林化が進行し、多くの水制が設置されている天竜川下流域において、構造物や樹林化が進み固定化された中州の影響による土砂の堆積の実態を探るため、堆積物調査を行った。

3.1.A.b 方法

水制周辺の堆積土砂の実態を把握するために、表層土の採泥と柱状採泥を行った。

まず表層土の採泥方法を述べる。粒径が 300mm を超える礫を含む採泥地点では、50cm の方形を作り、その中の表層土を深度 5cm まで採泥する。次に採泥した表層土の全重量を量る。その後現地で 180mm の粒径まで篩分けを行い、また残りの重量を量る。残ったものを持ち帰り篩分けにより、75 μ m まで分類した。

次に、粒径が 300mm 以下の粒径で構成されている採泥点及び、水中での採泥では、エクマンバージ型グラブ式採泥器を用い採泥を行った。この方法によって得られた底質は、目視により 2mm までの粒径で構成されているサンプルは、島津レーザ回折式粒度分布測定装置(測定範囲 0.05 ~ 3000 μ m)を用い行った。またそれ以外のサンプルは、篩分け法を用い行った。次に植生の繁茂している採泥点に関しては、直径が 3cm の塩ビ管を用いた柱状採泥を行い、柱状採泥の中から表層の部分を用い比較を行った。このときのサンプルも目視により 2mm 以下の粒径で構成されているものは、島津レーザ回折式粒度分布測定装置を用い測定した。

柱状採泥については、砂層の厚い採泥地点でのみ行った。採泥後、実験室にて塩ビ管をアクリルカッターにて縦に 2 分割し、各層ごとにサンプルを作った。その後、島津レーザ回折式粒度分布測定装置にて分析を行った。

島津レーザ回折式粒度分布測定装置は、3 軸粒径を計測するものであり、篩分け法よりも若干大きな値が測定されるため、測定後、同サンプルで篩分け法とレーザ回折式粒度分布測定装置で測定し、補正値を求めた。その後、篩分け法の測定値を補正した。

次に、堆積速度を測定した。方法は、水制間の地面に杭を打ち杭の頂部から地面までの

距離の増減を測定した。また、補足情報として水面からの比高、また砂層の堆積厚を計測した。

3.1.A.c 結果

採泥の結果は、23 採泥点であり、56 サンプルになった。そのうち、エクマンバージ型グラブ式採泥器を使用し表層土の採取を行った地点が、station3,11,14,16,18,中州と水制間の流路の河床の砂（200704 台風の 5 カ月後）の 5 地点であり、この 5 地点はいずれも水中からの採泥である。また、スコップを使用し表層土の採取だけを行った地点は、station2,4,9,12,15,17,水制 - ,水制 - ,水制 - の下流側の水際線表層土の 9 地点である。また塩ビ管を用いた柱状採泥を行った採泥点と縦穴を掘り堆積構造の目視観察を行い、底質採取を行った採泥点は、station1,5,6,7,8,10,13,sand bar（水制対岸の中州頂部）の 8 採泥点である。採泥点は、図 18 に示す。結果は、図 21～30（粒径は μm ）表 7, 8 に示す。

これらのサンプルを篩分けとレーザ回折式粒度分布測定装置によって解析した結果、粒度分布は以下ようになった。まず、全採泥点での表層土の粒度比較をしてみる（図 21）。水制 - 下流側の水際線表層土と水制 - 、水制 - の 3 採泥点は、礫が多く現地で 16mm 以上を篩分けしたサンプルである。これらの点は、3mm 以上の粒径で急激に存在量が増えており、3mm から 0.8mm にかけて減少している。0.8mm から 0.3mm にかけて再びわずかに存在量が増えている。このグラフの分布が 3 採泥点とも大変よくている。これは、採泥地点の環境が水制 - 下流側の水際線表層土は、水際線付近で水面との比高がなく、水平方向への土砂堆積が見られる。水制 - 、水制 - も同様であり、水制 - は、この水制群の中で、最下流の水制と下流から 2 個目の水制の間の水平方向に堆積し突出した水際線の表層土であり、水制 - は、下流から 2 個目の水制と 3 個目の水制の間の水平方向に堆積し突出した水際線の表層土である。この堆積環境の類似からこの 3 点のサンプルは、非常によく似た傾向を示したと考えた。また、2mm 以上の粒径にピークがあったサンプルは station3,11,14,16 であり、エクマンバージ型グラブ式採泥器を使用し、水中より採取したものであった。

次に、station5,6,7 は、細砂成分以下の粒径が多く淘汰度が低かった。この 3 点はいずれも水制 - と水制 - の間のものである。ここには、草本の繁茂が著しく、このため粒径の小さなものがおおく堆積したと考えられる。

次に残った、station1,2,4,8,9,10,12,13,15,16,17 の粒度分布をしてみる。これらの点はい

ずれも、0.85mm から 0.075mm の間にピークがあり、遠州灘の海浜成分と一致、もしくは細粒であった。また最も多くのサンプルがこのピークを示していることから、水制間の表層堆積物の傾向は細砂成分であるといえる。

次に、柱状採泥及び竪穴による採泥の結果を見てみる。

まず、station1 を見てみる。この採泥点は、水際線より 5m ほど陸側で、水面からの比高が、約 1 m であり、背の低いイネ科の草本植物の繁茂が見られた。station1 では、塩ビ管をもちいた柱状採泥を行い、地表から約 80cm までの柱状サンプルを採取した。粒度分析の結果、station1 では、細砂成分によって構成される砂層が約 70cm の厚さで堆積し、その下に砂礫層があることがわかった。

次に、station5 を見てみる。station5 は、水制 の上流陸側の地点で、背の低い植生の繁茂が見られた。station5 は各層とも淘汰度は高くなく、全体にピークが 2mm から 0.01mm の間で遠州灘の海浜成分とよく似た傾向を示す。station5 では、47cm 以深で砂礫層になっていた。また、地表から 39cm に洪水堆積物と思われるシルト層があった。

次に、station6 を見てみる。この点は、水面からの比高は高くなく、20cm 程度の場所である。また植生はまばらである。この地点では、表層と粒径の傾向が変わる地表から 9cm の深度で採泥を行った。この結果から、表層ではシルト成分が多く、深度 9cm の地点では非常に淘汰の良い砂の分布が見られた。

次に station7 を見てみる。station7 は station6 と同様にして採泥を行い、表層と深度 10cm の 2 サンプルを採取した。station7 は、背の低い植生がまばらに生えていた。結果は、全体に淘汰が悪かった。表層は、細礫を含み、ピークが 0.5mm から 0.3mm の間にあり、粘土成分まで含んでいる。また、深度 10cm の地点では 0.1mm の付近にピークがあり、細砂成分とシルト質の卓越する構成になっている。

次に、station8 の結果を見てみる。Station8 は、水制 の上流陸側であり、条件としては station5 と同じであるが、約 50cm の柱状サンプルを採取し、粒度分析を行った結果、粒度の傾向に差があった。station5 では、淘汰が良くなかったが、station8 は全体に淘汰がよい。また、深度 39cm から細礫が混じる砂層になっており、深度 50cm からは、礫の割合が増えている。50cm 以深では、さらに礫の割合の増加と礫の巨大化が起これると思われる。

次に、station10 を見てみる。Station10 は、水制 の下流陸側であり、比高が高く草本植生の繁茂が見られた。塩ビ管による柱状採泥を行った。粒度分析の結果は、淘汰がよく、多くが中粒砂から細粒砂で構成されていた。また、42cm 以深では、シルトから粘土成分が含まれていた。

次に station13 の結果を見てみる。Station13 は、水制 と水制 の中間で、全採泥点の

中で最も陸側の採泥点である。そのため比高が高く、植生の繁茂も著しい地点である。Station13 では、約 80cm の縦穴を掘り、目視観察を行いながら、各層の採取を行い、計 10 サンプルを採取した。粒度分析の結果は、55cm 以深で礫が出現した。しかし 55cm 以深の 3 層は、それぞれ傾向に差があり、異なる状況で堆積した層であると考えられる。また、表層から、深度 55cm までの層は、砂層であり、それぞれに傾向が違ふことから、異なる時期に堆積したものと考えられる。

次に、中州の採泥結果である。中州は、植生が繁茂しており、採泥が困難であったことから、中州頂部は比較的平坦であり、底質の大きさ及び色に差が見られなかったことから、1 点に代表させた。また、中州の下流側の高木が繁茂している部分では、腐葉土及び植物片が厚く堆積しており採泥できなかった。

結果としては、中州の頂部にも多くの海浜成分が多く含まれていることがわかった。

図 1 9 のように水制間に杭を刺し、地面と杭の頂部までの長さを計測した。杭を刺した地点は、図 1 1 の水制間の赤い丸である。結果は、2007 年 12 月 24 日から 2008 年 6 月 18 日までに約 2cm の堆積があった。

また、杭による堆積速度の調査と同時に水制間の堆積土砂の水面からの比高を計測した。結果は、約 116cm であった。また、砂層の堆積厚を計測した結果、約 76cm であった。



図 1 8 : 水制付近の採泥点

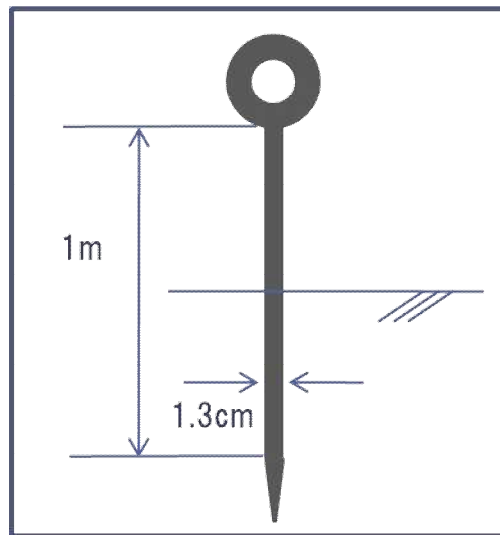


図 1 9 : 杭による堆積厚計測方法概念図

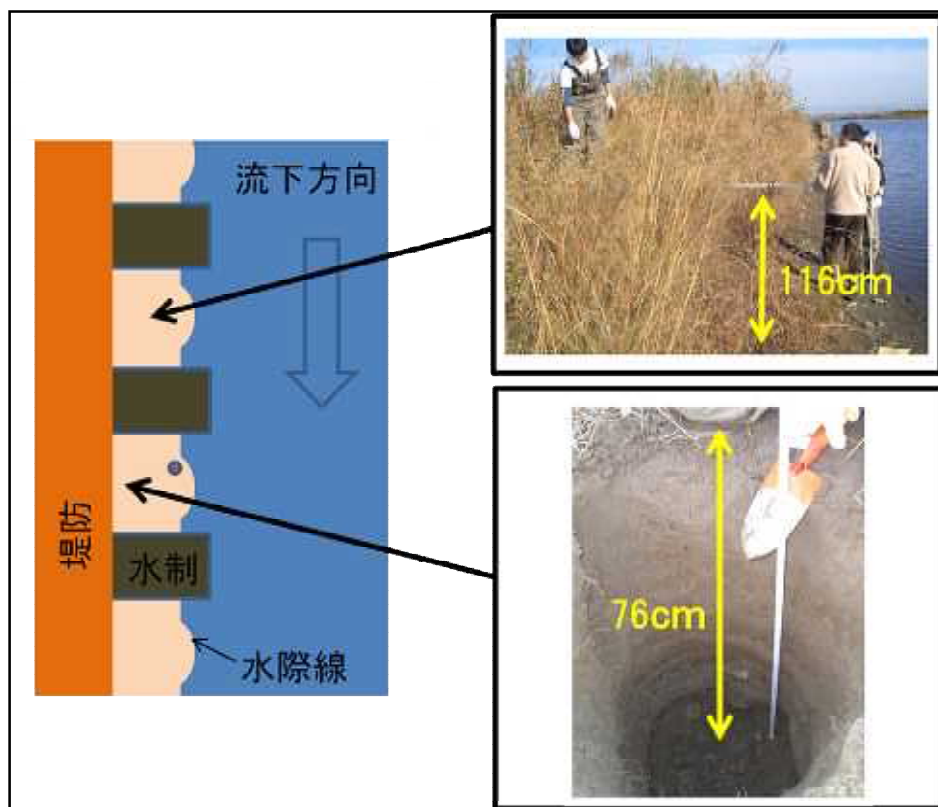


図 2 0 : 堆積厚調査概要

表 7：全採泥点堆積物粒度分析結果 1

表 8：全採泥点堆積物粒度分析結果 2

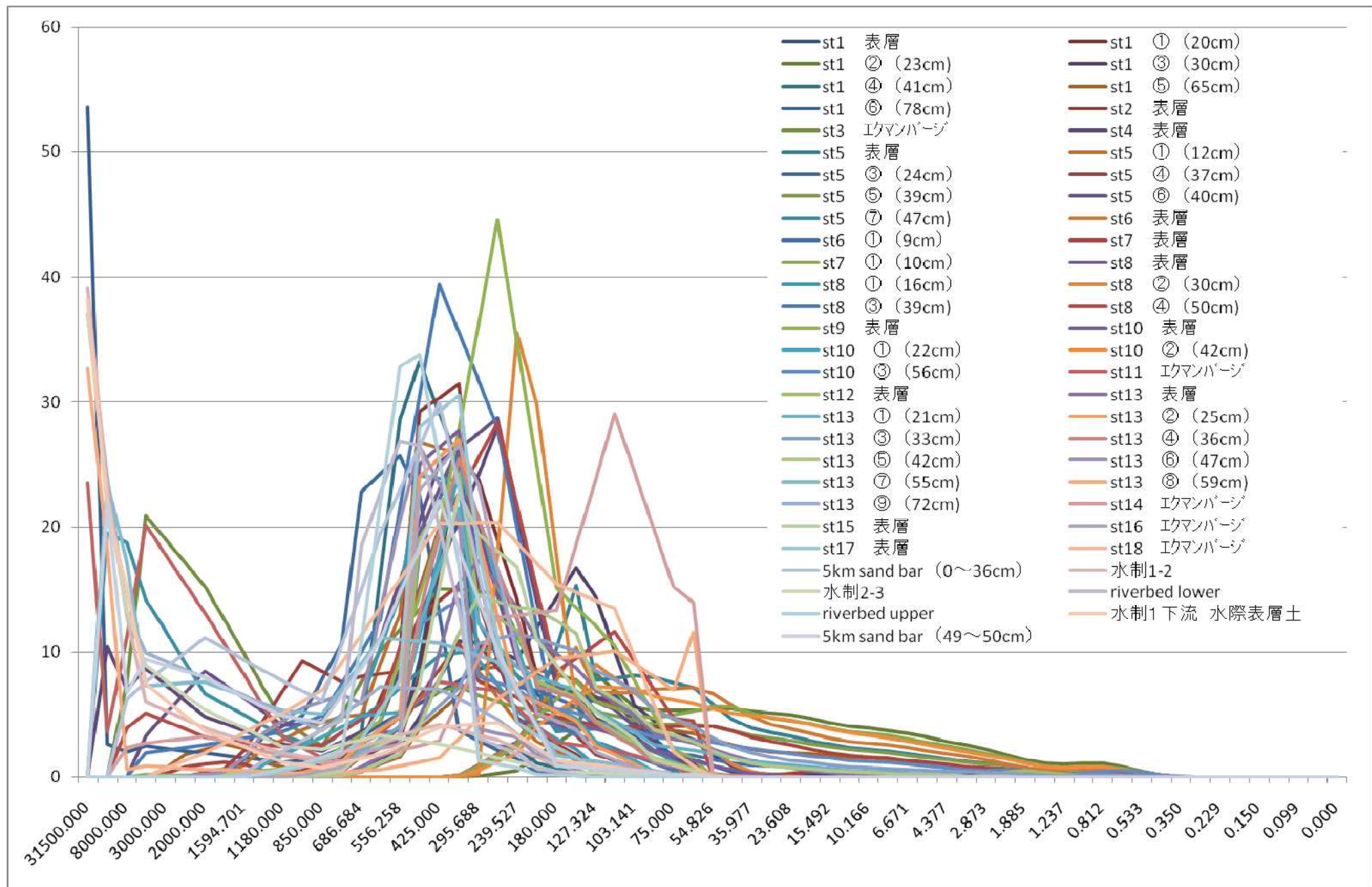


図 2 1 : 全採泥点粒径頻度曲線

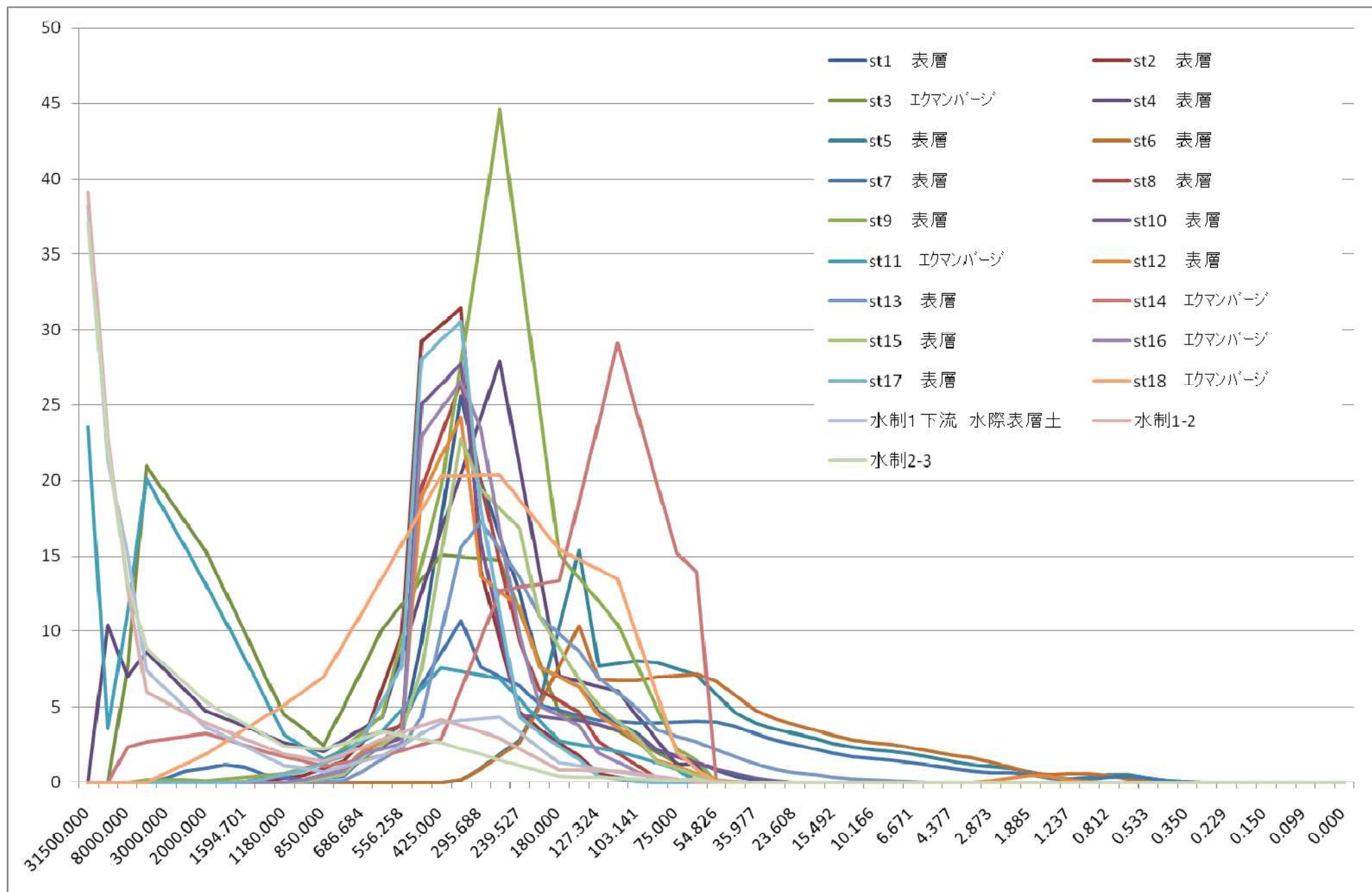


図 2 2 : 全採泥点表層堆積物粒径頻度曲線

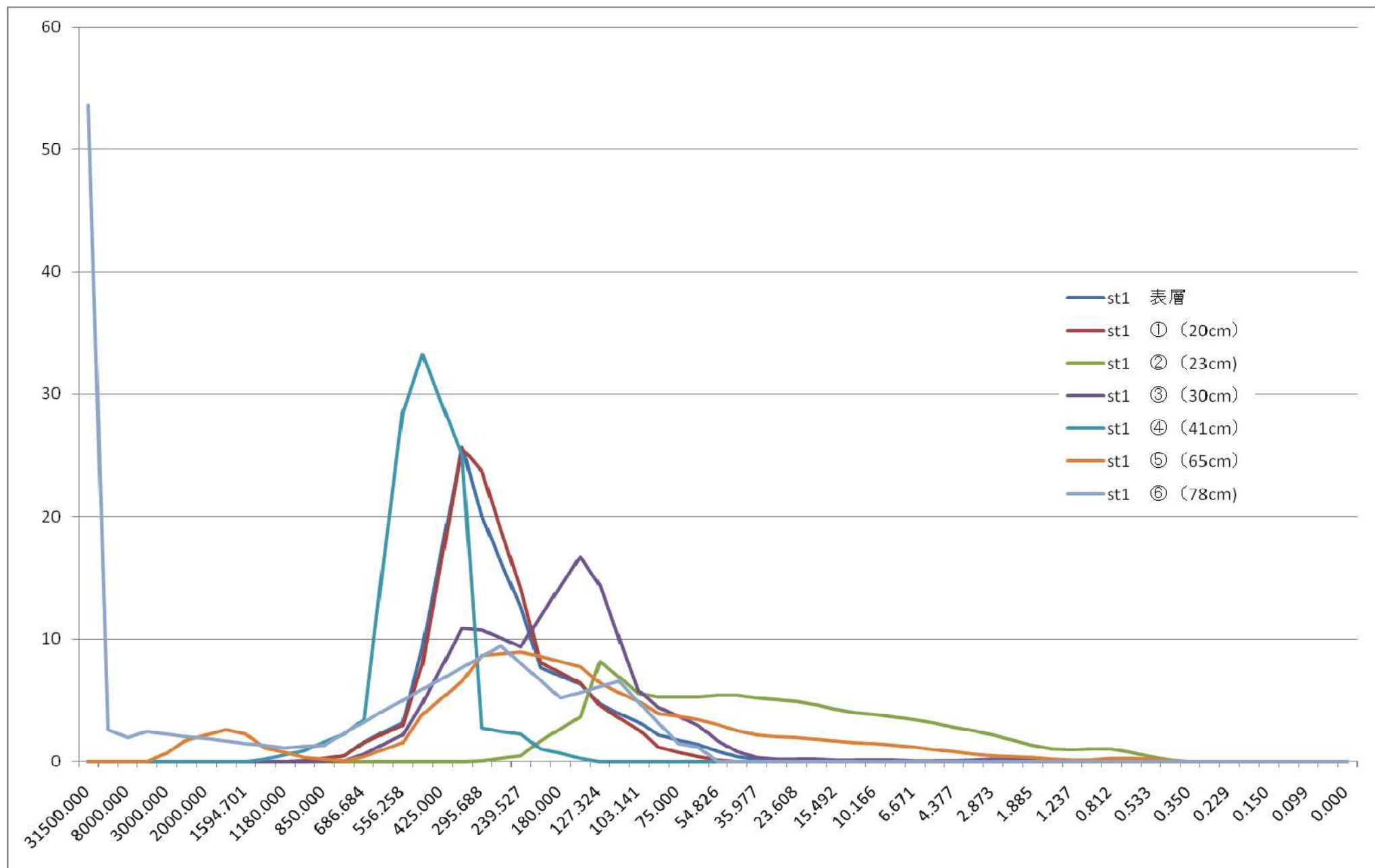


圖 2 3 : St1 堆積物粒径頻度曲線

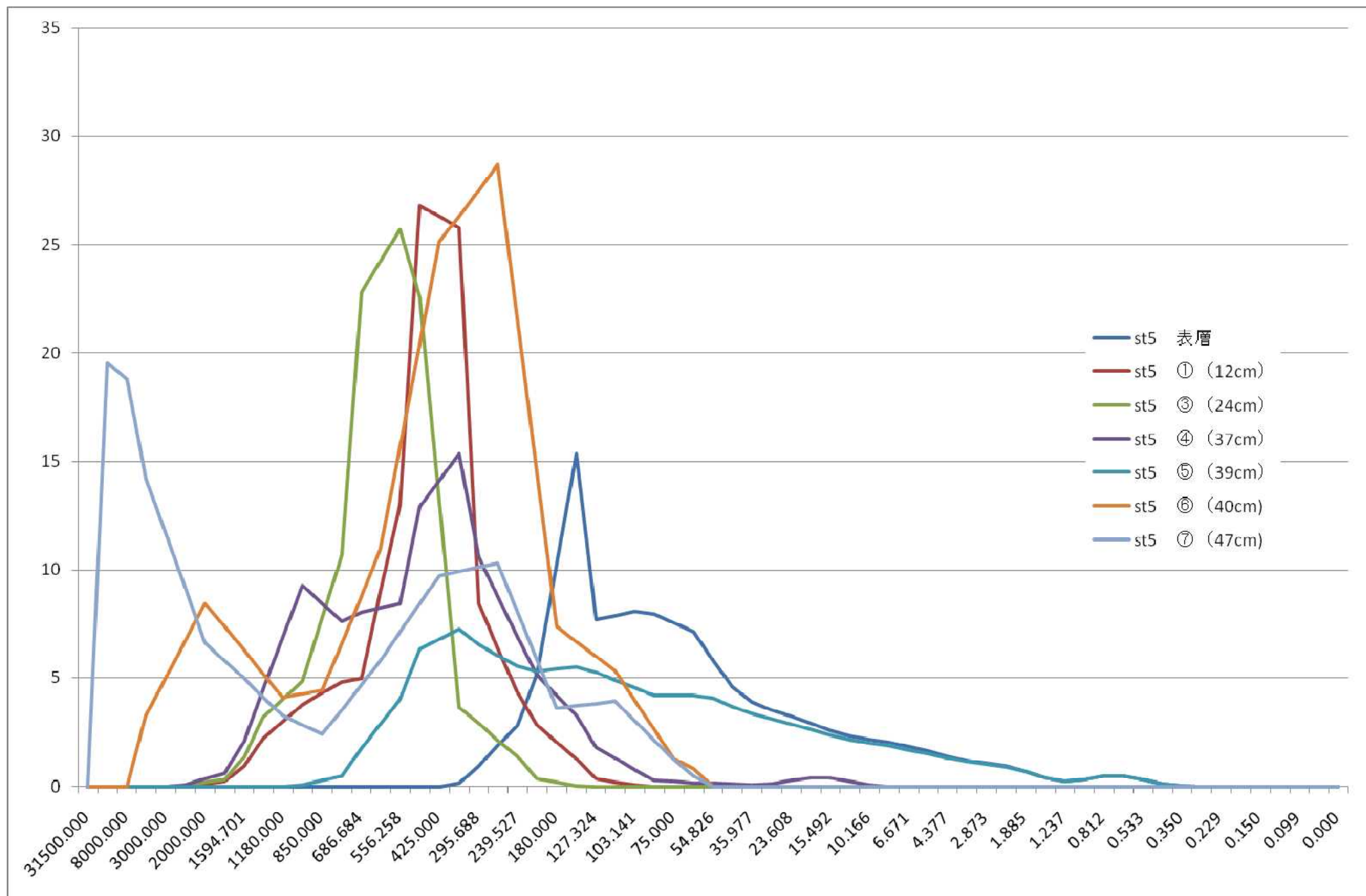


圖 2 4 : St5 堆積物粒径頻度曲線

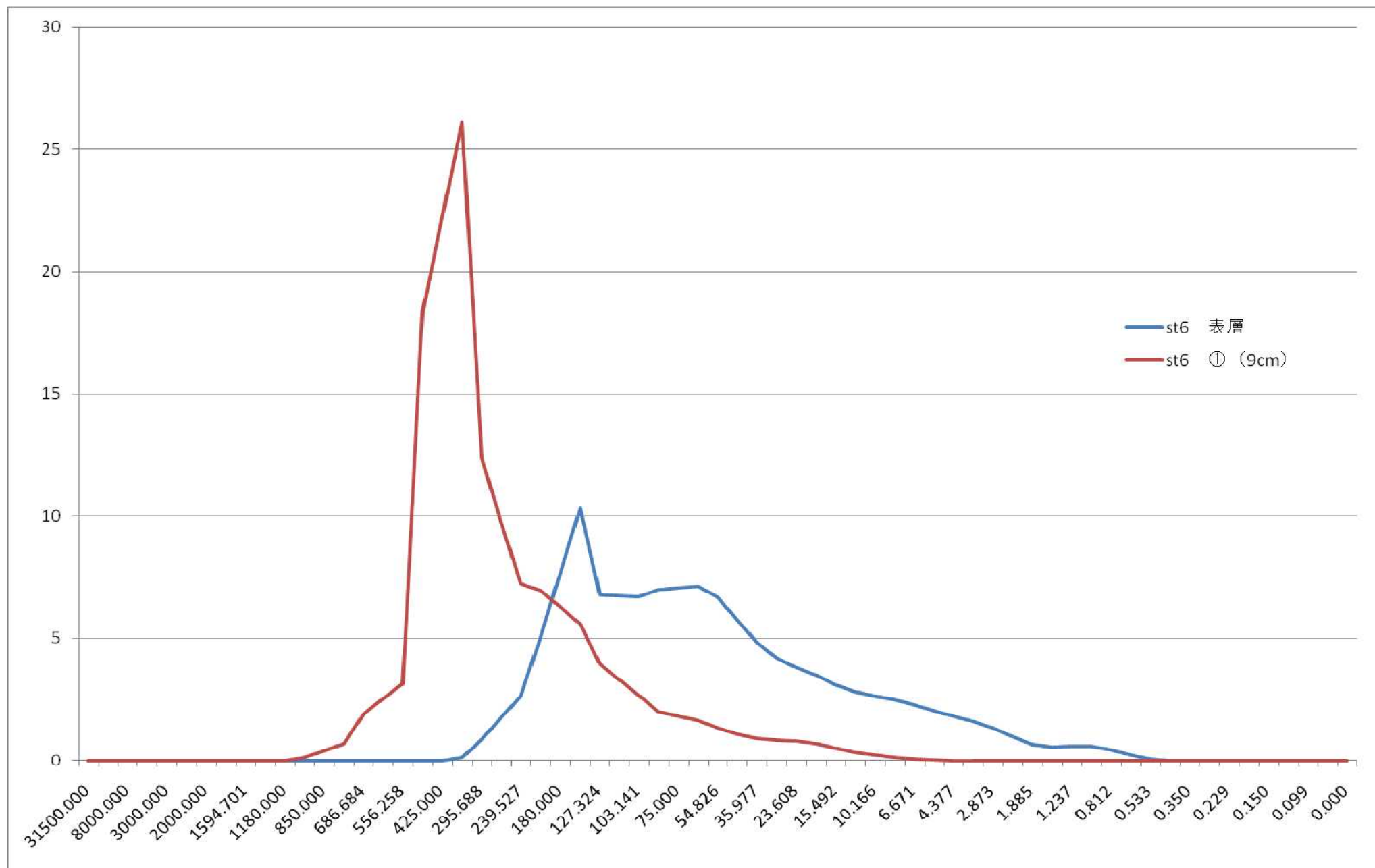


圖 2 5 : St6 堆積物粒径頻度曲線

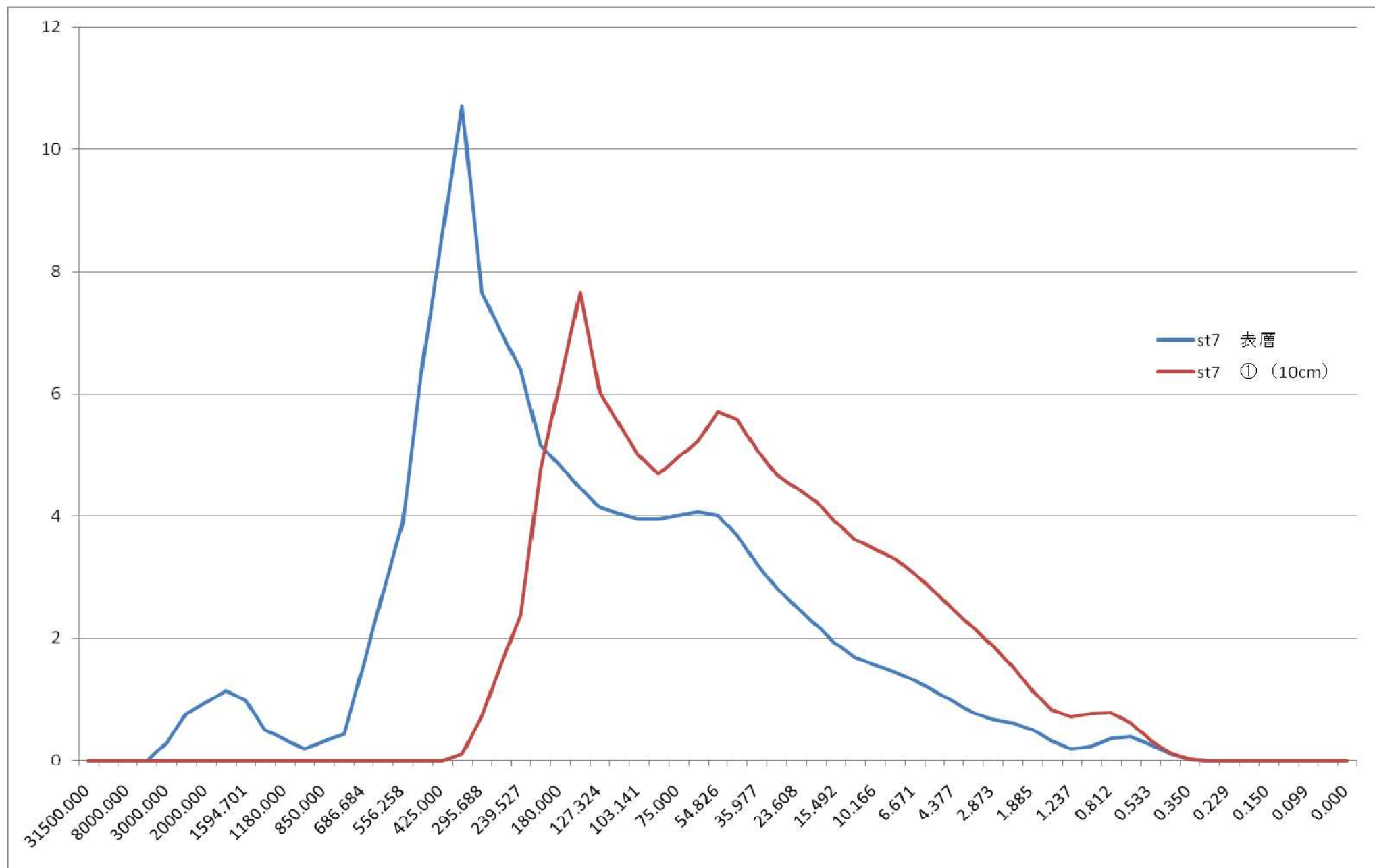


圖 2 6 : St7 堆積物粒径頻度曲線

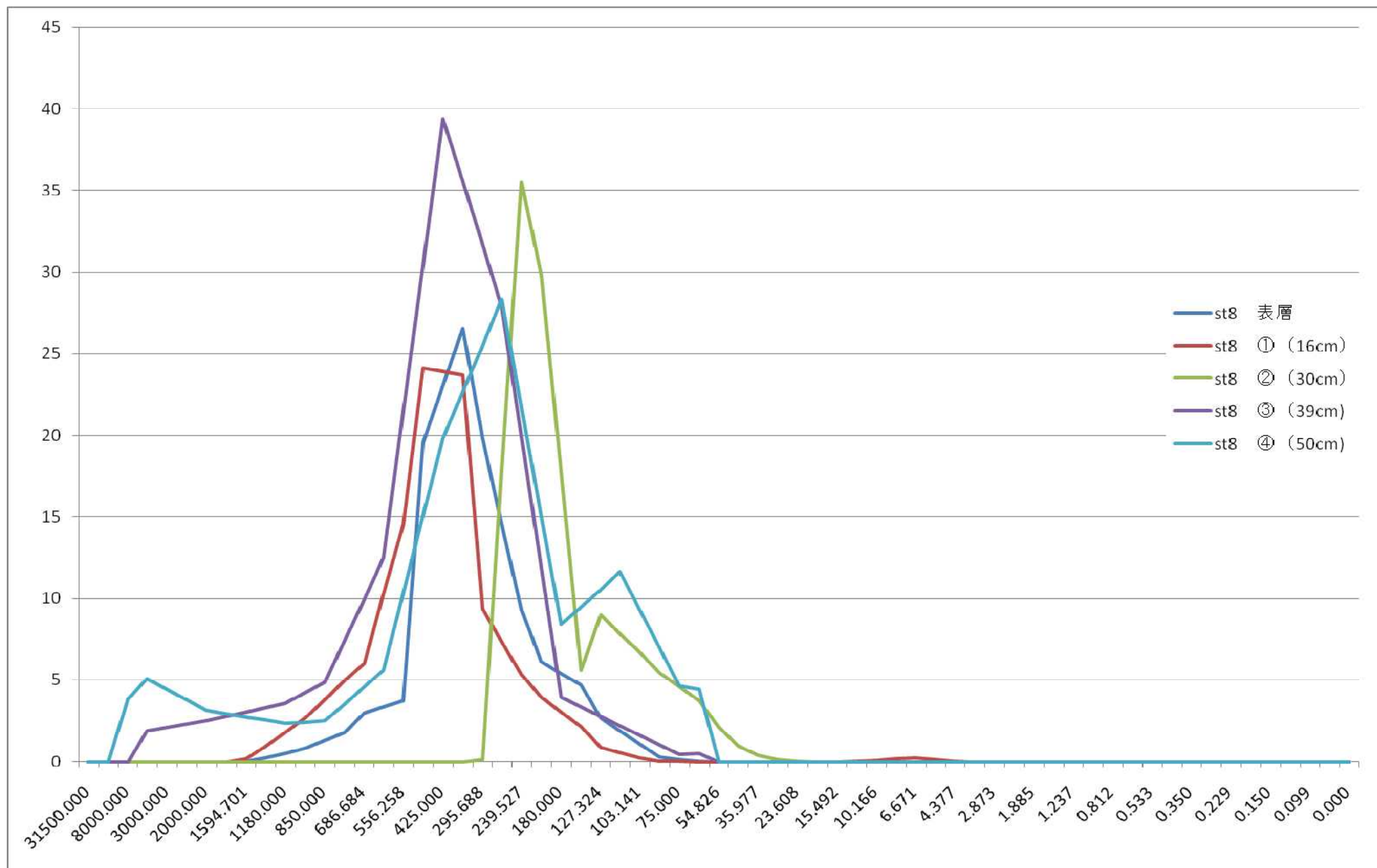


圖 2 7 : St8 堆積物粒径頻度曲線

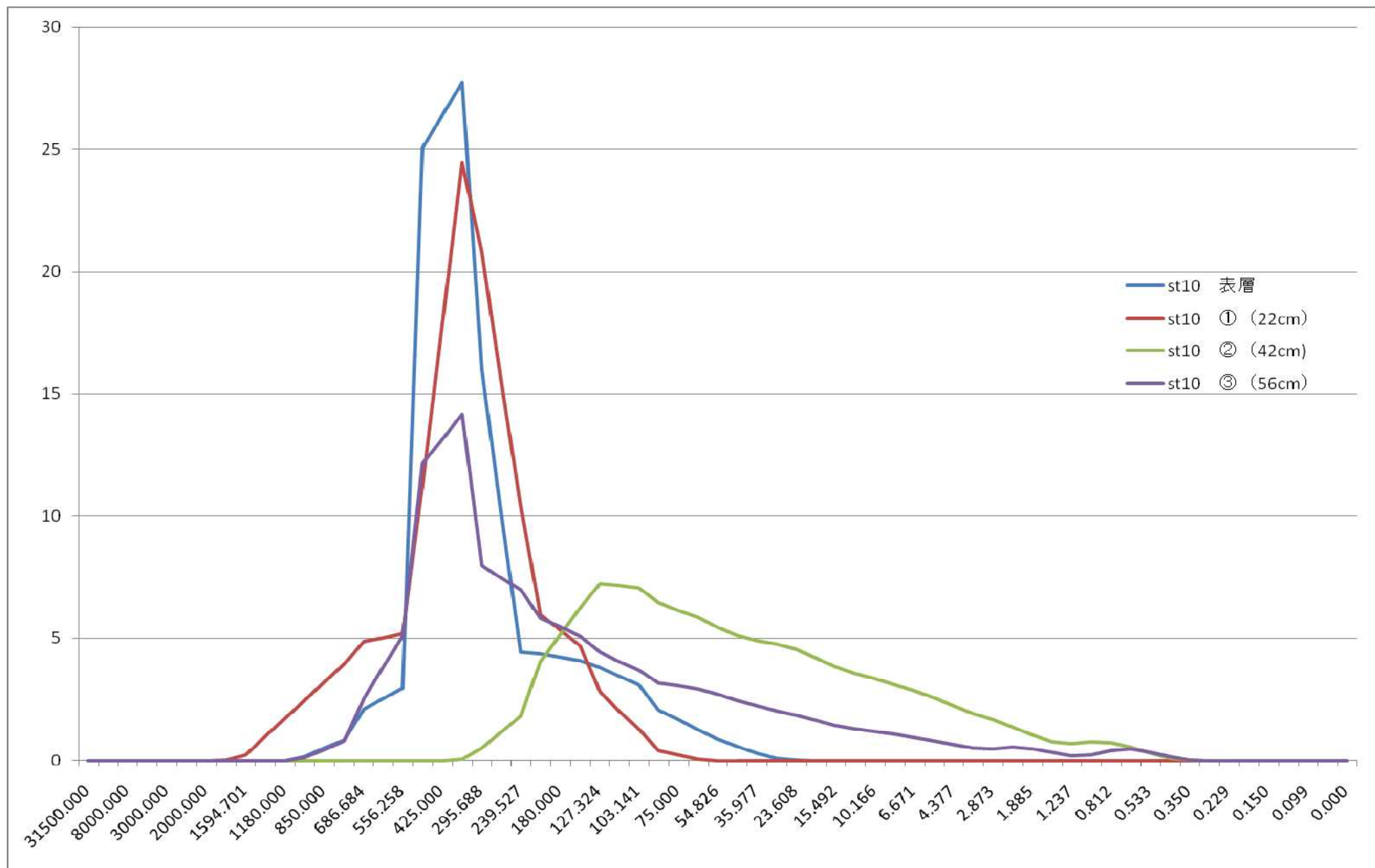


圖 2 8 : St10 堆積物粒径頻度曲線

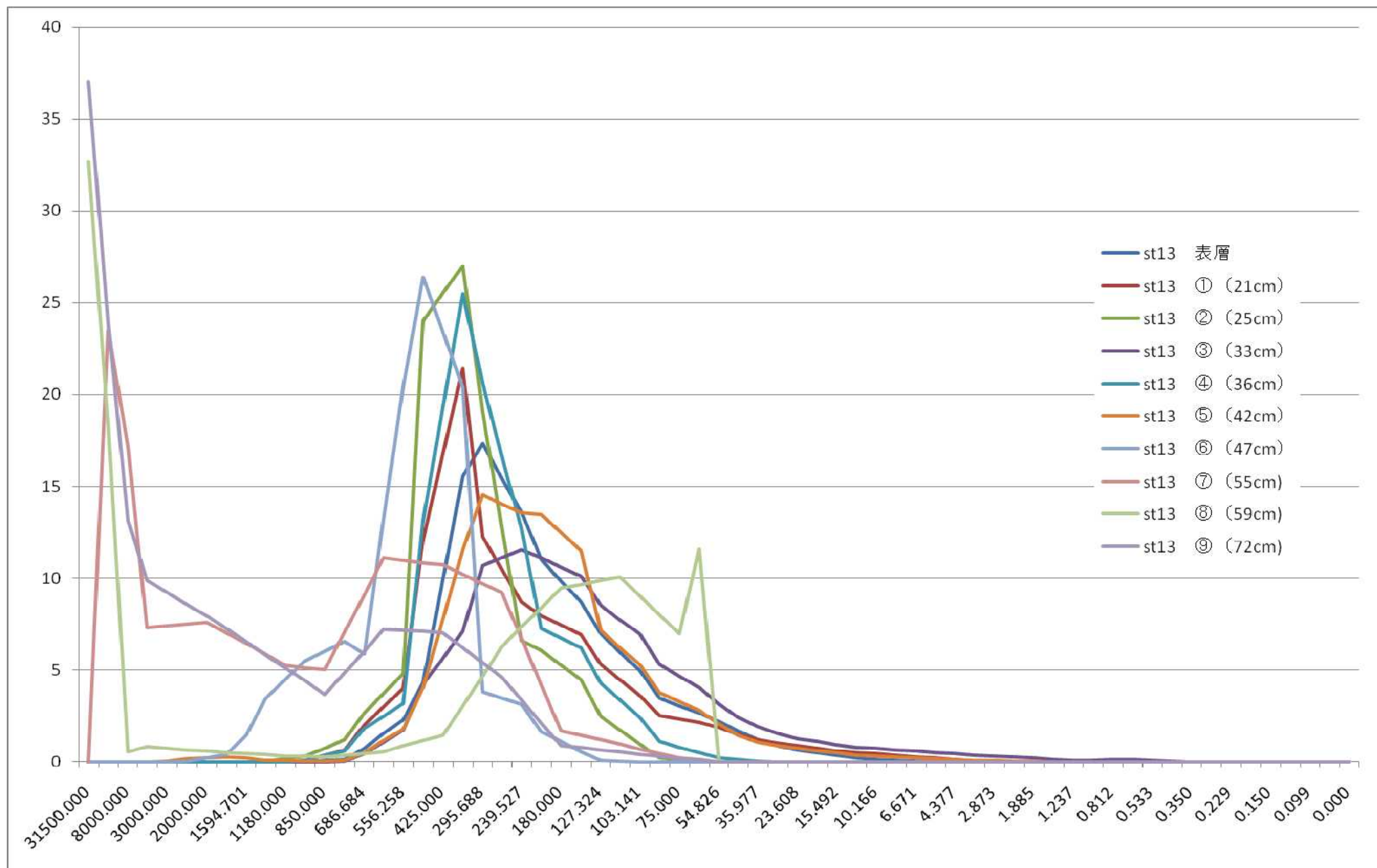


圖 2 9 : St13 堆積物粒徑頻度曲線

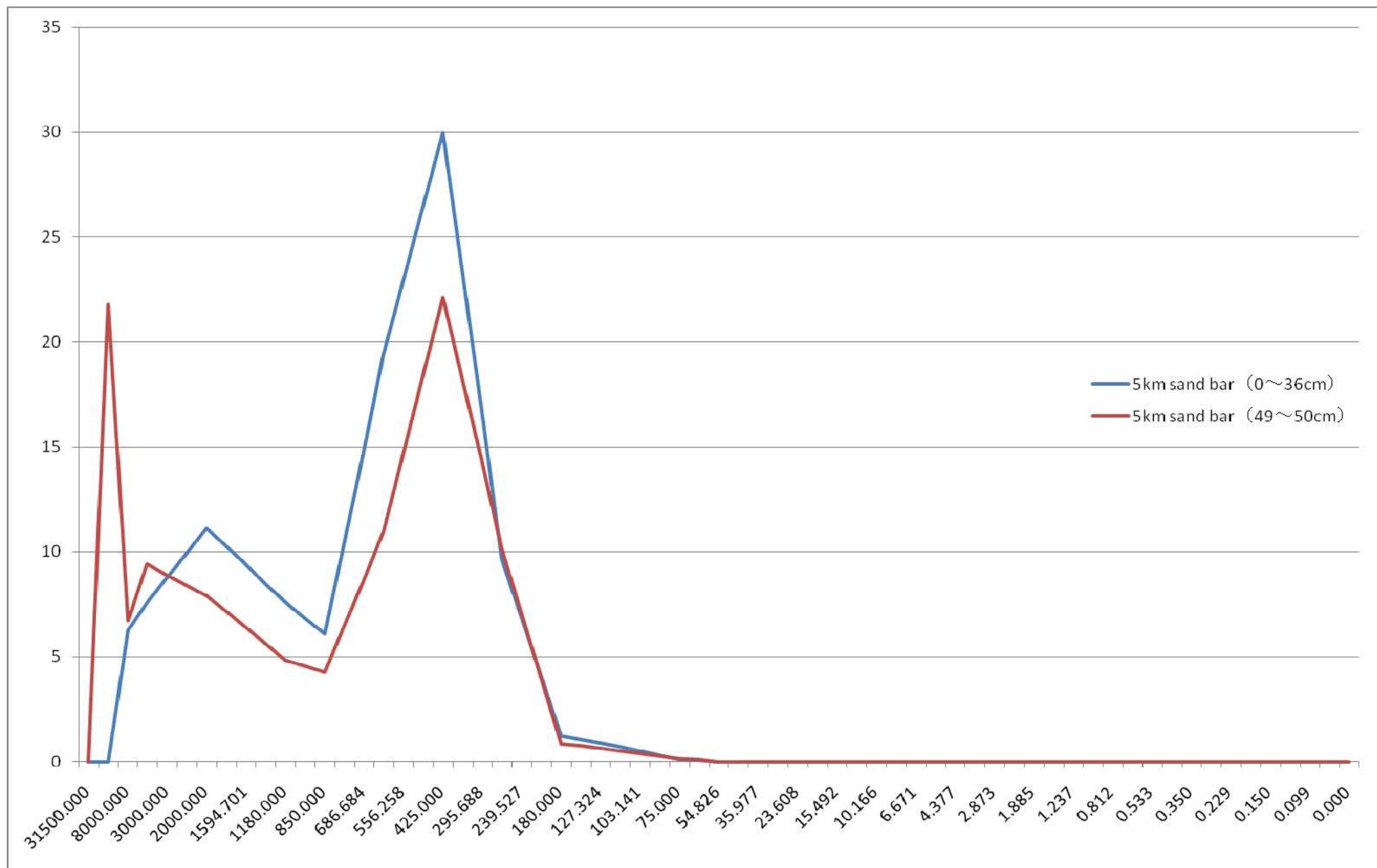


図 3 0 : 5 k m地点の中州頂部の堆積物粒径頻度曲線

3.1.B 流速観測

3.1.B.a 目的

水制には、流向と流速をコントロールする機能があるため、水制と中州の間の流速を測ることで、水制の影響を把握するために流速の観測を行った。

また、中州周辺の環境を把握するため、対象地の中州の上流端で流速観測を行った（図 3 1 に白丸で示す）。この中州の東側の河道中央部には、大きい流れの流路があり、その流れから分離し水制との間を流れる比較的小規模の流路がある。これら二つの流路の上流端での流速を計測した。

3.1.B.b 方法

水制と中州間の流速調査では、SONTECK 社製超音波ドップラー流速計可搬型モデル FlowTracker（写真 5）を用い行った。この機器は、携帯型であり、水深 2cm で 0.1mm/s の分解能をもっており、測定範囲は、流速 0.001m/秒～5m/秒である。

また FlowTracker は、センサー部を固定する軸が水深を測るメジャーの役割もするため、流速の計測と同時に水深の測定が同時にでき流量の算定も可能である。

具体的な作業としては、測線をまっすぐにとるため、予定測線に沿ってロープを張り、そのロープに沿って 5m ごとに、河底から 2 割の水深と 6 割の水深の点の 2 点で流速を測定する。以上方法で中州と水制の間を計測した。

測線を張った場所は、対象の水制群の中で最下流の水制と下流から 2 基目の水制の間で、そこから流れに直交方向に測線を張った。

次に、中州上流端周辺の表面流速の計測である。フロートが 10m を流れるのにかかる時間をストップウォッチを用いて計測し、時間から流速を求めた。

具体的には、フロートに 10m 分のテグスをつけ、テグスが伸びきるまでの時間を測定した。同地点で 5 回計測し、近い値の 3 回を平均した。

計測場所は、中州の上流端からそれぞれ左右に少し移動し、流れが河道と平行になる地点を選んだ。これは、フロートを使用したこの方法では、流れが複雑に曲がった場所では、妥当性のある結果が得られないためである。また今回の測定位置では問題はなかったが、水深が浅い瀬等の付近も妥当性のある結果がでないため、中州の上流端からの計測はできなかった。しかし、中州の上流端周辺の流れは把握できた。



写真 5 : FlowTracker のセンサー部とコントロールユニット



写真 6 : FlowTracker を使った観測風景

3.1.B.c 結果

水制と中州の間の流速観測の結果は図 3 3 のとおりである。図 3 3 より、水制側は水深が浅く流速も穏やかで、中州側は水深が深く、流れも速いことがわかる。これにより、水制側は堆積傾向、中州側は侵食傾向といえる。この結果は、水制による流向の制御と水制近傍への土砂堆積の機能によるものである。

中州上流端周辺での流速観測の結果は、中州の本線側（左岸側）が 1.16m/s であった。また水制側（右岸側）は 0.36m/s であった。

また上流端以外では、中州の側面は側岸侵食を受けていた。しかし、繁茂した植生によってそれ以上の侵食は受けにくい状態であった。



図 3 1 : 中州上流端周辺の流速観測の観測点
(白丸が観測点位置 流路の形状が観測時と違うため流路を書き入れた)



図 3 2 : 5km 地点空中写真 (赤線が計測位置)

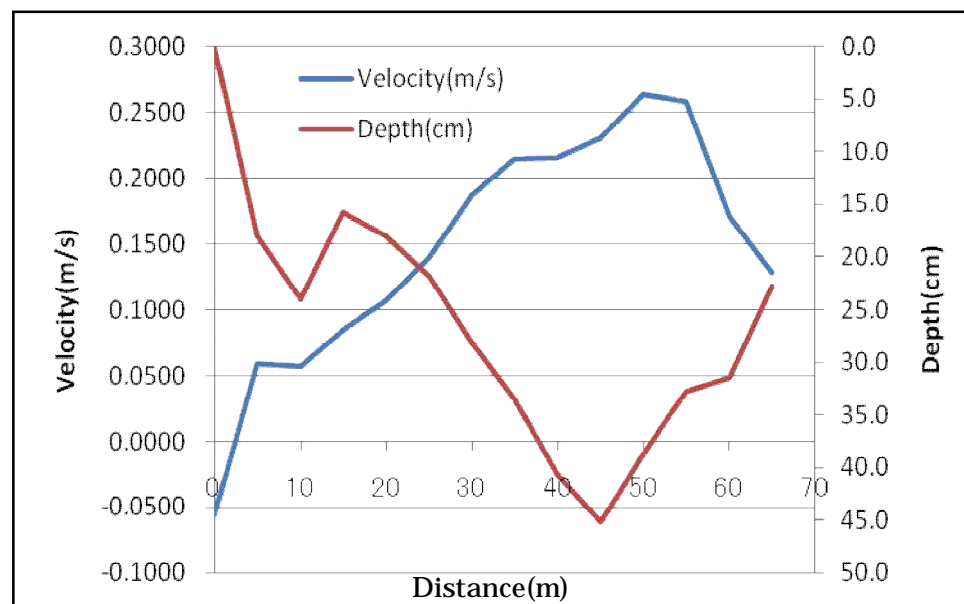


図 3 3 : 5km 地点の中州-水制間の流速と水深 (横軸は水制からの距離)

3.2 河口より 22km 地点周辺

河口より、22 k m地点の高水敷及び、その周辺の中州を対象に観測を行った。図 3 4 に位置を示す。

この調査対象地の直近の上流は天竜川の最下流の蛇行部であり、この対象地は蛇行区間の終わりと天竜川の扇状地の始まりの堺に位置している。最下流の蛇行部から上流は山地区間になるため、岩盤の露出が河床や兩岸の水衝部に見られる。

この調査対象地は、扇状地の上流端に位置していることから、天竜川下流域での河道の付け替え等の影響が少なく、また蛇行区間の下流端に近いことから、流路が固定的で古くから比較的安定的に地形を保ってきたと考えられる。

この地点を調査対象とした理由は、置き砂が設置されており、その観測のためである。また、置き砂の流出形態を観測するために置き砂の上流と下流の最も近い中州の地形測量を行った。これは、出水によって置き砂の流出が起こり、同時に上流からの供給土砂により周辺の地形がどのように変わるかを探るためである。しかし、大型の出水が発生しなかったことから、中州の地形的特徴の把握のみからの議論となった。

また、この調査対象地には、建設中の第 2 東名高速道路の橋が掛っている。今後、この橋の橋脚の河床地形への影響を観測すると興味深いと思われる。



写真 7：置き砂の法面（画面左の斜面）と第 2 東名高速道路



図 3 4 : 河口より 22km 地点調査対象地 (赤枠内)

3.2.A 置き砂

置き砂とは、河床表面の砂礫の粒径構成の多様性を取り戻し、アーマーコート化の解消や、生物の住処となる浮石を創出させる等、流砂系の健全性を保つための土砂還元的手法である。

本研究で着目した置き砂は、幹線流路内の秋葉ダムからの浚渫土砂を設置している。これは、天竜川下流域の河道内の土砂が場所によって淘汰がよく、下流域の河道内では、土砂の移動があまり見られないため、全く別の粒系集団を投入することで、底質環境の改善や、生物の住処の創出を狙ったものである。



図 3 5 : 置き砂位置図

3.2.A.a 目的

2008 年より、瀬や淵等の河川地形再生の為に 22km 地点の右岸側に約 22000t 左岸側に約 38000t の合計約 6 万トンの秋葉ダムのダム湖の堆積土砂を置いている。

ダム湖からの浚渫土砂であるため、浚渫位置によって粒径が大きく異なる。右岸側の置き砂は、そのほとんどが細粒砂から中粒砂成分で構成され、中に少量の数センチ程度の礫を含んでいるのに対し、左岸側の置き砂は、数 10cm の礫を含み、数 cm 礫と数 mm の礫を主な構成成分としているが、場所によっては、砂を多く含むなど変化に富んでいる。

右岸側と左岸側の置き砂の粒径の差は、雨水の排水や植生の繁茂の差からも推測できる。

右岸側は、細粒のため雨水の浸透が遅く降水量が浸透量を上回り、結果として、多くの雨溝浸食を起こしている（写真 8）また、気温が暖かくなってくると、植生の繁茂が著しい。これらの特徴が、左岸側の置き砂では全く見られなかった。

この置き砂が出水時にどれくらい、どのように流出するかを把握することを目的とし、左岸側の置き砂を対象に観測した。

3.2.A.b 方法

比較的接近しやすく、かつ水際線に近い、左岸側の置き砂に注目して調査を行った。

左岸側の置き砂の水平形状を GARMIN 社製 GPS-eTrex Vista（位置精度 10 m, 95% 2DRMS）で計測した。また、斜面の角度を LEICA 社レーザー距離計を用い水準測量を行い求めた。（いつ？



写真 8 : 右岸側の置き砂斜面雨溝浸食跡



写真 9 : 左岸側の置き砂設置風景

3.2.A.c 結果

結果は、左岸側の置き砂の平面形状は流下方向（南北方向）の長さは約 200m で、流下方向と直交方向（東西方向）に約 50m の幅があった。GPS では、上流側の左岸側の端を計測することができなかった。しかし、流下方向に平行にほぼ長方形に設置されていることがわかった。

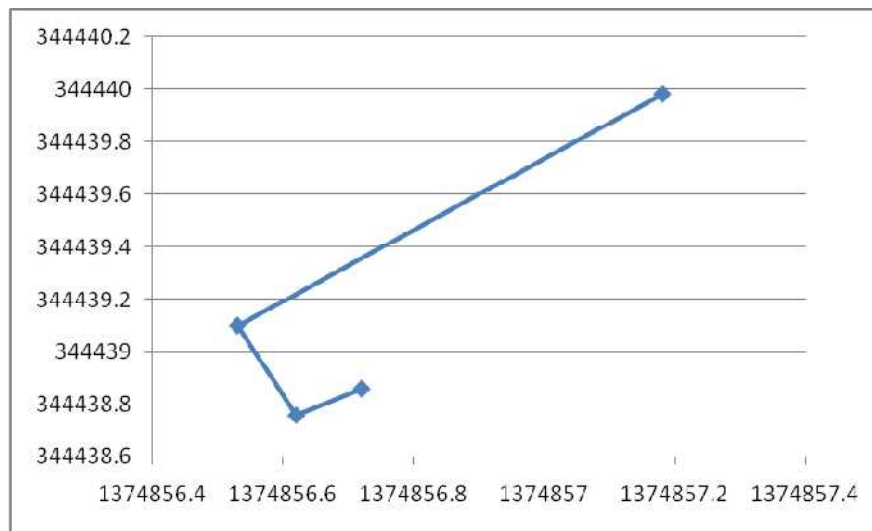


図 3 6：左岸側置き砂の水平形状

また、観測期間内に大規模の出水が発生しなかったため置き砂の流出形態の詳細は把握できなかった。しかし、小規模の出水があったため少量の流出が認められた。写真 8 に示す。

下流方向に約 30m、左岸方向に約 40m 鉛直方向に約 80 c m の扇状に侵食されていた。侵食後は、最大径が 5 ～ 20cm ほどの礫が多く残されていたため、砂成分の洗い出しが起こったのではないと思われる。しかし、写真 8 の二人の足もとに高低差があるのがわかる。このような凹凸が連続的に繰り返されており、侵食面が櫛型になっていた。このため、流出土砂量の算定はできていない。

また、流出を起こした原因として、下記の表の出水が考えられる。表の期間の出水では、2008 年 6 月 21 日から、2008 年 7 月 1 日の間に通常的水位より約 3m ほど高い出水が 2 度あり、これらの出水による流出と考えられる。



写真 1 0 : 置き砂流出現場

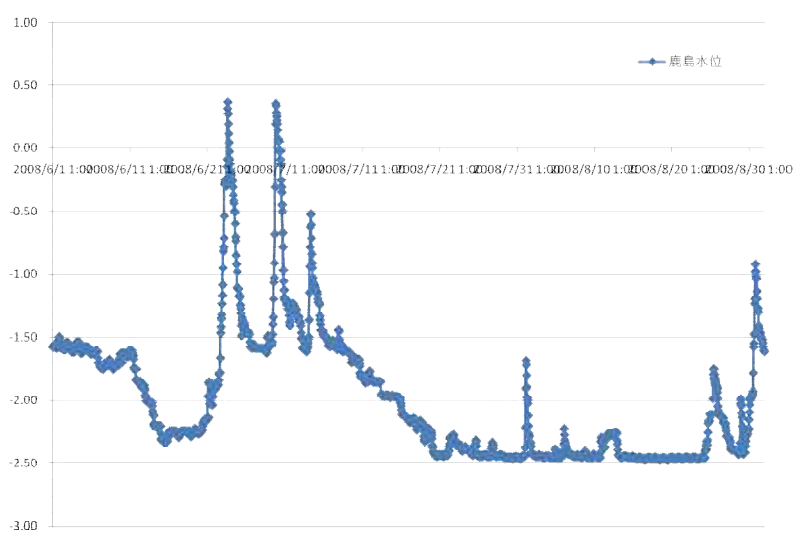


図 3 7 : 2007 年 6 月 1 日より 2007 年 8 月 31 日までの鹿島水位観測所の水位

3.2.B 中州地形調査

3.2.B.a 目的

22km 地点の置き砂の上流側の中州の形状的特徴の把握し、植生が繁茂していない中州の地形的特徴から中州と植生の繁茂との関係を調べることを目的とした。

3.2.B.b 方法

TOPCON 社製 GR-2100N を用い GPS 測量を行った。これは、Packet RTK と呼ばれるシステムを用い、無線からの補正データにより、測位と同時に位置補正を行うシステムで測位精度は 水平：10mm・垂直：15mm である。

この GPS を使い、中州外延を水中、水際、陸の 3 測線を測量し、地形変換点を中心に中州内部をできるだけ格子状データになるように測量した。

この間に上流端と下流端に測点が集中してしまったのは、上流端と下流端が細く狭くなっているため 3 測線が集中したこと、及び下流端と上流端の地形が起伏に富んでおり複雑だったことが理由である。



写真 11 : GPS 測量風景

3.2.B.c 結果

測量結果は、図 3 9、3 8 に示す。測点は全部で 141 点になった。この中州は、流下方向（南北方向）に全長が約 2km であり、流下方向と直交する方向（東西方向）に約 150m の全体として流下方向に細長い中州だった。中州上流側の本流側は緩やかな傾斜になっているが左岸側は急傾斜になっている。

左岸側の急傾斜は、左岸から突き出した水制の影響と思われる。

上流側に約 3m の高まりが見られた。この現象は、この高まりのすぐ左岸側（東側）に水制が設置されているために流速が落ち土砂の堆積が起こったこと、水制により流向が制御され中州側面の侵食傾向が強くなったことによるものと思われる。この高まりの周辺にだけ植生がみられた。これは、比高が高いために浸水頻度が低くなったことによるものと思われる。また、他の場所で植生の繁茂が見られなかった理由として、水衝部に近く流速が常に早く、また中州の裾が緩傾斜になっており、比高も低いため出水による浸水頻度が高く、砂が堆積しづらく植生が繁茂しづらいと推測された。

この中州の表面は、中型の礫で覆われており、水衝部に近いことから流速の速さがうかがえる。



写真 1 2 : 河口より 22km 地点の中州

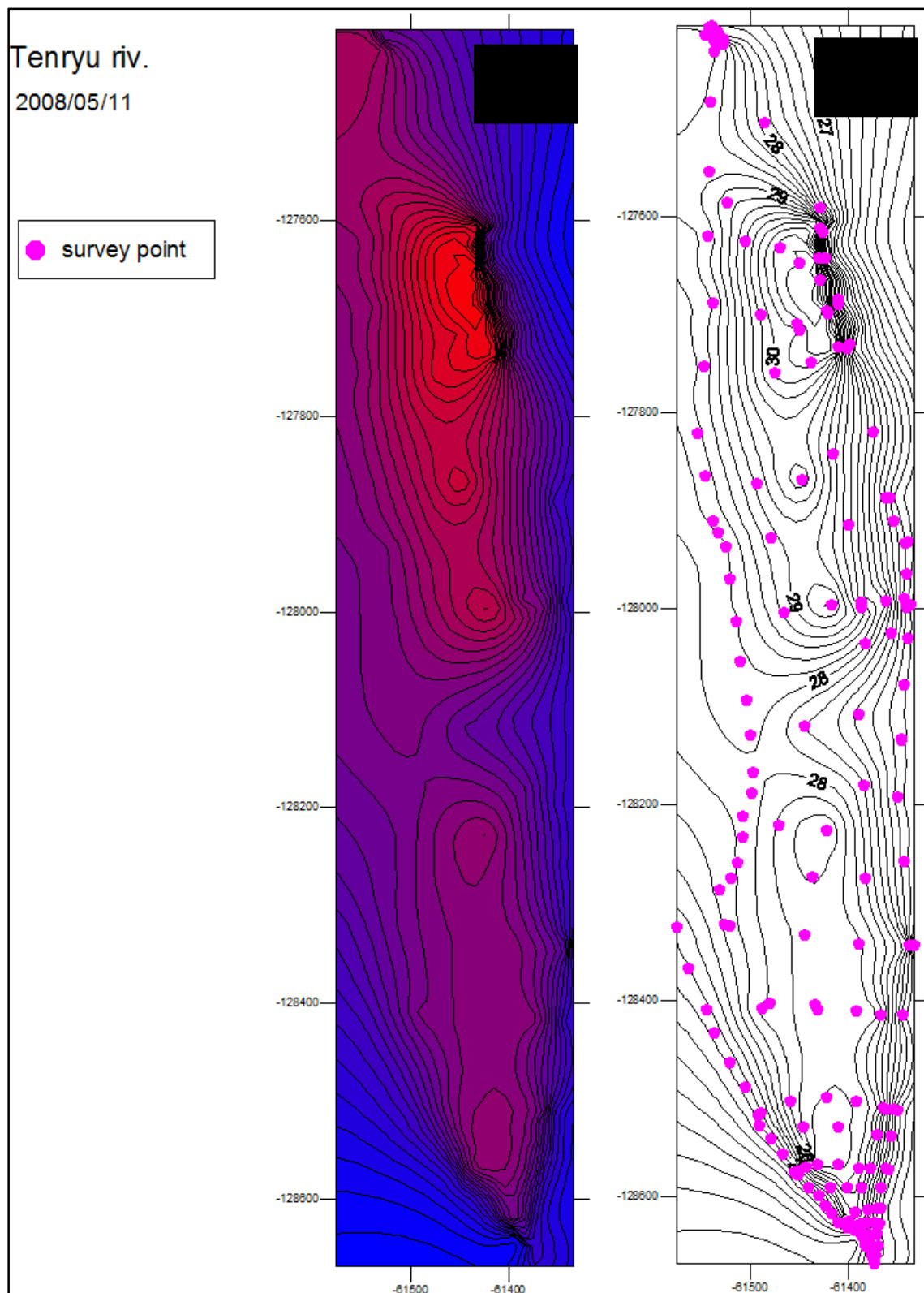


図 3 8 : 上流中州測点及び等高線図

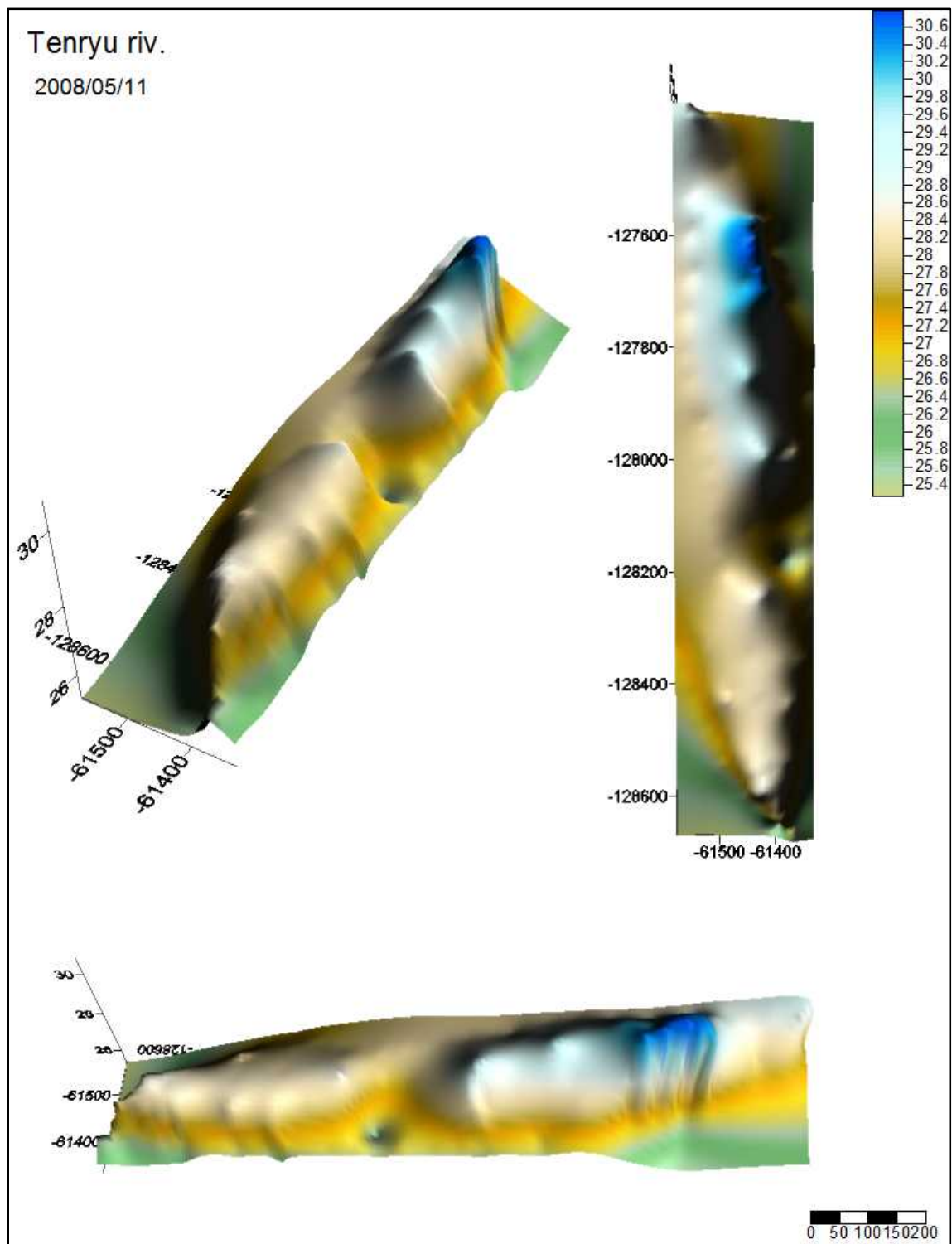


图 3 9 : 上流中州 3 次元

3.3 出水時現地観測

本章では、2007 年 7 月の台風 4 号（MAN-YI）による豪雨によって引き起こされた出水時の現地観測について述べる。

台風 200704 号は、7 月 09 日に南太平洋のカロリン諸島で発生し、7 月 13 日には沖縄本島付近を通過した。この後、台風 200704 号は勢力を保ったまま、九州、四国の太平洋側を通過し、紀伊半島をへて静岡にも大きな降雨をもたらした。（図 4 0）

台風 200704 号の最低中心気圧は 930hPa であり、本調査域に接近時の中心気圧は 960hPa から 970hPa であった。

接近による出水の期間は 2007 年 7 月 14 日から同 7 月 16 日までの期間である。また、観測期間は 7 月 15 日から 7 月 16 日の期間である。

この時の最大流量は約 9000m³ であり、50 年に一度の規模の出水だった。



写真 1 3 : 2007 年 7 月 15 日の天竜川の様子

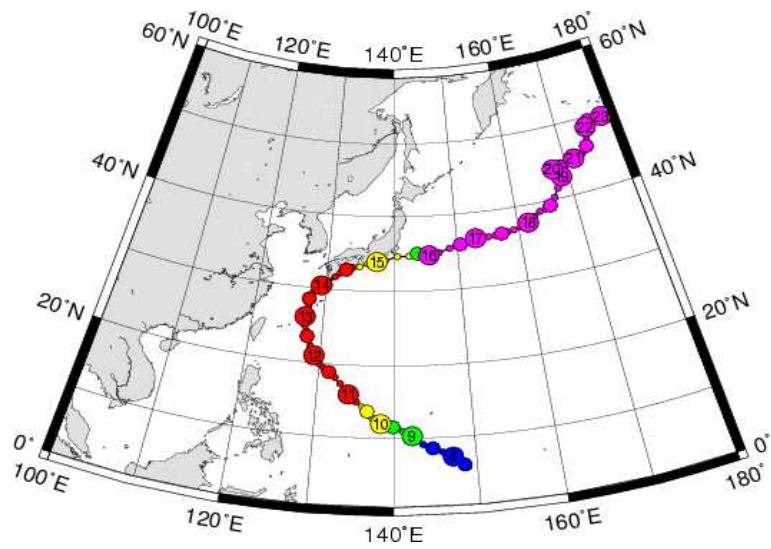


図 4 0 : 台風 200704 号進路図

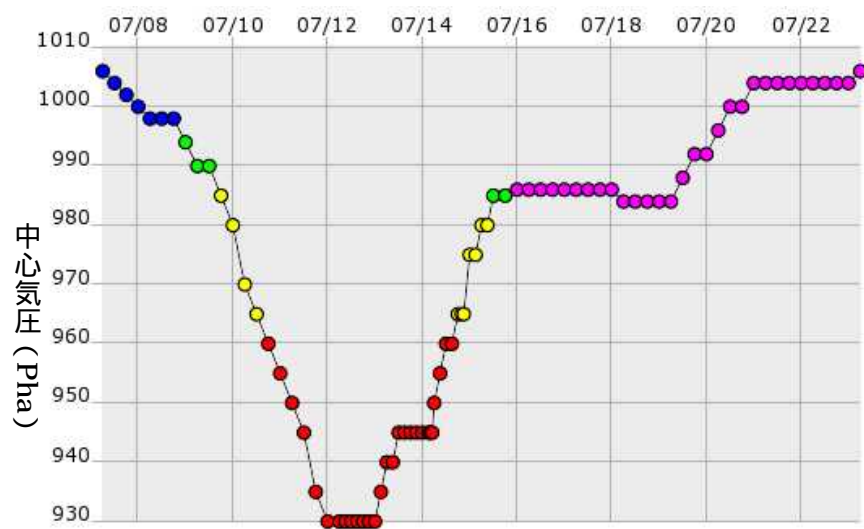


図 4 1 : 台風 200704 号中心気圧時系列グラフ

(デジタル台風より引用)

3.3.A 目的

天竜川は、平常時は濁度が観測できないほどに低く、土砂の移動は、年に数回ある台風等の低気圧による大規模出水によって引き起こされるとされている。

今回は、2007 年の台風 4 号による出水を観測した。この出水は、観測史上 2 番目の出水であり、50 年に 1 度の規模の出水であった。

この大規模出水によって起こされた土砂の移動を推定するために濁度と採水による浮遊懸濁物量の観測を行った。

出水時の観測は、土砂移動の実態をとらえることを目的とした。

3.3.B 方法

出水時の土砂の移動を把握するため、出水の期間中に採水および濁度計測を下流域の数地点で行った。出水時であり、水辺に近づくのは危険なためバンドーン型採水器を用いて橋の上等の高所から採水を行った。また携帯型後方散乱式濁度計を用い濁度を計測した。

2007 年 7 月 15 日の 16 時頃から 19 時半頃までの間に掛塚橋の周辺と船明ダムの周辺、天竜川橋（河口より約 10km）の 3 か所で行った。



写真 1 4 : バンドーン型採水器

3.3.B 結果

現場は流れが複雑であり、時間によって同地点でのアプローチが困難な場所もあったためデータとして偏ってしまった。掛塚橋付近の観測点以外では、時間経過とともに水位や流量に差が生じ同一点での観測が困難だったため観測結果は解析には用いなかった。掛塚橋の観測点での結果を示す。また、表中の濁度のデータが記載されていない個所は高濁度のため測定範囲を超えてしまったためと、水位の減少が起こり、濁度計が水中まで届かず、計測できなかったためである。

掛塚橋付近では、2007年7月15日の16時と16時半と19時半、翌16日の午前8時45分、午前11時半の計5回観測を行った。

結果は、1回目は、7月15日16時の総浮遊物質濃度が約482mg/であった。2回目は、7月15日16時半の総浮遊物質濃度が約1132mg/であった。3回目の7月15日19時半の総浮遊物質濃度は、約567mg/であり、濁度は13000ppmであった。4回目は、7月16日8時45分頃で総浮遊物質濃度は、500mg/であり、濁度は6000ppmであった。5回目の7月16日11時の総浮遊物質濃度は、479mg/で、濁度は、8500ppmであった。

この結果より、この出水における掛塚橋付近の濁度のピークは約20000ppmと推定した。

日	時刻	場所	総浮遊物質(TSS)重量(mg)	TSS濃度(mg/)	濁度
7月15日	16:02	掛塚橋下流(左岸)	161	482.1806477	-
7月15日	16:36	掛塚橋	215	1132.376784	-
7月15日	18:00	船明ダム下流(右岸)	126	663.4318321	8700
7月15日	18:20	船明ダム直下(右岸)	108	617.3800909	-
7月15日	18:34	船明ダム湖(左岸)	120	628.5181203	-
7月15日	19:12	天竜川橋	156	422.8755414	7560
7月15日	19:29	掛塚橋上流	131	567.2998805	13000
7月16日	8:46	掛塚橋	106	500.1557089	6000
7月16日	9:25	天竜川橋下流	76	382.0003847	6560
7月16日	10:07	船明ダム直下(右岸)	107	493.2389903	8500
7月16日	10:17	船明ダム湖(左岸)	112	478.7751615	-
7月16日	10:56	天竜川橋(東名高速)上流	206	744.0268302	8400
7月16日	11:26	掛塚橋	81	479.433016	8500

表9：2007年7月15日16日の採水及び濁度



図 4 2 : 採水及び濁度計測地点

4 係留式濁度計による連続観測

本章では、2007 年 7 月より 2008 年 10 月までに観測した連続観測の結果を示す。観測地点は、天竜川の支川である気田川、河口より 3km 地点の掛塚橋の上流付近と河口近くの竜洋水門に設置した。

3 地点の特徴を示す。気田川の観測地点は幹線流路内の船明ダムの上流に天竜川との合流点があり河口より約 35km 地点である。急峻な山地の中を流れており、完全な淡水区間で潮汐の影響はなく、土砂生産の期待される河川である。掛塚橋上流は、河口より約 3km の地点にあり左岸の近くに、H 鋼と呼ばれる 4m ほどの鋼材があり、ここに濁度計を設置した。この地点は潮汐の影響があり、汽水域区間である。また竜洋水門は、元来、東派川の合流地点であり、1944 年(昭和 19)に派川の締め切りを行った時に一部が水路として残された、その出口にあたる。河口に非常に近く潮汐以外にも波浪の影響が著しい。本来は汽水域だが水質等は海水に近い。本観測で使用した濁度計は、アレック電子社製の係留式濁度計(赤外後方散乱方式)である。



図 4 3 : 係留計設置位置図
(赤丸が設置位置)

4.1 目的

連続的に観測ができれば、出水時の濁度のピークがわかり、濁度の水位との応答や出水の規模との関連がわかる。現地に常駐できないため係留計による連続観測で不意の出水でも観測でき、出水を見逃すことがない。また、出水時は水位や流量等の環境の変化により定点観測が困難な状況も発生しうるため、無人でも観測できる係留計による観測は有効であると考え、出水時の濁度の連続的データの取得を目的とした。

4.2 方法

アレック電子社製の係留式濁度計(赤外後方散乱方式)を気田川、掛塚橋上流、竜洋水門の3点に設置し、濁度を計測した。また補足情報として犬居水位観測所(気田川)、鹿島水位観測所(河口より25km地点)、掛塚水位観測所(河口より3km地点)の水位データも使用した。

観測の期間は、大まかに2007年7月から2008年10月だが、バッテリー切れやシステムの浸水等の問題により、出水の発生した時期に全観測地点の観測データがそろっていない。また、掛塚橋上流に設置した濁度計は、河川地形の変動により水面から露出する等の問題が発生し、2008年の7月4日から同7月5日までのデータを取得するのみであった。この間他の2観測地点の濁度計は欠測である。

また、観測の期間中最も大規模の出水は、2007年7月14から16日の台風4号による出水である。この出水時のデータは、気田川と竜洋水門での取得データのみとなった。これは、掛塚橋上流の濁度計の故障によるものである。

このため、観測結果として解析に用いたものは2007年7月14日から同年7月16日までの気田川と竜洋水門の濁度データおよび2008年7月4日から同年7月5までの掛塚橋上流の濁度データである。



写真15：係留式濁度計(赤外後方散乱方式)

(<http://homepage3.nifty.com/seasearch/>)

4.3 結果

図4-4は、2007年の04号台風時の気田川の水位及び濁度のデータである。水位がゼロになっている部分はデータの欠落ためである。また、結果は30秒のインターバルを5分間隔で採取している。

図4-4から、この期間の濁度及び水位の上昇は著しく約3.5mの水位上昇があり、濁度は2007年7月15日の午前9時の時点で22989.4ppmと最大値を示した。またこの時の降水量は1時間当たり9.5mmの降水量が、同年7月14日午前9時から7月15日午前3時までの間に数回観測されている。

また、この期間の気田川のデータは水位の上昇に伴う濁度の上昇の応答速度が速い。これは、気田川観測地点近くから、水位の上昇に伴って流出土砂が発生しているために、速い応答になっていると考えられる(図4-5)。

次に2008年の7月4日から5日にかけての濁度及び水位のデータを見てみる。

図4-6より、掛塚橋上流の濁度の上昇が急激に発生し、2008年7月4日の13時の時点で137.6ppmだったものが、2008年7月4日の17時で1215.1ppmとなっている。この後、比較的緩やかに濁度は減少している。この時の掛塚の濁度の挙動に注目してみる。

濁度は、7月4日の午前2時の時点で79.5ppmだったものが、同午前5時には83.2ppmとなっており、午前9時には166.8ppmになり、一度ピークを迎えている。これは、鹿島水位観測所の水位データと比較すると、水位の上昇は同年7月3日の18時より僅かづつ上昇を続け同午前2時より午前8時まで1時間に20cmほど上昇しているが、濁度は午前2時から午前5時までわずかな上昇があり、午前5時から午前9時にかけて、1時間に20ppmほど上昇している。これらのことから、水位の上昇と濁度の挙動は、水位の上昇を濁度が追いかける形になっていると見える。つまり、この2008年の7月4日午前9時に166.8ppmのピークを迎える濁度は、下流域の水位上昇に伴って発生したと考えられる。

次の2008年の7月4日午前13時から同17時までの濁度の上昇は、水位が減少期になってから発生しており、鹿島や掛塚の水位上昇とは関係性が乏しい。しかし、気田川の水位の上昇との時間差は、ちょうど6時間ほどであり、この時間差は船明ダムのダム操作によるものと思われる。また、船明ダムより上流からは濁度の流出はほぼなく、またこの出水時上中流部は降雨がなかった。これにより同じ出水でありながら、気田川からは、高い濁度が発生するにもかかわらず、下流域では、濁度の発生は起きないことがわかった。

また掛塚は河口から3km地点と海に近く、水位の上下動は潮汐によるものである。潮汐の影響が大きかったため鹿島の水位データを使用した。

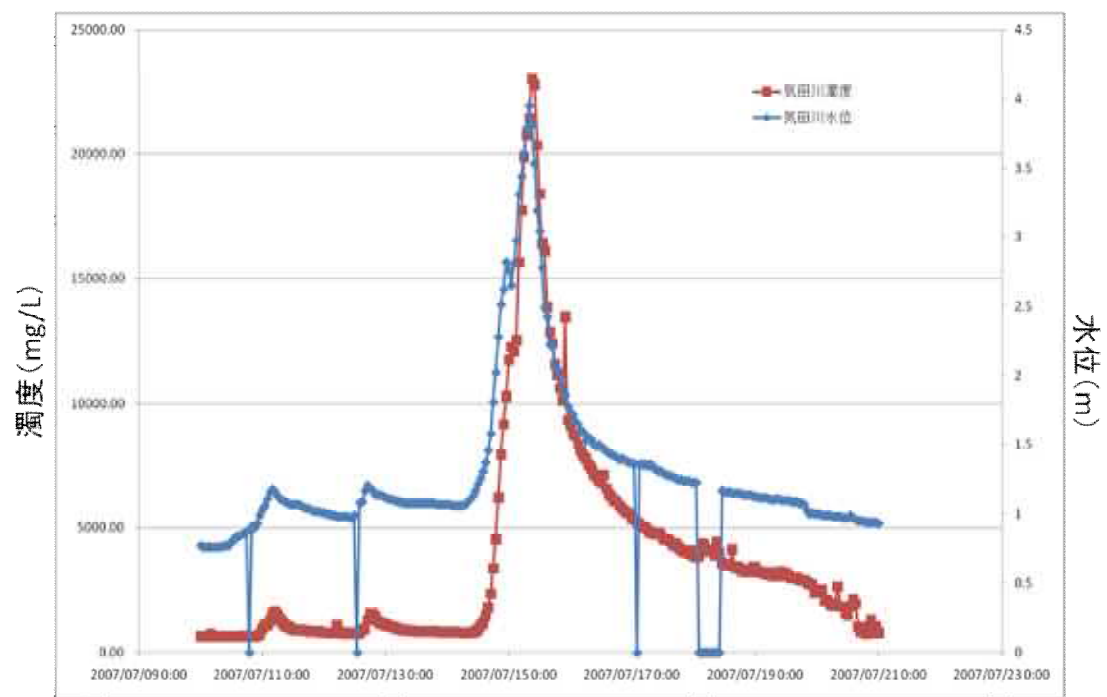


図 4 4 : 200704 台風接近時の気田川濁度及び水位

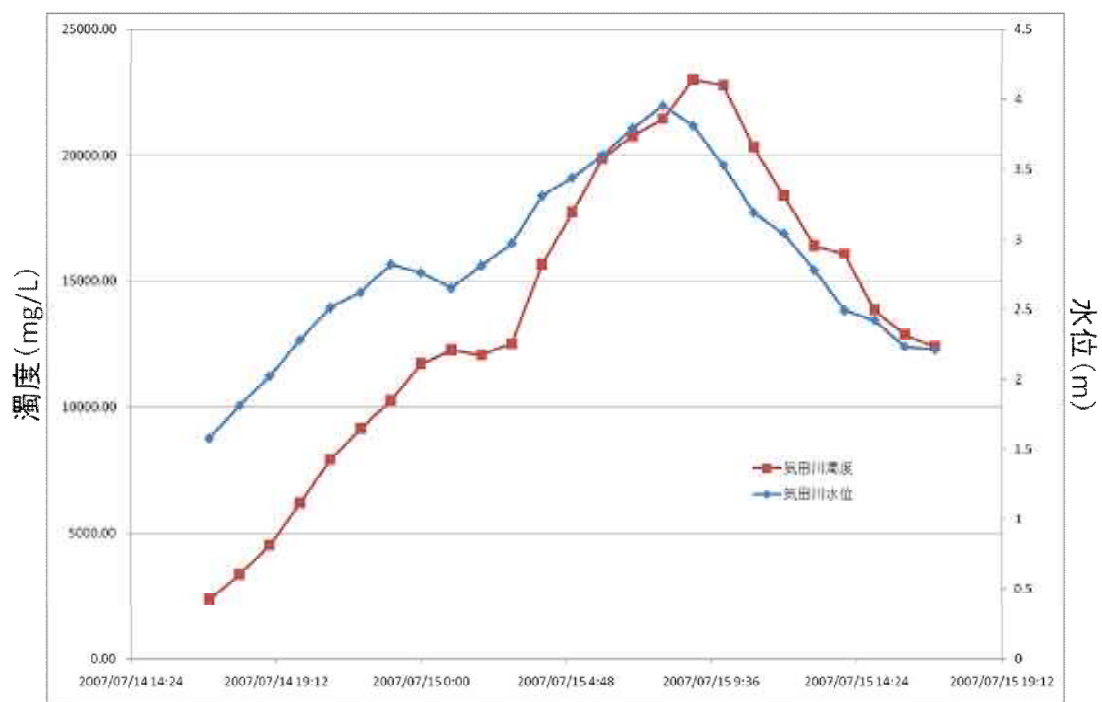


図 4 5 : 200704 台風時の気田川濁度及び水位のピーク時

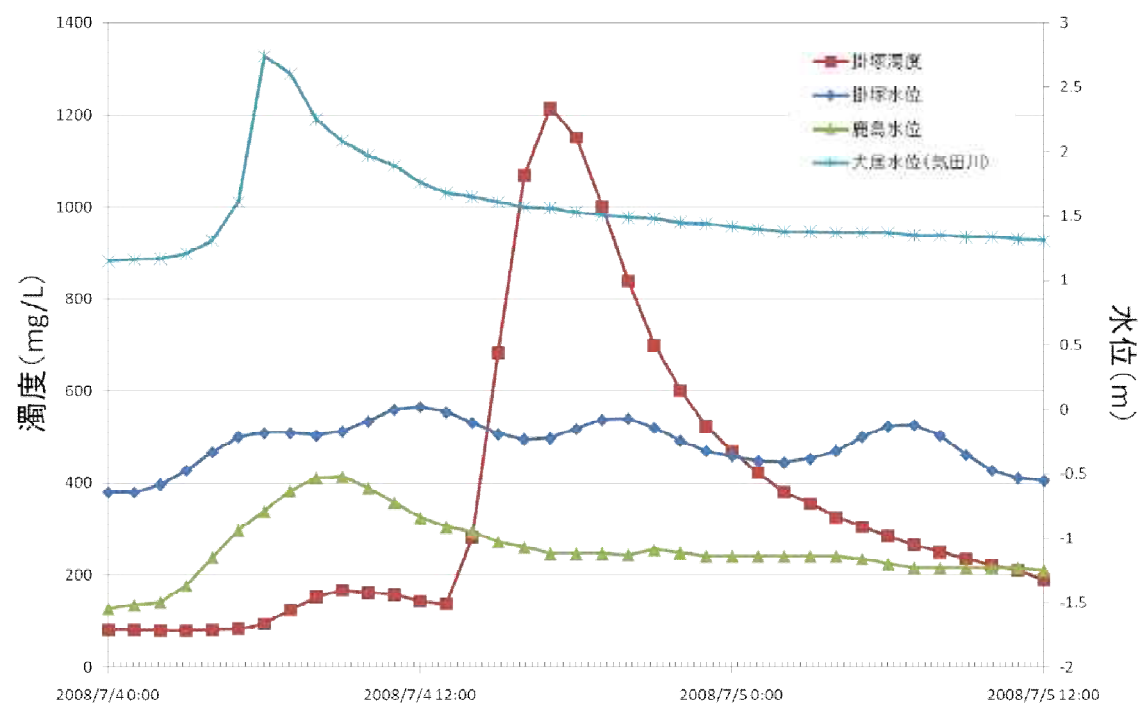


図 4 6 : 掛塚の濁度及び水位 (補足情報: 鹿島・犬居水位観測所 水位データ)

5 考察

5.1.A 空中写真

空中写真の解析結果より、流路、水制、中州、河川敷公園についてまとめる。まず、流路である。1962 年時点での流路は、複列砂州の発達した典型的な網状流路であった。しかし、その後 2006 年には、流路は、ほぼ一本化されている。また、流路の蛇行の周期を見てみると、1962 年と 2006 年ともに Y 座標の - 139000 付近から上流と下流で違う傾向が見られた。この差を流路の蛇行の中央値で見えてみると、1962 年では、Y 座標の - 139000 付近から上流で 700 であり、下流で 516 であった。2006 年では、上流で - 551 であり、下流で - 232 であった。1962 年では 184 の差があり、2006 年では - 319 の差があった。中央値は 2006 年の方が大きい、上流と下流の分散値を見てみると、1962 年の上流では、254 であり、下流では 413 となっており、下流側の分散値が大きい。また 2006 年の上流では、240 であり、下流では 242 であり、ほぼ差がない。この上流と下流の境にあたる Y 座標 - 139000 の付近には、長さ約 100m の水制が、約 100m 間隔で 7 基設置されており、これらの水制によって堆積した土砂により、この区間の低水路の幅が大幅に減少しており、一種の狭窄部を作り出しているといえる。この影響で上流と下流とで流路の蛇行に差が生じたと考えた。

次に中州の結果を見てみる。中州は 1962 年時点では、70 個あったものが、2006 年には、48 個になっている。また、数だけでなく形状にも変化が見られた。1962 年と 2006 年の面積の大きいものから 5 個の縦横比と面積また、中州の左右の流路の幅を比較した。比較の結果、面積は、5 個の合計で 2006 年は、1962 年の 4 分の 1 であった。また、中州の縦と横の比から 1962 年は流下方向に細長く、2006 年は、縦と横の長さに差がなく、1962 年の中州に比べ丸くなっている。また、中州の左右の流路の幅は、1962 年では、ほとんど差がないにもかかわらず、2006 年には最大で 10 倍程度の差のある流路になっている。この結果は、流路の解析結果とも一致し、流路の一本化や偏在化が進んできたことを表している。

次に、水制である。1962 年では、両岸で 340 基あったものが、2006 年には 87 基にまで減少している。しかも 2006 年時点の水制のほとんどは 1962 年以降に新設されたものである。1962 年時点の水制は、土砂による埋没で、陸域化しており、高水敷の創出と増大が続けている。

次に、河川敷（高水敷）公園の結果を見てみる。1962 年時点では、河川敷自体が存在しない。しかし、その後天竜川下流域の両岸に多く設置された水制を埋めるようにして河川敷が発達している。その後、発達した河川敷は陸域化しており、樹林の繁茂が見られる。

土砂で埋没した水制上を整地し運動公園が作られている。2006 年時点で天竜川下流域の河川敷公園の総面積は 1085300m² である。これは、東京ドーム（1300m²）に換算すると 84 個分に相当する。この広大な河川敷公園によって低水路の幅が最大で 25%減少している区間があった。ここにさらに水制を設置し高水敷を広げていく必要性があるだろうか。

しかし、2006 年までに、新たに水制が設置され高水敷の幅は広がっている。この広大な高水敷を公園として整備しているが、この広大な河川敷公園を保全管理していくには、さらに水制を設置していく結果となる。

5.1.B 現地観測

5.1.B.a 平常時の観測

河口より 5km 地点の観測より、水制間の土砂堆積速度は半年約 2cm であり、堆積土砂の多くは海浜成分であった。このことから、天竜川下流域の水制群は海浜成分を堆積させていることが推測された。また植生が繁茂している中州には多くの海浜成分が堆積しており、草本に覆われている場所の海浜成分の捕捉は特に顕著であった。水制間の土砂堆積は、深度の深い、もしくは水面との比高の少ない場所では、砂礫層があり、その上部に粒径の細かい砂層が堆積するといった傾向があることがわかった。

また、水制と中州の間の流速の観測結果より、水制側は流速が遅く、堆積傾向にあり、中州側は、流速が速く侵食傾向にあることがわかった。これは、水制によって流速と流向が制御されたためである。

河口より 22km 地点での観測結果より、置き砂の流出は、約 2.5m の水位の上昇を起こす程度の出水では、あまり起こらないことがわかった。また、中小規模の出水では、置き砂の砂成分の流出が起き礫の流出は見られなかった。

中州縁辺部の傾斜が緩やかであることは、中州頂部の浸水頻度を高くしていると推測される。また水衝部に近く流速が速いことも植生の繁茂しづらい環境を創出していると考えられる。また、水制の影響で、側岸侵食が起こり、中州の水制側は水面からの比高が最大で 3m になっている個所もあった。

5.1.B.b 出水時の観測

出水時の観測結果より、2007 年 7 月 15 日 16 時の総浮遊物質濃度が約 482mg/ であっ

た。16 時半の総浮遊物質濃度が約 1132mg/ であった。19 時半の総浮遊物質濃度は、約 567mg/ であり、濁度は 13000ppm であった。7 月 16 日 8 時 45 分頃で総浮遊物質濃度は、500mg/ であり、濁度は 6000ppm であった。7 月 16 日 11 時の総浮遊物質濃度は、479mg/ で、濁度は、8500ppm であった。

この結果より、この出水における掛塚橋付近の濁度のピークは約 20000ppm と推定した。

5.1.C 連続観測

観測結果より、・中小規模の出水では、下流域内で濁度の発生は起こらないことや、中小規模の出水でも気田川からの濁度は発生しており、これらのことから現在の天竜川下流域の土砂の供給源は気田川であることが 確認された。また、天竜川下流域の河道内からの土砂流出が発生しづらいことは、空中写真解析の結果の堆積機構の発達とも一致する。

2007 年台風 4 号の下流域への流入量は約 195,000 m³ であり、流出量は、180,000 m³ であった。このことから河道内の堆積量は 15,000 m³ と推定される。この値は、既往研究の結果ともよく対応していると考えた。

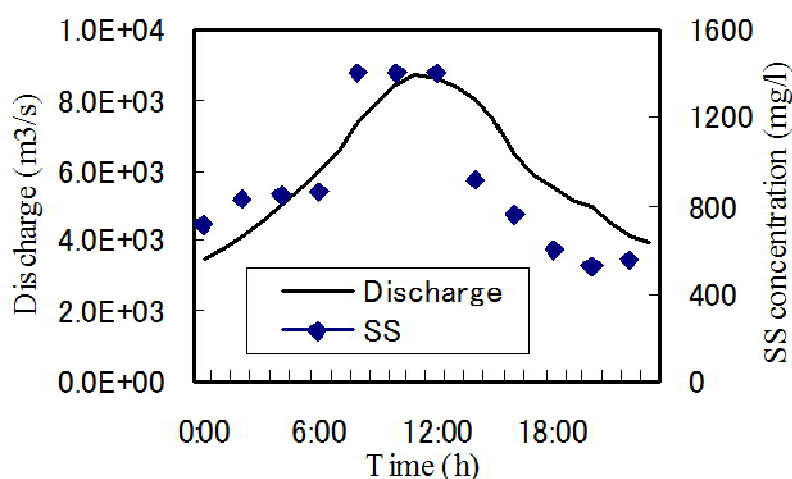


図 4 7：鹿島地点の流量と SS

5.2 総合考察

空中写真の解析結果から、天竜川下流域では、土砂の堆積機構の発達が見られた。これは、大量に設置された水制群に土砂堆積が起こって、高水敷が増大していることや、ダム
の設置によって、流量が減少し、複列砂州の網状流路を維持できず、流路の偏在化や一本
化が起こっており、中州の流動性が低くなり、植生の繁茂によって陸域化が進行したため
と考えた。

また、現地観測の結果より、天竜川下流域の水制には、半年で2cmの堆積速度の著しい
土砂堆積が起こっていることがわかった。また、水制付近の中州の側岸侵食を引き起こし
ていることがわかった。このことから、水制は、河道内の土砂堆積を促進し、現状の中州
の形状の形成にかかわっていることが示唆された。

また、連続観測の結果より、中小規模の出水では、下流域の河道内からの土砂流出が起
こりにくいことがわかった。また大規模出水であっても、遠州灘海岸への供給土砂のほと
んどを気田川からの供給に頼っている現状が確認された。

以上のことから、下流域での土砂輸送機構に変化が生じていることが明らかである。

また、天竜川流域委員会下流部会の報告によれば、現状の天竜川下流域の河道内では、
河床上昇による河積の減少や、陸域化によってもたらされる樹林化は、出水時の流下阻害
を引き起こすとされ現状の是正が求められている。

天竜川流域委員会から下流部会への付議に対する、下流部会から委員会への報告内容に
ついての事務局素案の中で、第4回下流部会の「天竜川下流部における現状と課題」とい
う資料がある。以下に一部を引用する。

・下流部における堤防の漏水対策

下流部は、天竜川の扇状地であり、堤防は砂礫層の上に築かれているため、洪水時には堤
防の基盤からの漏水が生じ、水防団の活動により被害拡大を防止するとともに、必要に応
じて漏水対策を行っているが、新たな箇所において漏水が生じ、堤防が危険な状態となっ
ている。

・下流部における侵食・洗掘対策

天竜川は急流土砂河川であるため、水衝部では自然河岸の侵食や護岸基礎の洗掘が生じ、
必要に応じて護岸、根固め及び水制などを整備してきたが、水衝部以外においても1洪水
で最大幅60mの河岸侵食が生じるなど堤防が危険な状態となっている。

・下流部における河積不足

下流部の堤防は計画に必要な高さが確保されているが、計画高水流量の流下に必要な河積

確保のための低水路掘削は遅れている。さらに近年では、州の固定化や高水敷、州でヤナギ等の樹林化が進行し河積が減少したため、現在の河道に戦後最大規模の洪水が再来した場合、洪水時の水位は一部区間において計画高水位を超え、破堤、氾濫による甚大な被害が予想される。

・河床上昇対策

下流部では、河床上昇による洪水時の水位上昇が懸念されるため、砂利採取などと連携し土砂を除去している。

・ダム堆砂対策

中流部の佐久間ダムなど発電を目的としたダムでは、上流からの大量の土砂流入による堆積土砂を除去するため、浚渫などが行われている。しかし、なお洪水時にはダム上流の水位が上昇し、浸水被害が懸念される。

・海岸の侵食対策

遠州灘沿岸の砂浜の侵食や堆積は、来襲する波や沿岸部の流れはもとより、天竜川からの供給土砂による影響を強く受けており、遠州灘全体の砂浜を保全していく上で、天竜川からの供給土砂の増加が望まれている。

・総合的な土砂管理

土砂に関わる課題では、水系全体の取り組みとして、砂防事業、河川事業などが連携し、流域で一貫した総合的な土砂管理が急務である。また、個々のダムについて、具体的な排砂方法などを検討する必要がある。

また、第4回下流部会の資料6には以下のようにある。

河川の生態学的な観点からは、中下流部では瀬と淵は蛇行点に一個ずつあるのがふさわしい。水衝部に水制や護岸を置いて川岸の破壊を未然に防止することはある程度やむを得ないが、淵から瀬へと河床型が変化するほどまで行うのは、工事の近自然化と逆行するものである。やむを得ず施行したもので、短期的には河床が安定している場合でも、長期的な視点での方策をも同時に模索するべきであり、その方向は「近自然」といえる。

以上の天竜川流域委員会下流部会の資料から、現状の問題点をまとめる。

天竜川下流域の堤防は、基礎が砂礫層上に設置されており出水に対する強度に不安がある。また、一部で河岸の侵食等が生じており危険な状態である。他に河床上昇や中州の固定化及び陸域化にともなう樹林化による河積不足が懸念されている。

また、ダム設置により貯水池内への堆砂と、それによる供給土砂の減少による海岸侵食が発生している。

これらの問題と本研究の結果から、天竜川下流域での水制群の二面性が推察される。そ

れは、基礎部の不安な堤防の防護や河岸の防護を行っている。しかし、一方で河床上昇や樹林化を促進しており、治水の面で負荷を与えているともいえる。

しかし、この二面性に関しては、現在、河岸や堤防防護はそのままに、河床上昇は河道内からの砂利採取で対応しており、樹林化は、重機を用いた伐採を行っている。しかし、これらの方法是对処療法であることは、もちろん、効果的と言えない状況である。

今後の天竜川下流域の土砂問題を考えるにあたって、下流域全体とするのではなく、流路や高水敷、中州といった地形的要素からの区分と区画ごとに細かな土砂及び治水や生態系からの対策必要であると考ええる。

謝辞

磯部雅彦先生にはこの研究生生活の様々な場面で多くのものをいただきました。また、私が大学院進学をするきっかけは、磯部先生のお考えに触れたからでした。私の今後人生の中で、最も影響の濃い2年間を作っていただきましたことを心より感謝いたします。

本研究において静岡県得天竜川下流域での現地観測を修士の2年間を通じて行いました。そもそも、この研究を提案していただいた黄光偉先生に感謝いたします。河川のことを何もわからない私を根気強く指導していただきました。また現地観測のおりには、重い荷物を率先してお持ちになり、東京静岡間の長距離の運転をなさり、また、お風邪をめされ体調の優れない時も度々ありました。そんな中でも常に笑顔を絶やさず、学生である私にも気を使ってくださいました。黄先生の温かいご指導に心より深く感謝いたします。

そして鯉淵幸生先生には、授業やゼミを通じて、また観測に連れて行っていただくなど、多くのご指導をしていただきました。感謝いたします。

また新潟大学の大熊孝先生には、人生を通して河川に関わることの素晴らしさを教えていただきました。いつか先生と同じ志を持つことができるように精進したいと思っています。大変ありがとうございました。

また、東京大学河川流域環境研究室の知花武佳先生には、研究機材を貸していただきました。また現地で知花先生に研究の楽しみかたを教えていただきました。感謝いたします。

また、この研究を進めるにあたって多くの機材を貸していただいた東京大学海岸沿岸環境研究室の皆さんに感謝いたします。中でも特任助教の劉海江さんには、実際に観測をお手伝いいただき、解析の方法のご指導もいただきました。また現地観測で疲れた時、劉さんの親しみやすい人柄に何度も助けていただきました。ありがとうございました。

この研究を進めている間、私が在籍させていただいた沿岸環境デザイン研究室の皆様には感謝いたします。秘書の山上裕子さん同じく秘書の室園英子さんには、現地観測の度に書類や事務手続きに関してお世話になりました。書類の提出がいつも遅い私は、大変迷惑をおかけしていたのだと思います。申し訳ありませんでした。またそんな私にも優しく接していただきありがとうございました。研究室の先輩の佐藤裕和さんには、河川に関して何もわからない私に度々ご指導をいただきました。佐藤さんとの会話は、いつも河川の奥深さを感じさせられました。ありがとうございました。同じく先輩の寺田和美さんには、研究室の日常で色々とお世話になり、多くのご指導をいただきました。また私が大学院の受験前に研究室見学をさせていただいたときに最初に気さくに話しかけていただきました。あの時が私の中のWestchの始まりだったような気がします。ありがとうございました。同じく先輩の神野有生さんには、研究に対する姿勢から教えていただきました。なんでもできてしまう神野さんがいるだけでとても安心できました。ありがとうございました。同じく先輩の篠原隆一郎さんには、研究に対する情熱を教えていただきました。気さくに話しかけていただき、多くのことを教えていただきました。ありがとうございました。同じ研究室にいらした社会人博士課程の伊津野郡平さん、鈴木覚さん、平塚四郎さん、森田健二さん、石橋文人さんには、社会に出てからも学生として学ぼうとする意欲と見識の深さに、とてもよい刺激を受けました。ありがとうございました。また昨年卒業された、吉田翔さんと國分佑太さんには、研究室を明るく楽しくしていただき、自分の直ぐ上の先輩として多くのことを教えていただき、助けていただきました。ありがとうございました。

また、同じく卒業されたDeepak K. C.さんは、いつでも笑顔で、人としての魅力を教えていただきました。ありがとうございます。

私よりも後に入学されたMajedul Islamさん、多田希さん、砂原啓人さん、寺門晃弘さん、中村裕樹さんには、私はもちえていなかった多くの考えを教えていただきました。また皆さんが楽しそうにしている風景に元気をいただきました。ありがとうございます。

研究室で同じ時期に入学した木村真理さん、大城亨太さん、垣内勇人さん、笠松泰幸さ

ん、近藤宗俊さん、藤井恵一郎さん、三浦ゆきこさん、牟田原清孝さんには、多くの思い出をいただき、たくさんのお言葉をいただきました。皆さんには、この 2 年間で何物にも代えがたい貴重な時間にしていただきました。ありがとうございました。

私と同じく天竜川の土砂に関して研究をされている東京大学河川流域環境研究室の金子拓史さんには、研究を手伝っていただき、また色々な興味深いお話を聞かせていただきました。ありがとうございます。

私と同じ研究フィールドであり、当初より研究において常に手助けをしてくれ、またその姿勢や言動から多くの良い刺激をいただきました、東京大学海岸沿岸環境研究室の吉井拓也さんに心より感謝いたします。また、同じく研究フィールドが同じだった沿岸環境デザイン研究室の俵山淳子さんには、入学当初より公私ともに大変お世話になりました。また大熊先生を紹介していただきました。心より感謝いたします。研究フィールドを同じくするお二人がいらっしゃったことは、わたしにとって大変に大きく貴重な事でした。心より深く感謝いたします。

最後に今まで私を支えてくれた家族に、特にずっと私を応援してくれている祖父に、また、かけがえのない友人に感謝します。本当にありがとうございます。

参考文献

- 1) 長谷川浩一 若松加寿江 松岡昌志 ダム堆砂データに基づく日本全国の潜在的侵食速度分布 自然災害科学 Vol.24 pp287-301 (2005)
- 2) 藤原弘和 佐藤愼司 白井正明 田島芳満 表層堆積物の分析に基づく天竜川・遠州灘流砂系の土砂動態の解明
- 3) 総合的な治水・利水対策について 長野県治水・利水ダム等検討委員会 (2002)
- 4) 岡安徹夜 天竜川 - 遠州灘流砂系における土砂移動の変遷と土砂管理に関する研究 JICE REPORT vol.6 pp11 19 (2004)
- 5) 岡野眞久 安田佳哉 森耕司 天竜川中流部のダム貯水池群が流砂系に及ぼす影響について pp32 38 平成 15 年度ダム水源地環境技術研究所 所報 財団法人 ダム水源地環境整備センター (2004)
- 6) 岡野眞久 菊井幹男 石田裕哉 角哲也 ダム貯水池堆砂とそのダム下流河川還元についての研究 河川技術論文集 第 10 巻 (2004.6)
- 7) 岡本尚 我が国に於けるダムの堆砂進行速度を決定する 要因と法則性の調査研究 高木基金助成報告集 Vol.2 (2005)
- 8) 天竜川ダム再編事業環境検討委員会 第 1 回検討委員会資料 国土交通省 中部地方整備局 浜松河川国道事務所 (2006)
- 9) 天竜川サイエンス 天竜川サイエンス編集委員会 pp114 (2006)
- 10) 地学事典 地学団体研究会 pp627 (1996)
- 11) 河道変遷特性に関する研究 財団法人河川環境管理財団 pp15 - 17 (1998)
- 12) 大杉奉功 浦上将人 ダムの弾力的管理による下流河道環境改善手法 平成 15 年度ダム水源地環境技術研究所 所報 財団法人 ダム水源地環境整備センター (2004)
- 13) 新山 馨 ヤナギ科植物の生活史特性と河川環境 日本生態学会誌 45 pp301 - 306 (1995)
- 14) 田中仁 河口域の流れと地形 ながれ Vol24 pp37 - 46 (2005)
- 15) 柳田達雄 西森拓 小西哲郎 河川の形態とダイナミクスの関係 数理解析研究所講究録 1305 巻 193-202 (2003)
- 16) 河川の植生と河道特性 財団法人河川環境管理財団 河川環境総合研究所 (1995)
- 17) 山本晃一 赤羽忠志 渡口正史 河川の土砂環境の健全化をめざした対応について 河川環境総合研究所報告 第 9 号 pp68 - 77 (2004)

参考資料

財団法人 日本ダム協会 HP (<http://www.soc.nii.ac.jp/jdf/>)

天竜川流域委員会 下流部会報告書

(天竜川水系河川整備計画 :

http://www.cbr.mlit.go.jp/hamamatsu/kasen_seibi/keikakuseido.html)