

砂河川における河相変化の特質

Varying regime characteristics of river channels of sand bed

宇都宮大学 正員 須賀堯三

1. 研究の目的

日本の河川のうち、多くの大河川および一部の中河川の河相は、昭和40年代頃より、急激に、かつ大幅に変化している。このような河道等においては、流れや河床変動の仕方が変わり、従来経験したことのない現象が生じることがある。たとえば、河道の蛇行モードの変化、流速の増大、および河岸付近における局所洗掘の増大などがある。ところで、主として自然の現象を相手とする河川の工学は、経験工学ともいわれ、過去の経験を尊重する意味が深く理解されている。したがって、従来の経験を超越る現象に対しては特別の調査・研究を必要とする。

著者は、その重要性から、最近では多く河相問題を取りあげ、主として定性的な考察を行って、基本的な考え方を示し、かつ問題点の指摘を行ってきた。¹⁾今回は砂河川の河相問題を取りあげ、これまでの考察の結果を基礎として、各種の砂河川の特性を比較・検討して個々の現象に関する考察を行い、砂河川の河相に関する理解を深める。この結果は、河川の調査、河道計画の立案、および対策事業の策定に重要な示唆を与えるものと考えられる。また、このような考え方は、今後の新しい河川工学の新しい発展に不可欠であろう。

2. 砂河川の特徴

本論文においては、砂河川と考えられる河道の部分的な区間を対象とする。すなわち、砂河道の意味で呼称する。以下に、砂河川の主要な特徴を、砂利河川と対比させながら列挙する。

- a. 河床材料は径が2 mm以下であり、粒度分布は均一に近く、シルトおよび粘土質の量が少ない材料である。
- b. アーマリング効果はほとんどみられない。また粘着性は小さい。河床材料は移動しやすく、低水時においても流砂がみられる。一般に、砂河川においては、ダム直下流区間等の特殊な場合を除いて、流砂量には砂利河道に比して時間的・距離的に連続性がある。したがって、河道の安定性は、むしろ動的に評価されるべきである。摩擦速度に見合った流砂が考えられ、決定論的な手法の適用性もみられる。
- c. 砂河川では一般に河床勾配が小さく(図-1)²⁾、 $1/600$ 以下が多い。しかし、真砂や細かい火山灰からなる土砂の生産地付近の河道、および大きな崩壊が生じた直後の小支川などにおいては、河床勾配が大きい場合も存在する。
- d. 砂河川では、一般に河床縦断曲線が直線的であるなど、河道量の縦断的な変化率が小さい。このことは、河道の変化が動的であり、河道量の伝播性がよいことを示す。
- e. 流速は大きくはないが、浮遊流砂として移動する砂が多く、全体としての流砂量は小さくない。このことから河床の時間的・空間的変動の特性および局所的な洗掘の特性が特徴づけられる。すなわち、支配流量時には安定であるが、大流量時にバランスが崩れがちである。この場合には、砂州の移動は、砂利河道に比して激しい。砂州は、ある程度河床低下が進行した状態においても移動しやすい。
- f. 砂河川においては洪水中に小規模河床波の形態が変

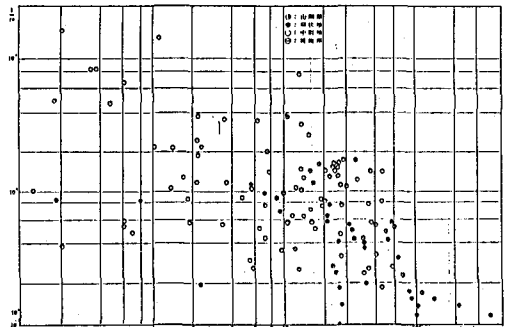


図-1 河床勾配と平均粒径 (建設省技術研究会 1982)

わり、粗度係数や流砂量が急変することがある。このような変化は縦断的に同時に生じるわけではないので、局所的に河道の状況が急変することもある。特に、蛇行のモード変化と重なる場合には河道の変化が激しい。

以上のように、砂河川は支配流量程度の場合には、一般に小さな流速で連続的な流砂があり、比較的安定した河道と考えられる。事実、融雪洪水等、中小の出水がほぼ定期的に生起する河道には、植生の発達にも調和が保たれ、安定した河道条件が維持される。従来の砂河川は、ほぼこのような状態であって、治水・利水および環境上の問題が少ない河川とみられてきた。しかし、反面大出時には河床形態の変化に伴う水位・流速および流砂量の急変があり、蛇行流の3次元特性の急変などもみられる。このような場合には、河床砂が動き易く、かつ浮遊砂となる底質も多いので、河道の変化量が大きくなることがある。砂河川には安定と不安定の二面が存在するものと考えられる。

3. 砂河川の分類

砂河川における以上のような特性は、砂河川の種類および河相変化の仕方によって現象の現われ方が異なってくる。そのため、砂河川の分類を河川工学的に行うことが重要である。

砂河川の現象を特徴づける主要な要因をあげれば、^a土砂生産地からの距離（河川の規模、河川勾配）^b支配外力（降雨と降雪）の規模と生起の頻度、^c生産土砂量とその歴史、および^d粒度分布（平均粒径、最大・最小）とその生産土砂の種類（火山灰、真砂、崩壊土砂）等であって、それぞれの河道において、これらの要因に基づく異なった現象が生じている。また人工的なインパクトとして、主要のものをあげれば、流域の開発等による流量の増大、ダムの建設（土砂の捕捉と流量条件の変化）、河道掘削、堰の撤去、およびショート・カットなどがある。河相変化は河川の条件とこれらのインパクトの種類と大きさおよび与え方等によって、特徴づけられたかたちで生じるものと考えられる。ただし、ここでは各インパクトの直接的な効果の比較等の問題は取扱わない。

さて、砂河川の分類の仕方には種々のものが考えられるが、現象が複雑であれば、統合的であって学問的な裏付けのあるもののなかから、できるだけ単純なものを選ぶのがよい。ここでは、砂河川を *a*.全川的な砂河川、*b*.緩流砂河川、*c*.中間地砂河川、*d*.急流砂河川および *e*.その他の砂河川に分類する。表－1に砂河川の分類と河川の例を示し、砂河川の現象を特徴づける上述の主要な要因との関係をまとめてみた。*a*の全川的な砂河川では、上流から下流までの底質がほぼ同様な砂によって構成されており、土砂の供給量は多い。土砂生産の原因の第一は風化であって時間的にもかなり連続的である。*b*の緩流砂河川は土砂の生産地より十分下流であって、土砂生産の直接的な影響を受けず、流砂量は多くはなく、また変動も少なく、流量に見合った流砂を考えやすい河道である。多くの場合単列蛇行である。*c*は扇状地のフロントから伸びる河道であって、河床勾配の急変あるいは変化区間である。上流の扇状地の条件や洪水生起の条件によって支配され、一般には河床の変動が大きい。築堤を行えば、上流の扇状地の発達の場合に応じて天井川となる河道である。なお、河床勾配は $1/500 \sim 1/1000$ くらいが多く、日本の砂河川では、安定度がおとるこの中間地砂河川が多い。*d*の急流砂河川とは、河床勾配が $1/500$ より大きい通常の急流の砂利、または礫の小・中河川が、大きい

表－1 砂河川の分類（主要な要因との関係）

カテゴリー 記号	砂河川の	土砂生産 地からの 距離	卓越する 河床形態	支配外力の規模と 生起の頻度	土砂生産量とその歴史	粒度分布 (生産の原因)	河川の例
a	全川的な砂河川	—	網状 (ワロコ)	支配外力中、小、頻度大	土砂生産量大、連続的	均一 (真砂、火山灰層の風化)	矢作川、斐伊川
b	緩流砂河川	遠い	単列	支配外力大、中、頻度中	土砂量安定、連続的	均一	石狩川、利根川
c	中間地砂河川	近い	複列	支配外力大、中、小、 頻度大	上流扇状地の発達と築堤 の歴史	不均一（崩壊、侵食）	笛吹川下流部、 常願寺川下流部
d	急流砂河川	至近	網状	支配外力大、頻度小	土砂生産量大、間欠的	均一（土砂崩壊）	早川上流（稲又谷川）
e	その他の砂河川	—	—	—	—	—	人工河川など

出水時に大量の流出土砂によって砂河川に変化した場合をいう。大量の土砂は多くの場合に崩壊によって生産されるが、このようなときには細粒土砂が主体となることが多く、洪水後は河床上昇に伴って、表面底質の細粒化と縦断的な均質化が行われる。このような河川では、その後の中・小の出水によって、河道の侵食が行われ、河床低下・粒度の粗大化と縦断分布の拡大・蛇行モードの変化などが行われる。

砂河川の現象は、以上のようなカテゴリーの河川毎に異なった特性を示し、またそれぞれの河相インパクトの主要要因毎にそれぞれのカテゴリーに応じた反応が生じるものと考えられる。大雑把にみれば、*d*のカテゴリーに属する河川の現象は特殊な場合であり、社会的影響も大きくない。*e*は*b*の河川群の上流部であり、両者の間に若干の関連はある。*a*のカテゴリーの河川では*b*に比して供給土砂量が多いところに最大の特色がある。このような観点からも河川の現象の理解を深めていくことができる。

4. 砂河川における河相変化—河相変化要因と砂河川の特性との関係

河相の変化は直接的な主要原因とその作用の度合によって異なるが、砂河川の河道の条件にも左右される。河道の条件としては河相変化の観点から上記カテゴリーの内容を補足すると、河道の変動の特性、すなわち土砂生産の場からの距離と外力の生起の条件の効果が大きい。また、流砂が多くダイナミックな変動の特性を有する河道ほど、一般に河道変化の効果が顕著となる。なお、河相変化の現象は、原因と結果の間に単純な因果関係で表わせるような現象ではなく、種々の要因が非線型にからみ合った、しかも外力の生起に対して時系列論的な現象と考えられるので、複雑である。ここでは、現象を単純化し、主要な要因と主な内部の現象のみに着目している。

河相変化とその現象は、河相項目を通じて把握されるが、河川全般にわたっての歴史的な背景が十分評価されたうえで扱えられるものである。河相項目は、流速、三次元流況、平均水深、流路幅、蛇行形態、砂州高と長さ、その移動速度、局所洗掘、河岸侵食、小規模河床波と粗度係数、および植生などである。また、平面形状と横断形状は、これらの各項目と関連を有する河相項目である。河相に関連する主要な現象には、蛇行の多重性・蛇行強度・蛇行モード等の変化と変動（卓越蛇行のうきあがりと変化）、砂州の流下・変形と流下速度の縦断的なバランスの崩壊、自然河岸の侵食・護岸水制等の構造物周辺の洗掘範囲と洗掘深、および河岸渦の発達などがある。植生の発達は河相変化と洪水の生起条件に関係する。

さて、砂河川では一般に流砂量が多いので、流砂量を大きく変化させれば河相変化は大きい。大容量の貯水池の出現（ダムの築造）によって、その直下流部では急激な河床低下が生じ、その影響は順次下流に、砂利河道より大きい速度で伝播する。*a*のカテゴリーの河川はこのようなかたちで顕著な影響を受ける。*e*の中間地砂河川では、扇状地の発達と築堤後の時間の経過に関係する天井川の発達過程に変化をきたし、河床の上昇過程の変動特性から、低下過程の現象へと急変する。*b*の緩流砂河川ではダムが十分上流に存在する場合には、流砂量の減少の効果は無視しうるほどである。河道整正や砂採取の効果も砂利河道の場合ほど直接的ではなく、平準化され、時間的には長くなるが影響の度合は小さくなる。なお、この場合の影響は、河道整正の仕方および砂採取の方法によって顕著に異なる。旧堰の撤去やショートカットの効果は、砂利河川の場合と同様に局地的であるが、局地的現象は砂河川の場合には時間的に早く生じ、上下流への波及も早い。*b*のカテゴリーに属する緩流砂河川では、直接的な河相変化要因を除けば、上流からの流砂量の変化はわずかであり、また砂採取等が行われてもその影響は砂利河川の場合ほど直接的でない。しかしながら、年月をかけて徐々に変化するところに大きな特色があり、河相変化の調査を行うにあたっては、時間スケールの長い尺度を用意しなければならない。緩流砂河川の河相変化で留意すべき点を次にあげる。

- a. 流速等河相項目の変化、および大流量の生起に伴う小規模河床波の変化、およびそれに伴う粗度係数の変化。
- b. 横断形状の変化、およびそれに伴う粗度係数の変化（高水敷における植生の効果を含む）。
- c. 河岸渦の発達、三次元流況の変化、および水衡部の変化と洗掘深の増大。

これらは緩流砂河川において、問題となり易い項目である。緩流河川の河相変化は中・小洪水等の生起する

平常時においては緩慢であり、河床低下も顕著ではないが、変化が着実に進行し、大流量あるいは大流量・長雨時において急変する可能性を秘めている。

5. 全川の砂河川における河相変化の特性

全川の砂河川の形成条件は、大崩壊が連続的に生起する場合の河床の上昇過程の条件と、相当量の砂が連続的に生産される平衡河床の条件に分類される。前者は *d* のカテゴリーの砂河川の条件に近く、一過性のものと考えられる。後者は流下する砂の量に見合った量の砂が連続的に生産される場合で、花崗岩が風化した真砂や特殊な火山灰が広く分布する流域の河川にみられる。矢作川と斐伊川は代表例である。

表-2に、*a* の全川の砂河川と *b* の緩流砂河川とを対比した。大きな相違点は比流出土砂量であり、前者において河床勾配が大きく、かつ流域面積に対して流路幅が大ききことである。矢作川と斐伊川は流域面積が倍であることの他は、ほぼ似た傾向を示している。ただし斐伊川の方が相対的に流路幅が大きく、河床勾配が若干急であることの原因は、むかし砂鉄の採取が大規模に行われ流出土砂量が多かったことによるものと考えられる。砂鉄の採取がほとんど行われない現在は、むしろ矢作川の方が土砂の流出は多くなっているようである。

両川の基本的な中規模河床形態は、うろこ（網状）である。ほぼ均質な材料より構成される河道で流砂が多い場合には、現象は動的であって、河床勾配は一定に近づき、流路幅・河床材料等の縦断変化は少なくなる。底質の粒径が小さく、河床勾配が大きい場合には、流速が小さくならなければならない、川幅が広がるので、流路は必然的に網状となる。河床が上昇過程にある限りはこの状態が持続される。砂河道では、流砂の現象が砂利河道ほど確率的でなく、むしろ決定論的であるから、上流における小規模のダム（取水用、発電用、砂防用）の効果は直接的でなく、河床が低下過程に移行するのは上流部から徐々に進行する形態をとる。砂河道における砂採取は、河床の単なる平行移動であって流砂の条件に大きな変更がない場合には、河床低下過程にある河川の一般的な現象とは無関係に、蛇行形態に重大な影響を与えないであろう。

矢作川では、昭和20年代からの発電用堰および用水堰によって全般的に流出土砂量が減少してきたが、昭和32年に35km地点に設けられた明治用水頭首工の改築および昭和46年に竣工した矢作ダムは下流河道への土砂を扞止する効果を評価する点において重要である。河床形態は航空写真によると、昭和37年迄は網状であったが、昭和45年には複列ないしは単列ぎみの河道となり、昭和49年以降は典型的な単列河道に変化している。なお、昭和37年のうろこ河道は昭和23年のうろこ河道よりは各うろこ状砂州が大きく、複列河道への遷移途上の形態とも考えられ、20kmほど上流の明治用水堰の影響が伝播しはじめているとみられる。河床低下は昭和40年代より、砂採取の効果も加わって顕著になり始めた。河床低下、および蛇行のモード変化と共に、局所洗掘が著しくなった。

斐伊川でも、砂防ダムが昭和25～36年の間に数基設けられ、砂採取は昭和37～49年の間に盛んに行われた。これらの砂防ダムは上流からの土砂をほとんど捕捉する規模のものが多く、河床形態は、砂防ダムの下流では、河床低下と共に単列河道に変わり、その範囲が下流に移動している。しかし、斐伊川では支川からの流出土砂も少なく、中上流部で河床低下が行われている反面、最下流部ではむしろ河床上昇ぎみである。そのため、うろこ状河道の上流端は下流に移動しつつあるが、その形態は中下流部では維持されている。

斐伊川では、洪水時の流路幅はほとんど不変であり、洪水の初期においては水深が小さい網流状態である。流量が増大すると、わん曲部の流れは遠心力にて特徴づけられ、全川の網流から複列蛇行流、ついで単列蛇行流と変わる。一方、小規模河床波は *lower regime* から *upper regime* に変わり、粗度係数は小さくなる。このような状態では流速の増大に伴い、流砂量が増大して、平坦な河床形状が大規模な砂州を伴う河道に変化する。従来の中小洪水では、洪水後には河床は元に戻る状態にある。

矢作川と斐伊川には類似点が多い。河床形態は昭和30年代頃はほぼ同様の網状蛇行であった。矢作川はその後ほぼ単列河道に変わった。斐伊川では変化は上流部のみに限定されている。砂河川では流砂量は流量の規模の影響を著しく受ける。斐伊川では大きい洪水に対する河道の安定性の問題が興味深い。

6. 緩流砂河川の河相変化の特性

安定した緩流砂河川では長い歴史的な河川の作用の結果、流量に見合う流砂が流れ、縦断的なバランスが保たれている。上流部におけるダムや河道掘削の影響は直接的でない。このような河川の河相変化の主因は、
a. 捷水路、堰の撤去、b. 拡幅と掘削、c. 洪水流量の増大、d. 流砂量の減少（上流のダムや掘削等による）、などである。これによる河相変化の主な特性を列挙すれば次のようである。

a. 流砂量の減少は緩慢であるから

河床低下は全体的に、かつ緩やかに進行する。

b. このとき、単列蛇行の強度が大きくなり、水衡部の移動は減小する。他の原因等により、水衡部の位置が変化する場合には、変化は比較的早い。

c. 中・小の洪水による河床変化はわずかであり、安定している。しかし、流域の開発等に伴い大きい洪水が生起する場合には、流れのパターンの変化と動き易い砂のため、従来経験のない変化が生じることがある。

d. 洪水流の三次元効果が重要となり、洪水中的わん曲部における洗掘が大きくなることがある。砂床砂の一部は浮遊型式で流送されるので、洗掘と堆積の進行速度は大きい。流れがわん曲渦や河岸渦によって乱され、流速分布にいったん片最りが生じると、河床変動が激しく進行し、深掘部が縦断的に3～4箇所連続することがある。

e. 川幅変化や堰などが、縦断的なアンバランスをもたらし、砂河川の河床はそれに鉛敏に反応する。

f. 小規模河床波は洪水中に容易に変化し、流速や水位（粗度係数）に影響を与え易い。小規模河床波の縦断的な変化の起り具合によって、縦断的な河床変動の特性も影響を受けることがある。

緩流砂河川は、土砂生産地からの距離があって、河床勾配が小さく、かつ流量に見合った流砂があって、河道量と水理量の縦断変化が小さいことにその特徴があるとされ、治水上の信頼を得てきた。しかし、上述の河相変化特性に示されるように、上流流域の急激な開発に伴う洪水流量の増大、小規模河床波の変化、徐々に進行する河床低下と水深の増大による三次元流の効果の増大、ショートカットや拡幅・掘削等に基づく縦断的な流砂量のアンバランスなど、新たな現象の生起の可能性が強まり、特に大きい流量時の現象が目される。⁴⁾

緩流砂河川の例として挙げた表-2の石狩川と利根川の相違点は、従来の河積が尊重されたうえでショートカットを主体として改修され、築堤の歴史が浅い石狩川河道に対し、利根川においては流域面積が倍増されたため、主として拡幅と掘削によって改修が行われてきたことである。両者とも複断面水路であるが、洪水時には利根川河道において河岸渦や大規模な縦渦などが発生しやすい。

なお、表-2には大陸の大河川をあげたが、シルトおよび粘性土よりなるデルタ性の河川の場合には、土砂の侵食と堆積の機構が異なるため、利根川や石狩川の河相のカテゴリーに入れることはできない。

7. 中間地砂河川における河相変化の特性

扇状地性の砂河川はdの急流砂河川のカテゴリーに入る。通常扇状地河川は砂利河川であり、フロントが形成される。それは扇状地の発達と共に下流に移動する。このフロント上下流部は、上流からの供給土砂量

表-2 河川水理量の対比

()内は補足事項
または推定値

カテゴリー 代表河川名		a. 全川的な砂河川		b. 緩流砂河川		
水理量の項目	斐伊川	矢作川	石狩川	利根川	大陸大河川	
1 流域面積 km ²	910	1830	14330	16840	(利根川の10倍以上)	
2 幹川流域延長 km	(70)	117	268	322	(3倍以上のオーダー)	
3 流域の主要地質	花崗岩(風化、頁砂化)	花崗岩(風化、頁砂化)	礫岩、砂岩、泥岩	礫岩、砂岩、泥岩	—	
4 河床勾配 1/1000	1/600 (0~23km)	1/1200 (10~34km)	1/7500	1/2万	1/2万~1/10万	
5 平均粒径 d ₅₀ , mm	2 (2~5 mm)	2 (1~4 mm)	1 (0.4~4 mm) (0~27mm)	0.1 (0~30μ) (0.03~60μ)	0.1程度 ほぼ均一	
6 10%, 90%粒径 d ₁₀ , d ₉₀ , mm	d ₁₀ =0.4, d ₉₀ =3~8	d ₁₀ =0.3	—	—	—	
7 低水路幅 B, m	200~350	300~500	300	300	—	
8 平均年最大流量 Q _{max} , m ³ /s	940	(1920/15.35~45) (1200/15.46~55)	—	2550	—	
9 低水路調ばい流量 Q _{reg} , m ³ /s	—	—	6800	1500	—	
10 川幅・水深比 B/h _{max}	100~400	50~150 (1800%)	40~60	60	—	
11 横断形状	単断面	単断面	複断面	複断面	単断面	
12 比流出土砂量 q _{sed} , t/km ² /年	1000 (三成ダム)	1150	200	200	—	
13 中規模河床形態	うろこ型	うろこ型	単列	単列	—	
14 水衡部位置の安定性	不安定	不安定→安定	安定	安定	—	
15 河床低下の位置	10kmより上流	10~34km	特定部に著しい	特定部に著しい	—	

ならびにその粒度構成および出水規模によって、河床変動に特色が生じる区間である。ここでとりあげる中間地砂河川は、扇状地フロントの下流部で底質が砂利から砂へ、急変あるいは暫変する区間であり、河床勾配が徐々に変化し、それが一定となる下流の緩流砂河川に至るまでの河道を指す。

中間地砂河川の例としては、常願寺川・九頭竜川・赤川・木曽川・阿武隈川のそれぞれの下流部などがある。一般に、中間地砂河川は若干長い時間尺度でみると、個々の河川では変化が大きい河道区間であり、上流の扇状地の発達過程の現象の影響を直接受ける。たとえば、常願寺川と木曽川の中間地砂河道部には明確な相違点がある。それは河道としての連続性（上下流部のなじみ具合）において顕著に現われる。常願寺川の扇状地の発達の上流山岳部の大崩壊と関係があり、歴史が浅く現在なお活性的である。一方木曽川では扇状地発達の歴史が若干長く、河道の連続性が常願寺川の場合より円滑である。常願寺川では、大きな出水の減水期（約100%）にフロントの直下流部において、高水敷部の大きな侵食（1夜に70m）と、河道部の大規模な砂州の変化とを経験したが、同じ条件の下では木曽川においては同規模の現象は生じないものと考えられる。中間地砂河川における河相変化は扇状地の河相変化と密接な関係がある。したがって、常願寺川と黒部川の扇状地の相違点を明らかにするなど、扇状地河川の特性を先に明らかにすることが必要である。

8. 急流砂河川における河相変化の特性

土砂の生産地に近い河道では、河床構成材料は頻繁に変化する。一般に、河床の上昇過程では、底質の細粒化と均質化、横断面形の平坦化、縦断勾配の直線化などが段階的に急激に促進され、低下過程ではこれと反対の現象が徐々に生じる。前者は土砂生産量と密接な関係にある。昭和57年8月の出水で、富士川支川早川の稲又谷川では高さ10m以上の砂防ダム3基を埋めつくし、粒径0.5~2.0mmの砂で構成された平坦で勾配一定の河道が出現した。このような河道は、新らたな大量の土砂生産がない限り、その後の出水で徐々に河床低下を伴いながら変化してゆくものと考えられる。

9. 結 論

資料は不十分にして、かつ議論も十分でないが、今後の発展のため次のまとめを行う。

- a. 砂河川の河相変化の特徴は、アーミング現象がなく、砂が浮遊型式で大量に動き易いため、河道の縦断的なバランスが崩れたときの河床変動が激しいことである。特に、長雨型大洪水に留意する必要がある。
- b. 砂河川の現象を考察するためには、河道の適切な分類が重要である。本論文においては、a 全川の砂河川、b 緩流砂河川、c 中間地砂河川、d 急流砂河川に分類した。また、それぞれのカテゴリーの特徴を示した。
- c. 砂河川における現象を、各カテゴリー毎に実例に基づいて考察を行い、その特徴を比較した。また、各カテゴリーに属する河川の間における相違点についても考察を行い、その原因について推定を行った。これらの特徴は、各種の原因に基づく河相変化に反映されている。
- d. 経験工学の発展のために分類が重要である。これは河道の計画や対策の策定上の基本事項である。

〔参考文献〕

- 1) 須賀堯三：最近の河相変化とその特性、土木学会水理委、水工シリーズ、1983。
- 2) 河川局・土研：局所洗掘に関する研究、一河相の変化に伴う河岸の侵食対策、第36回建設省技術研究会1982。
- 3) 黒木・岸：石狩川の抵抗特性と河床波形状の変化、第27回水講演文集、1983。
- 4) 高木・牧野・竹本・森田：石狩川下流部における洪水流と河床変動の観測、第26回水講演文集、1982。