

複断面蛇行河道における洪水流況と土砂輸送

Flood Flow and Sediment Transport in Meandering Channel
with Compound Cross-Section

宇民 正*・上野 鉄男*

By Tadashi UTAMI and Tetsuo UENO

The aerial photographs of the flood flow of the Tone river on Sept. 18, 1972 were analyzed to obtain velocity vectors. The main river course in the analyzed area is meandering with the wavelength 7-8 km and wide flood plain exists on either side of the channel.

Sediment deposition on the flood plain and bank erosion were discussed in connection with the hydraulic characteristics of the flood flow like the absolute velocity, the streamline patterns, the vorticity and the two-dimensional divergence which were calculated by using the obtained velocity vectors.

Keywords: aerial photograph, image processing, flood plain, sediment deposition

1. はじめに

わが国では、河川の間地域およびデルタ地域において複断面形状が採用されることが多い。とりわけ、低水路河道が蛇行している場所では、その複雑な境界条件のために、二次流や剥離に伴う大規模渦などが生じ、高水敷における土砂堆積¹⁾や低水路河岸の局所洗掘などが生じやすく、高水敷の治水上の環境や都市の余裕空間としての環境が阻害される。これらの問題に対応する上で、複断面蛇行河道における洪水流の実態を把握することが重要である。本研究では、典型的な蛇行複断面河道を呈する利根川の 65~69 km地点の洪水流況を洪水流航空写真の画像解析の手法によって把握し、それと高水敷およびその周辺における洗掘・堆積現象との関連を検討した。

2. 高水敷およびその周辺における堆積と洗掘

利根川の 56km から 71km にかけての約 15km の区間では、低水路河道が波長 7~8km で蛇行しており、この付近の低水路幅は 250~300m となっている。また、解析対象地域(約 65~69km 断面)では河川の幅が大きなところで 1300m にまで達しており、堤外には広大な高水敷があって、ゴルフ場や大利根飛行場として利用されている。

当該地域での高水敷の標高を図-1に示す。図の格子間隔は 200m である。本図で、標高の高いところほど濃い陰影が施されているが、破線で囲んで示されるような2種の典型的な高水敷周辺の堆積形態が認められる。一つは、68.3km 断面から 65.4km 断面に至るまでおよそ 500m の幅にわたって広範に分布している堆積で、主流路変曲点の直下流の河岸に沿って最大堆積厚さ約 3.5m に達する畝状の高まりを形成し、そこから下流に向けて徐々に減少している。

* 正会員 工博 京都大学防災研究所助手 宇治川水理実験所
(〒612 京都市伏見区横大路下三栖東ノ口)

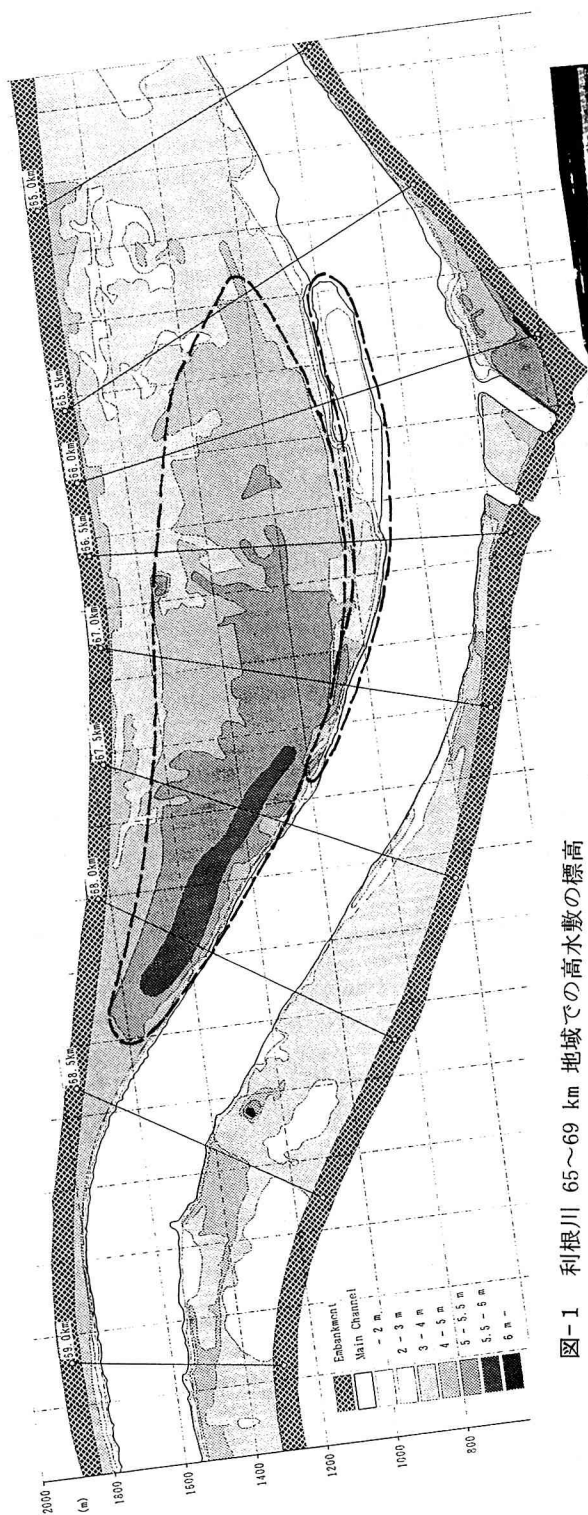


図-1 利根川 65～69 km 地域での高水数の標高

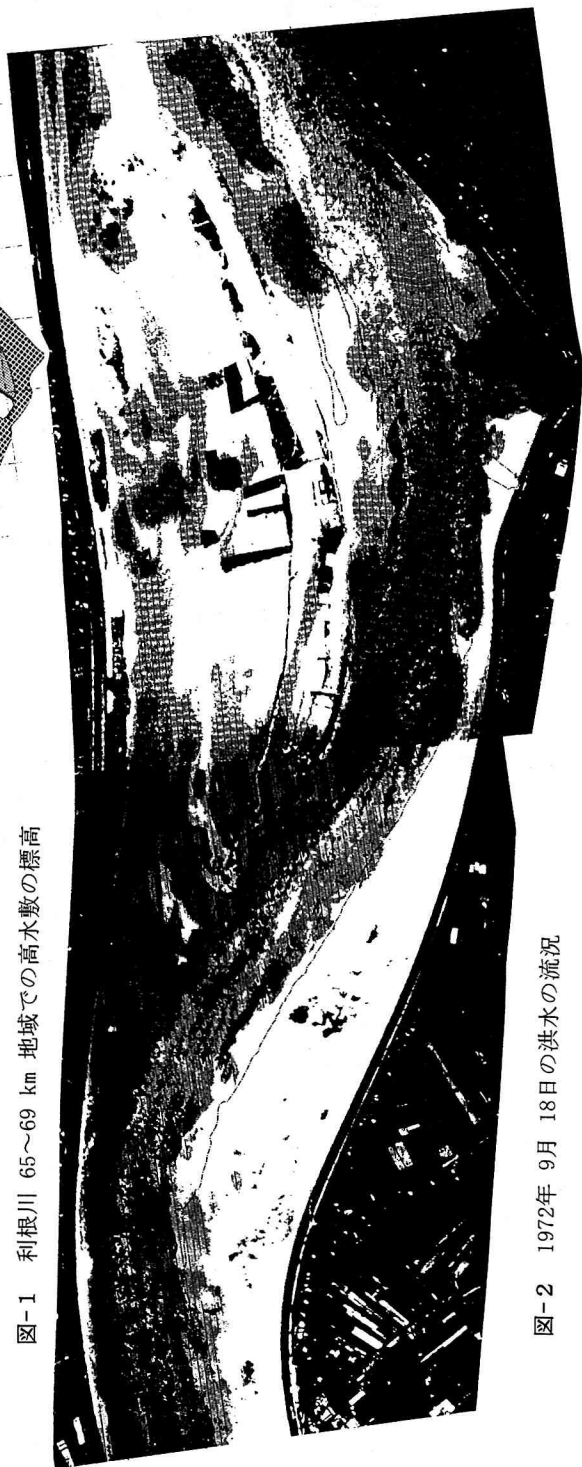


図-2 1972年 9月 18日の洪水の流況

第二の堆積形態は、高水敷凸岸に接する低水路内での堆積で、67.3km 断面あたりから下流に向かって長く発達しているものである。後者の堆積の範囲は前者に比べると小さいが、堆積厚さは、それが低水路内に発達していることを勘案すると、最大厚さが 6～7m にも達すると考えられる。この堆積は、木下^{2, 3)}が天塩川のトレンチ調査で見いだしたスクロールバーを形成する核に相当するものであろう。

一方、1972 年、1973年、ならびに 1992 年の河川横断図（0.5km ごとに作成）から、河床の深掘れが著しいところを示すと表-1 の様になる。表の深さは海面下の標高を示している。深掘れは大きな場合には海面下 10m 近くに達している。また、断面によっては 19年間に深掘れが 3m 近く進行している。

表-1 低水路の河床深掘れの著しいところとそこでの最低河床標高（海面下）

断面位置	1972年2月	1973年2月	1992年1月
63.0 km	左岸 2.75m	左岸 6.94m	左岸 9.87m
63.5 km	左岸 3.31m	左岸 3.32m	左岸 5.08m
64.0 km	左岸 2.63m	左岸 2.52m	右岸 4.46m
64.5 km	右岸 2.71m	右岸 2.92m	右岸 4.31m
65.0 km	右岸 3.02m	—	右岸 4.35m
65.5 km	右岸 3.64m	右岸 3.38m	右岸 4.46m
66.0 km	右岸 3.64m	右岸 3.45m	右岸 6.18m
66.5 km	右岸 2.92m	右岸 2.38m	左岸 6.51m
67.0 km	—	—	左岸 3.76m
67.5 km	左岸 2.66m	左岸 3.08m	左岸 4.07m
68.0 km	左岸 3.18m	左岸 4.58m	左岸 5.30m
68.5 km	左岸 4.07m	左岸 4.07m	左岸 4.97m
69.0 km	左岸 1.77m	左岸 2.63m	左岸 2.85m

図-2 に 1972 年 9 月 18 日の洪水の当該地域周辺の流況を示す。流れは両堤防間をほぼ全面にわたって左から右へ向かって流れている。図中の鎖線は平水時の水際線を描いたものであるが、大局的には低水路法線を示すと考えられる。68.5～67.5km 断面区間では低水路湾曲部外岸の濁度の高い流れが左岸側高水敷に乗り上げている。67km 断面より下流の低水路の左・右岸では直径 100 ～ 200m の大規模な渦が発生している。写真に見られる洪水流は高水敷にのっているとはいえ、水位はそれほど高くなく、高水敷水深も比較的小さい流れである。

3. 洪水流航空写真の画像解析の方法と絶対流速分布

上記の解析対象領域を上流側半分と下流側半分とに分けて、それぞれについて僅かな時間差で撮影された 2 枚の航空写真を用いて解析した。これらの都合 4 枚の写真を 100ミロンの間隔で数値化した。流速ベクトルの計算は多段階相互関係法^{4, 5)}によった。得られた流速ベクトルの絶対流速の分布を 図-3 に示す。図中の一点鎖線は平水時の水際線を示している。図より、低水路内では流速が 2.5 m/sec を越えるところがあり、左岸側高水敷上においても 0.5 ～ 1.0m/sec の流れが所々で生じていることがわかる。また、低水路内では 68.5km～67km 断面区間ならびに 66km～65km 断面区間で、高速部が低水路河岸あるいは堤防に接近している。このような流れが河床の深掘れや低水路河岸の洗堀と関連していると考えられる。

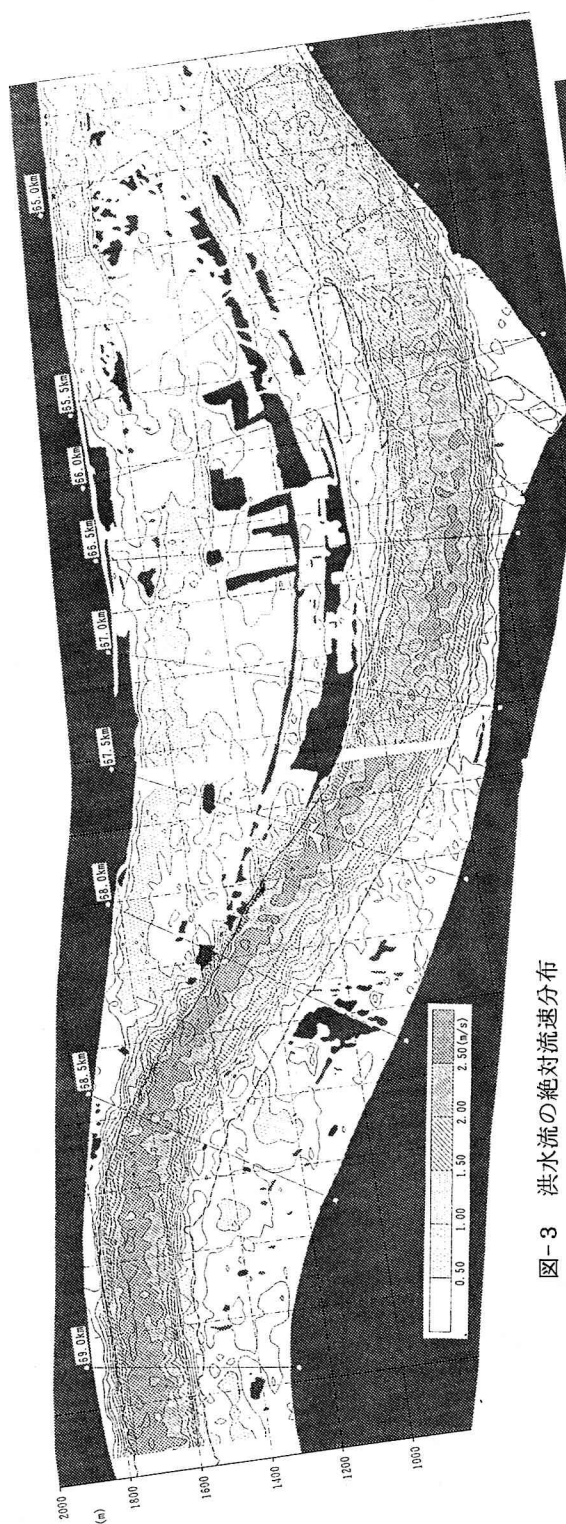


図-3 洪水流の絶対流速分布

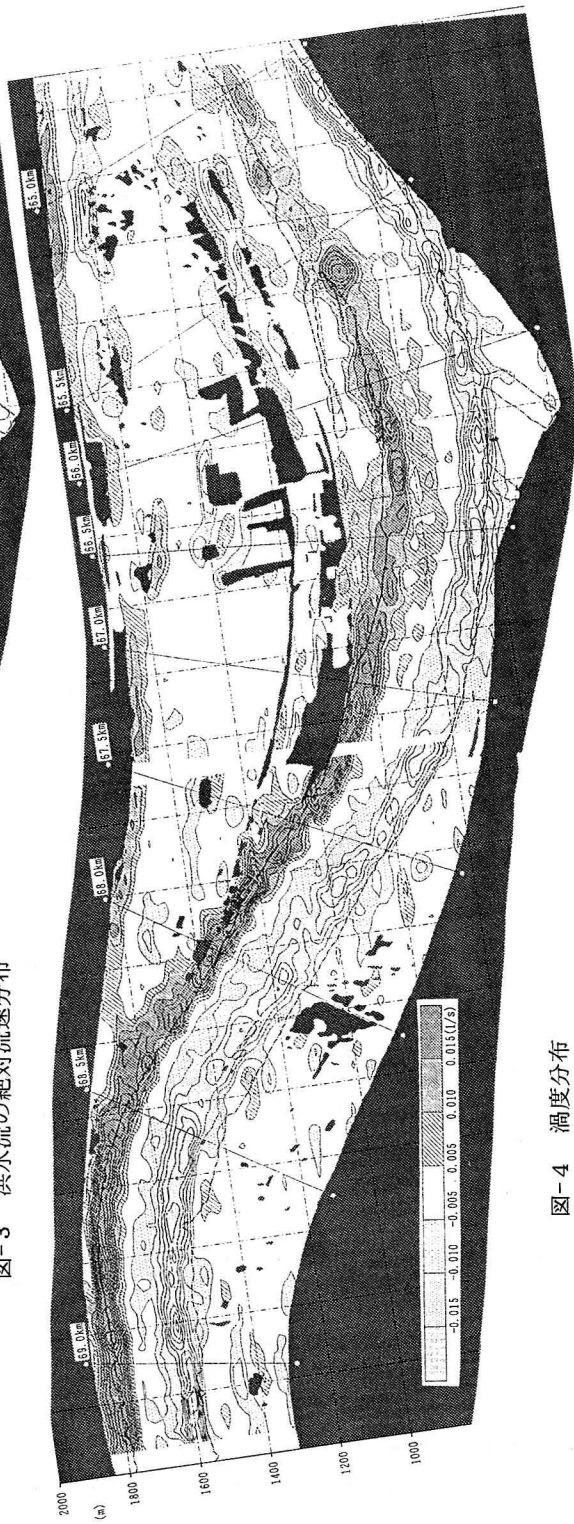


図-4 渦度分布

4. 渦度と大規模渦

渦度の分布を図-4に示す。本図より、左岸および右岸の低水路の護岸周辺に、それぞれ正および負の渦度の絶対値の大きい領域が島状に分布し、それらが流下方向に連なっていることがわかる。本図と図-2とを重ね合わせてみると、渦度の絶対値の大きい領域は大規模渦と一致することがわかる。

また、低水路の凸岸では渦度の絶対値の大きな領域が低水路河岸から剥離し、低水路内に入り込んでいることが注目される。

5. 流線

得られた流速ベクトルから計算された流線を図-5に示す。概略的には低水路内の流線はほぼ低水路に沿っていると言えるが、68.5km～67.5km 断面区間では流線は左岸側高水敷に乗り上げており、低水路の高濃度の浮遊土砂を高水敷に搬入していると考えられる。また、66km～65km 断面区間では流れは低水路河岸に向かっており、河岸の深掘れに関連していると考えられる。さらに、2、3の箇所では渦運動を表す流線も認められるが、それらの位置と航空写真に現れている渦の模様の位置とは必ずしも一致していない。

そこで、図-4の渦度分布の低水路凸岸に面する極大値の位置の周辺の局所的な平均流速を求め、これらの点を通る横断線上の各点の流速ベクトルから上記の局所的な平均流速を差し引くことによって、各位置の流下方向ならびに横断方向の流速成分を求め、それらを用いて流線を描くと図-6が得られた。本図は、平均的な流速で移動する系からみた流線パターンを示しているといえる。本図の渦のパターンは渦度の高い領域とほぼ重なっており、図-2に現われている航空写真の渦模様ともよく一致していることがわかる。低水路の凸岸近傍ではこのような大規模渦列が次々に流下しているものと考えられる。

注目すべきは、このようにして計算の上で可視化された大規模渦列が、いずれも低水路の凸岸から若干剥離した位置で発生していることである。このような渦によって、低水路凸岸近くでは流速が遅くなり、さらにこれら渦によって低水路内の高濃度の浮遊砂を含む流れが低速部に取り込まれるため、そこで堆積が進行することになる。先に述べた第二種の堆積形態はこのようなメカニズムにより形成されることが考えられる。

6. 二次元発散・加速率と河床洗掘・土砂堆積

二次元発散の分布を図-7に示す。先に 65～66km 断面の範囲で、右岸側低水路河岸に向かう流れがあることを指摘したが、上記の範囲では二次元発散は概ね負で絶対値が大きくなっている。したがって、河床の深掘れ箇所では流速の大きい流れが河岸に向って接近しながら沈み込むような流況が生じていると言える。そこで、図-9に $-(\text{流速の絶対値}) \times (\text{二次元発散})$ の正值の分布のみを示した。この値が大ききところで河床の洗掘も概して大きくなっていることが認められる。

次に、流線方向(s)の絶対流速(q)の増加率 $\partial q / \partial s$ を加速率と呼称することとし、その分布を図-8に示した。高水敷の上では、この値が負でその絶対値が大きな場合、流れは流下方向に減速していることを意味するので、土砂堆積域に相当すると言えよう。図で 67.5～68.5km 断面の左岸側高水敷でこの値がとくに大きくなっており、その位置が図-1における河畔堆積の顕著な領域とほぼ一致している。

7. おわりに

複断面河道の治水機能と高水敷の環境問題を検討するため、複断面蛇行流れを呈する利根川の 65～69 km 断面域における 1972 年 9 月の洪水の航空写真を画像解析し、洪水流況の実態とそれと低水路河床洗掘・高水敷上土砂堆積との関連を検討した。

本研究を行うにあたり元自由学園の木下良作博士ならびに建設省関東地方建設局利根川下流工事事務所から貴重な資料を賜った。深甚の謝意を表する次第です。

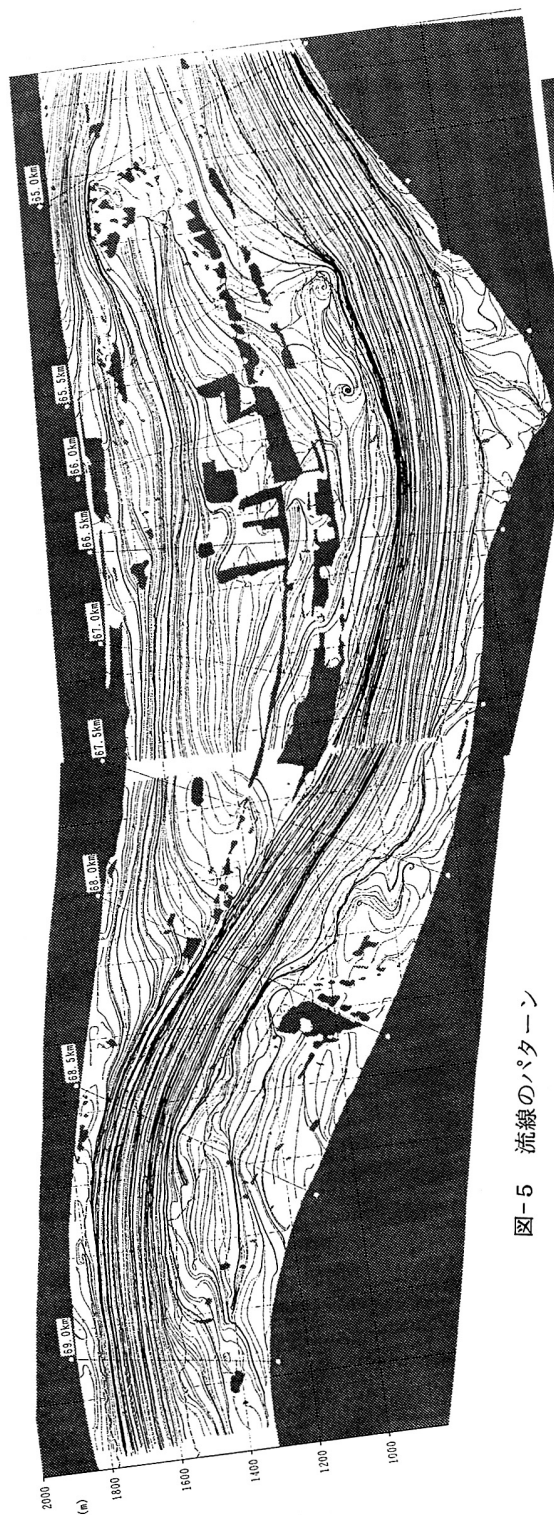


図-5 流線のパターン

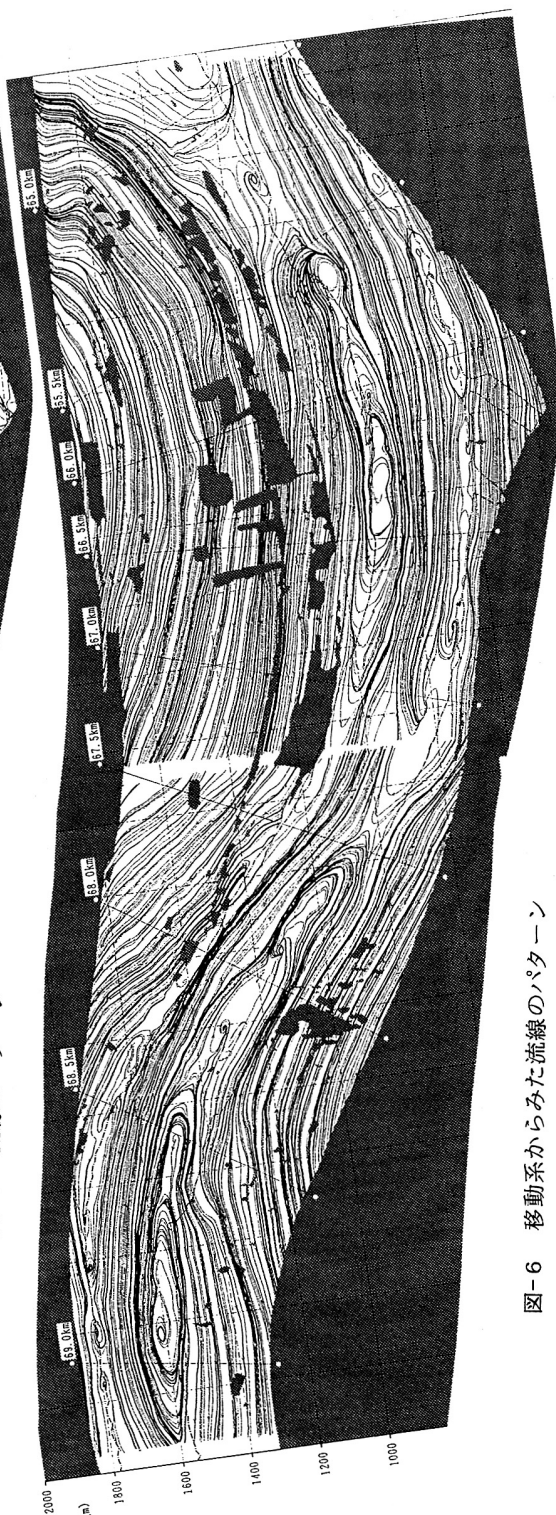


図-6 移動系からみた流線のパターン

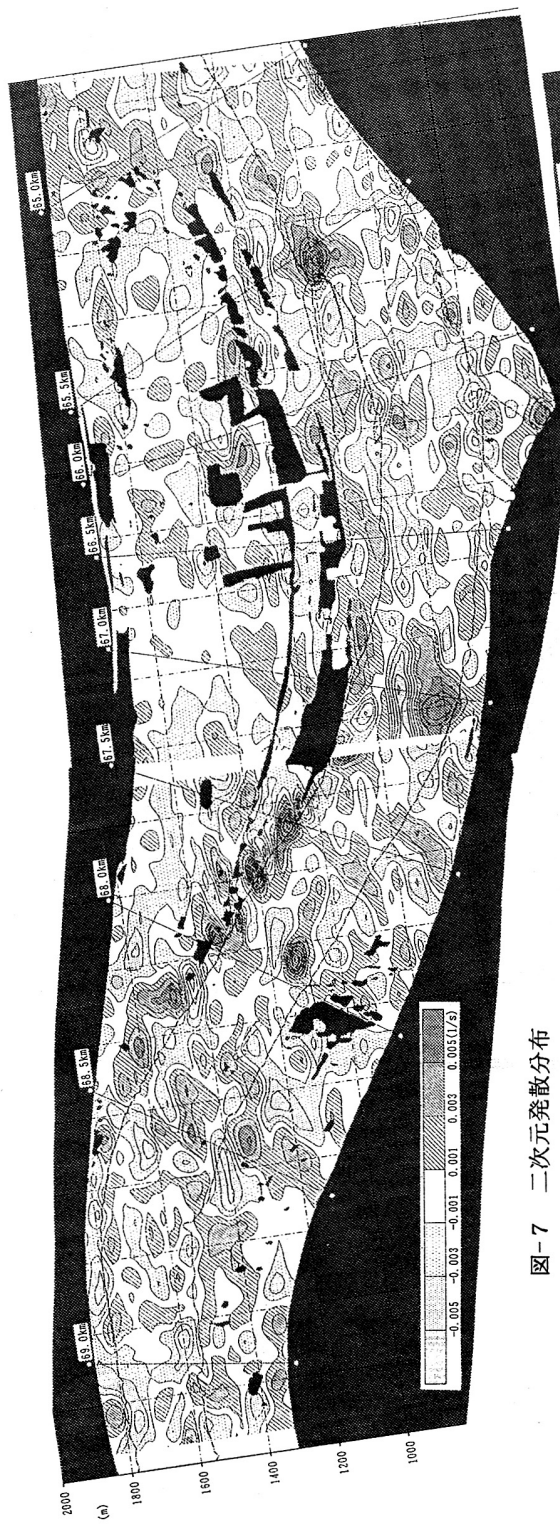


図-7 二次元発散分布

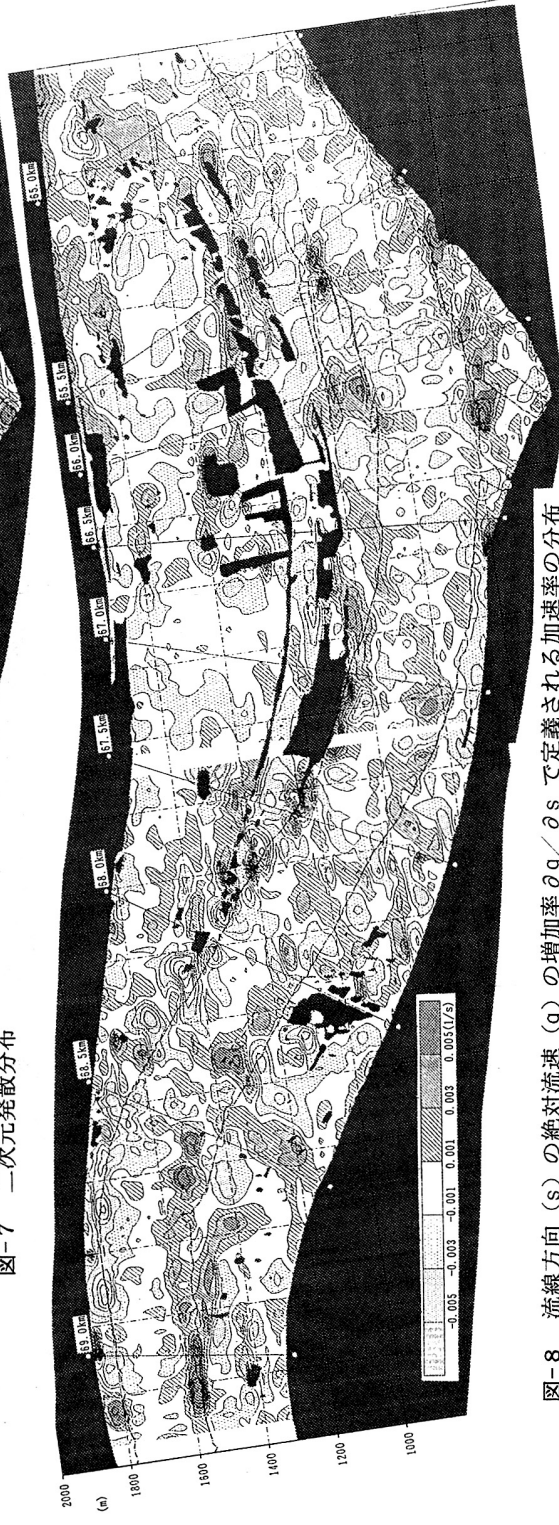


図-8 流線方向 (s) の絶対流速 (q) の増加率 $\partial q / \partial s$ で定義される加速率の分布

参考文献

- 1) 木下良作：昭和56年8月洪水による石狩川高水敷堆積調査，石狩川開発建設部，1983，538－594.
- 2) 木下良作：航空写真による洪水流解析の現状と今後の課題，土木学会論文報告集，第345号／Ⅱ-1，1984，pp. 1－19.
- 3) 木下良作：洪水時の沖積作用調査と適正複断面河道に関する実験的研究，沖積河川における洪水流の制御と治水安全度の向上に関する研究，文部省科学研究費自然災害特別研究（岸力代表）報告書，1988，pp. 55－68.
- 4) 木下良作・宇民正・上野鉄男：洪水流航空写真の画像解析，写真測量とリモートセンシング，Vol. 29, No. 6, 1990，pp. 4－17.
- 5) 宇民正・上野鉄男：写真画像処理による洪水流解析，土木学会論文報告集，No. 503／Ⅱ-29，1994，pp. 1－17.

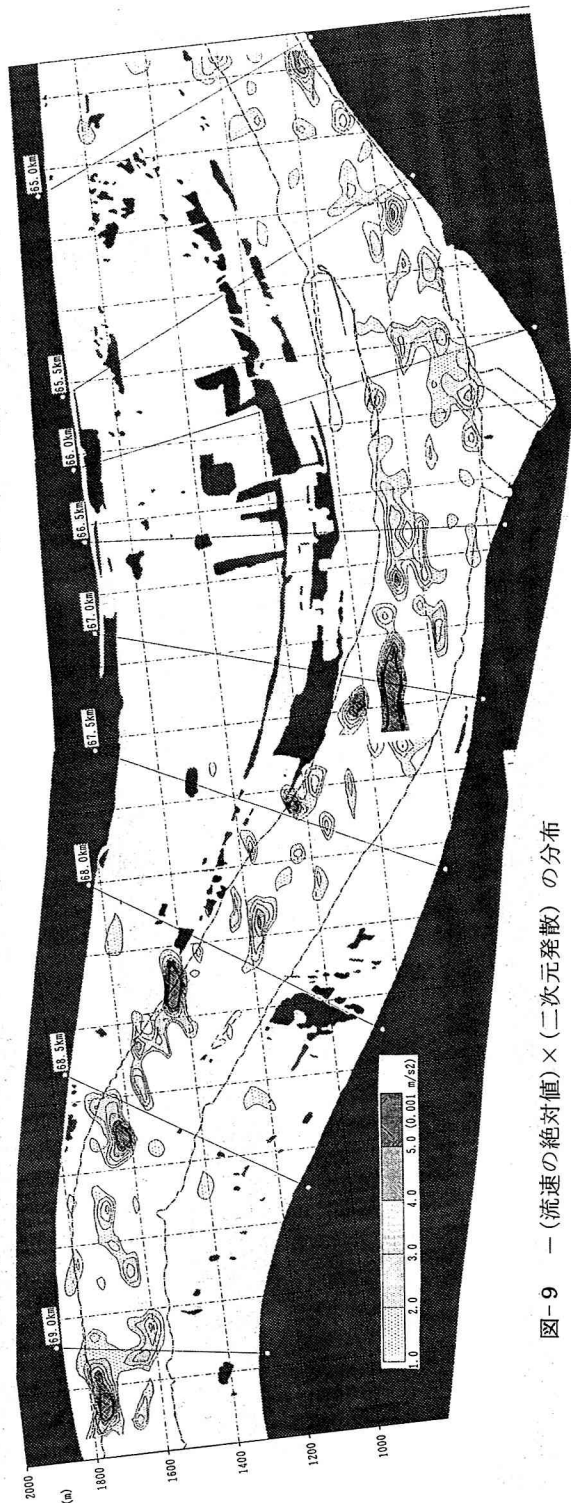


図-9 (流速の絶対値) × (二次元発散) の分布