

網走川河口部の土砂堆積現象

DELTAIC PROCESSES AT THE RIVER MOUTH OF THE ABASHIRI RIVER

伊達政直¹・泉 典洋²・田中 仁³

Masanao DATE, Norihiro IZUMI and Hitoshi TANAKA

¹学生会員 東北大学大学院工学研究科土木工学専攻 (〒980-77 宮城県仙台市青葉区青葉)

²正会員 Ph.D. 東北大学助教授 大学院工学研究科土木工学専攻 (同上)

³正会員 工博 東北大学教授 大学院工学研究科土木工学専攻 (同上)

An elongate delta similar to the Mississippi Delta can be seen at the river mouth of the Abashiri River, which flows into Lake Abashiri where the effect of waves is negligibly small so that the riverine process is dominant. Field observation was performed in order to investigate the deltaic processes of the Abashiri River. It is found that the subaqueous levees are formed on both sides of the jet axis, the formation of which can be explained by the theoretical model of the inceptive topography of river mouth bars presented by the authors. It is concluded that the subaqueous levees are formed under the condition of fine bed material, the negligible wave effect and dense vegetation, and that the development of subaqueous levees results in the formation of elongate deltas.

Key Words : elongate delta, subaqueous levee, Lake Abashiri, bedload, suspended load

1. はじめに

河口部に堆積した土砂は河口テラスを形成し、さらに堆積が進むと河口デルタへと発達していく。テラスやデルタといった河口部の土砂堆積現象は、地質学・地形学上の興味深い問題というだけでなく、洪水疎通能力や近隣海岸への土砂供給という観点から工学的にも重要な問題である。河川流や波浪等の外力条件だけでなく気象や植生等も含めた自然環境によって様々な形態の河口デルタが形成されるが、その形成プロセス及び形態を決定する要因については未だに不明な点が多い。

伊達、泉、田中¹⁾は河口テラスの初期堆積形状に関するÖzsoy²⁾の理論をベースに、より合理的な河口堆積モデルを開発し、外力として河川流が支配的な河口テラスの初期堆積形状の特徴を明らかにした。それによると浮遊砂が卓越する場合、流軸の両側に堆積が生じ、掃流砂が卓越する場合、流軸上に堆積が生じることがわかっている。彼等はさらにこの結果から、浮遊砂が卓越する場合、ミシシッピ川に代表されるような鳥趾状デルタが形成され、掃流砂が卓越する場合、円弧状をしたファンデルタが形成されると推論している。

本論文では波の影響が少なく鳥趾状デルタの発達が認められる網走川河口部を対象に空中写真の分析や現地観測の結果と河口堆積モデルによって得られる結果とを比較検討することによって、鳥趾状デルタが発達

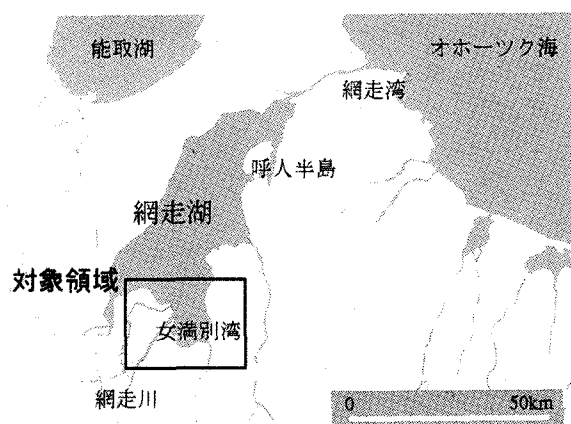


図-1 網走川下流部の概要。

する河口部の土砂堆積現象の特性を明らかにする。

2. 網走川下流部の概要

本論文で対象としているのは網走川が網走湖に流入する地点の土砂堆積現象である。したがって以降河口部といえば網走川が網走湖に流入する地点を指すものとする。網走川下流部の概要を図-1に示す。図中対象領域と記されているのが網走川河口部である。

網走川下流部に位置する網走湖は、湖面積 32.3 km²,

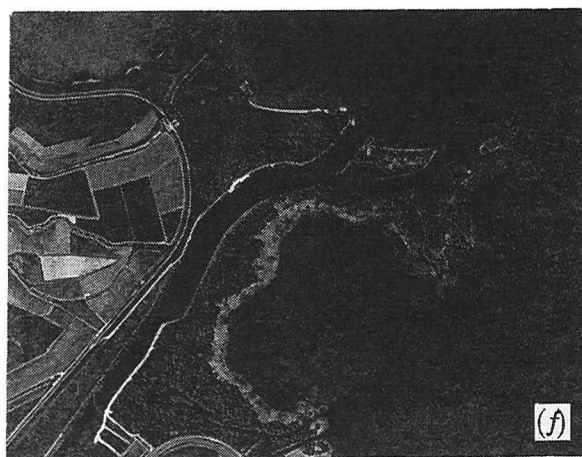
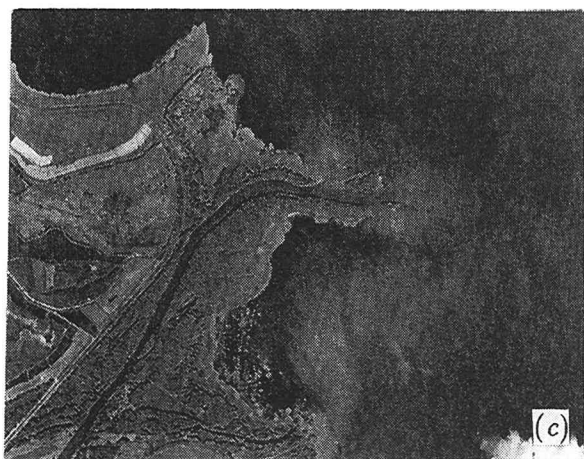
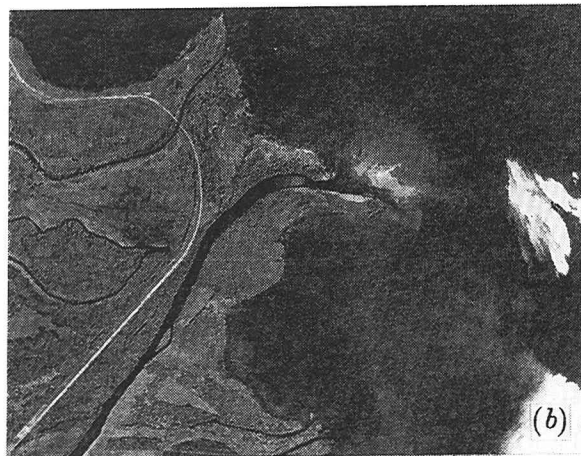
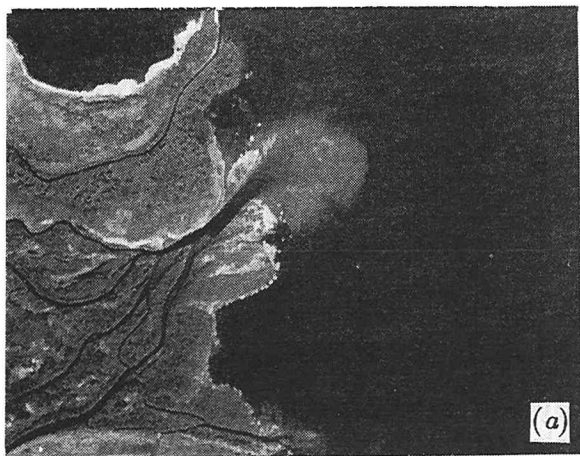


図-2 網走川における河口デルタ地形の変遷; (a) 1947 年 (アメリカ軍撮影, 日本地図センター発行の空中写真より転載), (b) 1965 年, (c) 1971 年, (d) 1977 年, (e) 1986 年, (f) 1992 年 ((b)-(f) は建設省国土地理院撮影, 日本地図センター発行の空中写真より転載).

最大水深 16.1 m, 平均水深 6.1 m の汽水湖である。湖南端に流入した網走川は湖北端から 5 km 余の短い河道を介してオホーツク海に注いでいる。汽水湖である網走湖にはオホーツク海から塩水が流入するが、塩水は水深 5 m 以浅には達しないことがわかっている³⁾。網

走川が網走湖に流入する女満別湾付近は 3 m 以下の浅い水域であり、河口部の土砂堆積現象に対する塩水の影響はないものと考えられる。また同時にここでは外洋に比べ波や潮流の影響が少なく、河川流の影響が卓越すると考えられる。

網走湖の周囲には屈斜路カルデラ形成期の大量の火砕流堆積物及びその二次堆積物がつくる台地が広がっており、湖底の堆積上部はヘドロ及び粘土によって形成されている。土砂輸送による湖の埋積はデルタの前進とともに現在も活発に行われており、これによって女満別湾が閉鎖的水域となり周辺環境へ悪影響を及ぼすことが懸念されている。

3. 河口デルタ地形の変遷

(1) 空中写真による河口デルタ地形の変遷

網走川における河口デルタ地形の変遷の様子を図-2に示す。図-2(a)は1947年当時の写真である。三つの河口が見られるが写真中央に見られるのが網走川本川の河口部である。河口周辺に見られる白い部分は土砂の堆積によって出来た浅瀬であると推定され、活発な土砂堆積が行われている様子がうかがわれる。しかし未だ顕著な鳥趾状デルタは見られない。図-2(b)は1965年の様子である。流軸の両側に堆積させた土砂によって河岸を形成しながら前方に伸びて行く様子がわかる。特に右岸部の河岸の発達著しく、既に先端部にまで植生の繁茂が認められる。一方左岸側にも活発な土砂堆積が認められるものの未だ安定な河岸とはなっていない。その左岸部も1971年(図-2(c))には植生の繁茂する安定な河岸部へと発達している。また左岸部に小さな分岐流路が形成され、本川河口部の流軸上には小さな堆積が生じ始めているのがわかる。この小さな堆積は1977年(図-2(d))にはさらに大きな堆積へと発達し、本川河口部を二つに分岐させてしまった。図-2(e)は1986年の様子である。分岐した流路はさらに分岐を繰り返し、いくつもの小さな河口部を形成している。このように河口部が細かく分岐してしまうと流水の疎通能力が減少する。そこで平成2年河道の掘削が行われ図-2(f)(1992年)のようになった。現在はほぼこの形状を維持している。

(2) デルタ地形の発達と植生

図-3は図-2(f)における、後述する実測地点付近の様子である。図によれば2~4mの植生が水際まで密に繁茂している様子がうかがわれる。また水中においても、水深程度の丈の水草が堆積によって浅くなった領域に生育している様子が認められた。植生は底面剪断力を減少させ横断方向の物質交換を増加させることによって、侵食されにくく堆積しやすい環境を形作る。水草によってさらなる土砂堆積が促進され、浅瀬は陸地へと変化していく。陸化した領域には草や樹木が繁茂し、より高く安定な河岸が形成される。そしてこの河岸部が前方に伸びていくことによってデルタは成長

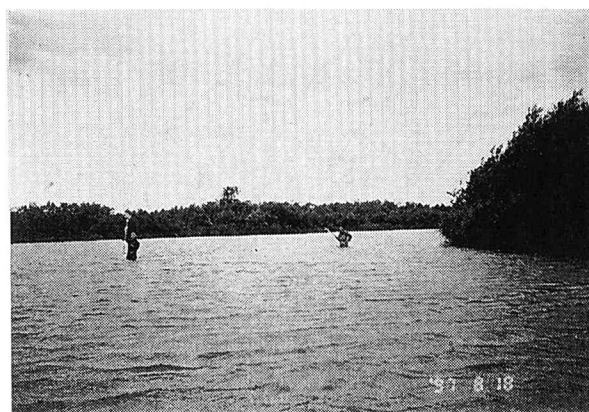


図-3 網走川河口部における植生の繁茂状況(実測地点付近を著者らが撮影)。

していく。また図-2(c)及び(d)で見られたように、河口前面に生じた堆積も植生によって安定なものとなり、流路の分岐を促している。このように網走川河口部における鳥趾状デルタの形成過程において、植生は重要な役割を演じていることが推測される。

4. 河口テラス形状

河口デルタが形成される過程では河口テラスが形成される。したがってテラス地形を把握することはデルタ形成のメカニズムを明らかにする上で重要である。以下に1997年8月に行われた網走川河口堆積形状に関する現地観測の結果を述べる。

(1) 観測方法

現在河口部は図-2(f)に示すように主に2本に分岐しているが、より土砂供給能が高いと思われる西側の河口部について現地観測を行った。測定領域は河口部中央を中心に流下方向に約300m、横断方向に約200mの範囲であり、光波測距機能付トランシット及びスタッフを用いて底面形状を測定した。また底面形状の変化が顕著な点及び底質の著しい変化が認められる点において底質採取を行い、粒度分析を行った。

(2) 観測結果

図-4(a)及び(b)は、それぞれ観測により得られた底面形状のコンタ及び表層グラフである。コンタ上の数値は水深を表す。網走川は河口部近傍で左方向に湾曲している。このため河口部においては右岸から20m程度のところまでが2m以上の最深部となっており、それより左岸側は1m以下の浅瀬となっている。湾曲と最深部の偏寄によって流軸も右岸より10m程度のところに偏寄している。流軸の両側には自然堤防のような堆積

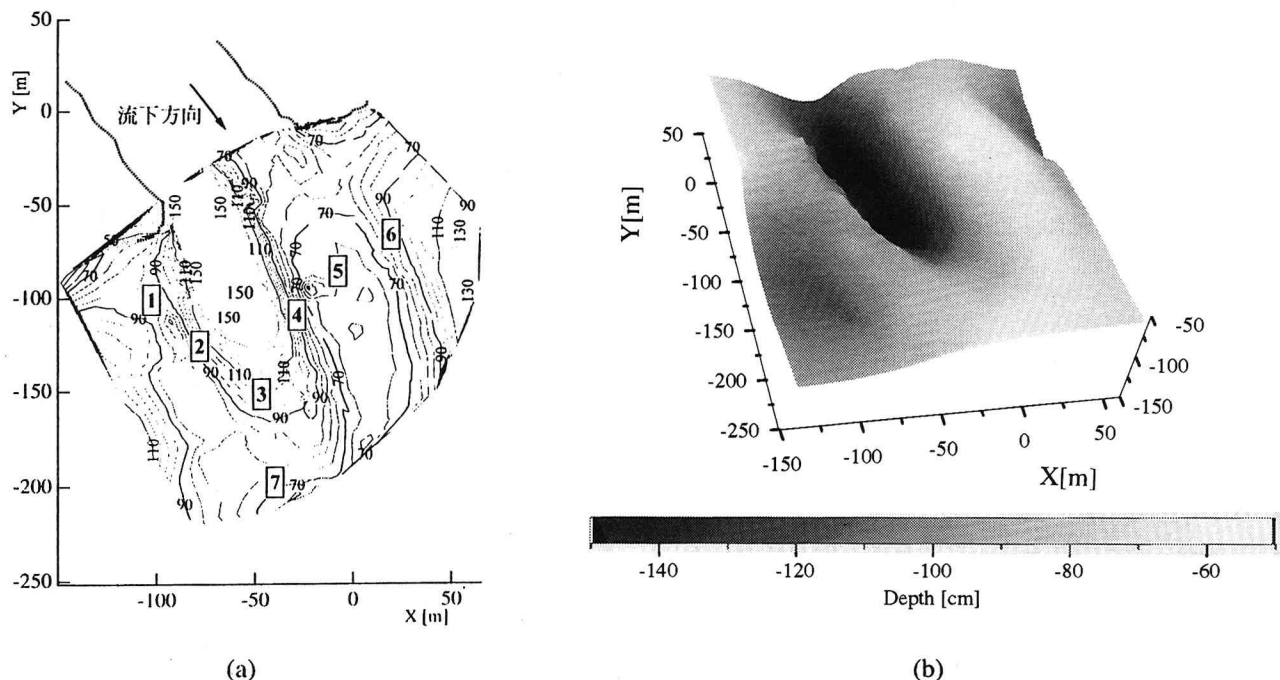


図-4 網走川河口テラス地形の実測結果; (a) コンタ, (b) 表層グラフ.

が生じている様子がうかがわれるが、これは地質学・地形学の分野で subaquious levee と呼ばれる堆積地形であり、これが発達して水面上に現れると subaerial levee と呼ばれる堆積地形となる⁴⁾。また流軸方向遠方にも若干の堆積が見られ、これによって subaquious levees は U 字型の形状を呈している。なお実測を行った昼間は湖水面の変動はほとんど見られず、潮位補正等の処理は行っていない。

採取した底質の 50% 粒径を表-1 に示す。図-5 はその粒径加積曲線である。また表-1 及び図-5 中の番号は図-4(a) 中の四角の中の番号に対応し、底質を採取した場所を表す。図に示すように網走川河口部における砂の粒径は場所によって大きく異なる。流軸の両側の subaquious levees を構成する 1, 2, 4 の地点の砂は非常に粒径が小さいのに対し、流軸上 3 の地点では粒径が大きい。また流軸上さらに遠方の 7 では 3 よりも粒径が小さくなっている。

5. 考察

(1) 河口テラス初期形状の理論

伊達ら¹⁾は河川流が卓越する河口部における掃流砂及び浮遊砂による堆積モデルを提案している。彼らの理論によれば河口テラスの初期堆積形状を決定するパラメータは次の三つである。

$$I = i_0 H_0^{1/3} / (n^2 g^1) \quad (1)$$

$$T_c^* = \tau_{cr}^* R_s D_s / (n^2 U_0^2 H_0^{-1/3}) \quad (2)$$

表-1 網走川河口部で採取された底質の中央粒径 (番号は図-4 中の四角の中の番号を示す)。

採取位置	中央粒径 (mm)
1	0.06
2	0.12
3	0.78
4	0.13
5	0.39
6	0.45
7	0.17

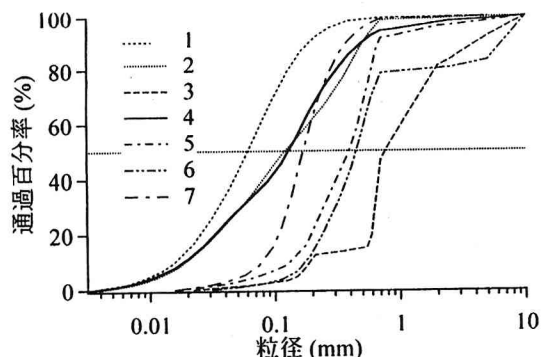


図-5 網走川河口部で採取された底質の粒径加積曲線 (図中の番号は図-4 中の四角の中の番号に対応している)。

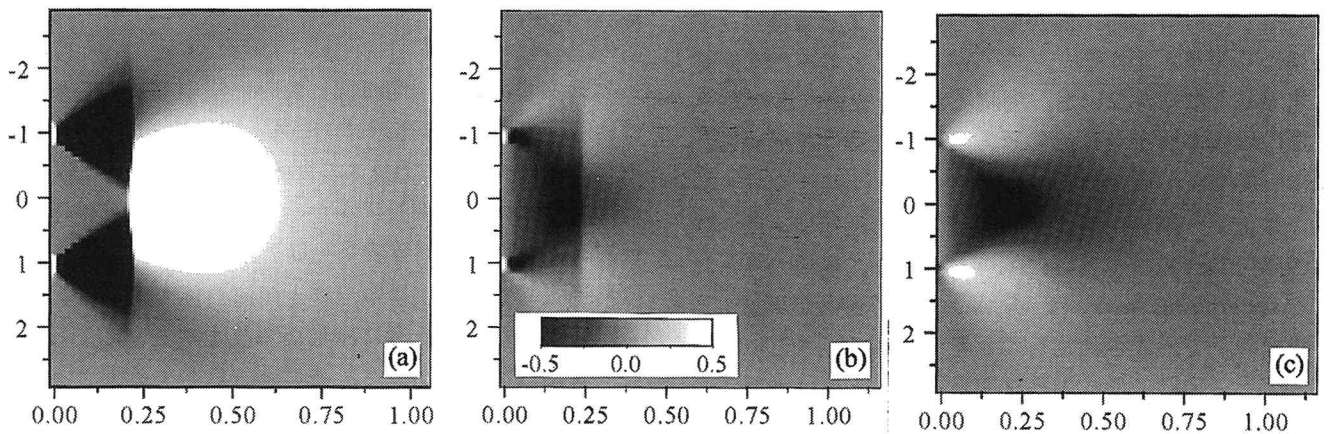


図-6 M_D の変化による堆積形状の変化; (a) $M_D = 0$, (b) $M_D = 10$, (c) $M_D = 1000$ (以上全て $I = 0$, $T_c^* = 0$).

$$M_D = 0.000125 U_0 H_0^{7/6} / (n g^{1/2} w_s D_s) \quad (3)$$

ここで i_0 は海浜域の底面勾配, n はマンニングの粗度係数, U_0 及び H_0 はそれぞれ河口部中央における水深及び流速, τ_{cr}^* は限界シールド数, R_s は砂粒子の水中比重, D_s は粒径, w_s は砂粒子の沈降速度である. I は無次元化された海浜勾配である. T_c^* は限界シールド数と河口中央におけるシールド数との比であり, この値が小さいほど掃流が活発に起こることを意味している. M_D は掃流砂量と浮遊砂量の比を表すパラメータであり, 大きいほど浮遊砂が支配的であることを示している. 理論によれば, 河口テラスの初期堆積形状に対し最も大きな影響を与えるのは M_D であり, 浮遊砂が卓越する (M_D が大きい) 場合, 流軸の両側に自然堤防のような堆積が生じ, 掃流砂が卓越する (M_D が小さい) 場合, 流軸上に堆積が生じる. またこのことから, 河川流が卓越する河口部では, 浮遊砂が支配的である場合ミシシッピ型デルタが発達し, 掃流砂が支配的である場合ファンデルタが発達することが推定される.

図-6に M_D による堆積形状の変化を示す. 図はコンターを表しており, 明るい所ほど多くの堆積が, 暗い所ほど侵食が生じている. また左端中央が河口部中央を表し, 流れは右方向である. 図の作成にあたって I 及び T_c^* の値は次の様に決定した. 網走川河口部の勾配は非常に緩やかである. このことから $I = 0$ を用いている. また河口付近の堆積土砂は荒いところでも 1 mm 以下の中央粒径を有しており, 限界掃流力は十分小さいとみなすことが出来る. そこで $T_c^* = 0$ を用いている. 図-6は M_D が大きくなるにつれて堆積が流軸上から流軸の両側に移っていく様子を示している.

このモデルは網走川河口のような河川卓越型の河口には十分適用可能であると思われるが, 理論はあくまで初期堆積形状に関するものであり, 現在のテラス形状を定量的に説明することは出来ない. しかし現在のテラス形状は初期堆積形状を反映したものであり, 初

期堆積傾向を知ることはその後の発達過程を知る上で重要な情報となることが期待される. 以下では定性的な考察の一材料として, 理論と実測結果の比較検討を試みる.

(2) 網走川河口テラスの初期堆積地形

網走川河口部の初期堆積形状がどの図に対応しているのかを調べるために M_D の値を見積もってみよう. 河口部が現在の形に整備された平成 2 年以降の年最大の洪水流量は, 平成 4 年に $827 \text{ m}^3/\text{sec}$ を記録した以外は $150 \sim 250 \text{ m}^3/\text{sec}$ となっている. 対象としている西側河口部の川幅は 75 m, 通常断面は 117 m^2 であり, また過去の洪水実績によると $250 \text{ m}^3/\text{sec}$ のピーク流量があるとき網走湖の水位は 0.88 m 上昇していることから, 洪水時における河口部の断面は 183 m^2 程度と推定される. 現在河口は二つあるが, 西側の河口部と東側の河口部の流量の比を 2:1 程度であると推定すると, $250 \text{ m}^3/\text{sec}$ の時の断面平均流速は約 91 cm/sec となる. また水深としては洪水における最深部の水深を 3.88 m と推定した. Manning の粗度係数には 0.03, R_s の値としては 1.65 を用いる. また土砂の粒径としては subaqueous levees を構成している 4 の地点の 50 % 粒径 0.13 mm を用い, 砂の沈降速度の評価には Rubey の式を用いる. このとき $T_c^* = 0.018$, $M_D = 1928$ となり, 初期堆積形状は図-6(c) に近いものとなっているはずである. この図によれば流軸両側に subaqueous levees が形成され, 河口前面に侵食域が現れる様子がわかる. 実測によって観察された網走川河口テラスの場合侵食域前面にも若干の堆積が見られ subaqueous levees は U 字型を呈していたが, それを除けば図-6(c) は実測によって得られた河口テラスの幾何学的特徴と一致している.

また流軸上 3 の地点の 50 % 粒径 0.78 mm を用いると $T_c^* = 0.111$ となり, $M_D = 54$ まで急激に減少する. このとき初期堆積形状は図-6(c) よりも (b) に近いもの

となり、河口前面に僅かながら掃流による堆積が生じ始める様子がわかる。もちろんこのことのみから断定することはできないが、実測によって観察されたU字型の堆積が浮遊と掃流の両方の影響を受けて形成された可能性が示唆される。

以上より網走川河口部のテラス地形は初期堆積形状の幾何学的特徴を良好に保存しており、現地で見られる subaqueous levees は M_D が大きく浮遊砂が卓越する状況の下で形成されたものと考えられる。さらに詳細なテラス地形の形成過程を明らかにするには堆積による水深の変化を考慮に入れた数値解析を行う必要がある。今後の課題である。

(3) 河道の分岐メカニズム

図-2(c)-(d) では subaerial levees をつくりながらまっすぐ前方に伸びていたデルタが突然分岐する様子がうかがわれる。分岐の直接の引き金となったのは (c) に見られる河口部流軸上の小さな堆積である。図-6によれば M_D が小さくなると流軸上に堆積が生じることがわかる。すなわち図-2(c) のような河口部流軸上の堆積を発達させるためには何らかの理由によって M_D の値が減少した可能性がある。 M_D の値は、流速や水深の減少、粒径の増加等によって減少するが、それらがどのようにして起こったのかについて詳細は不明である、今後の課題であろう。

(4) ミシシッピ型デルタの形成要因

網走川河口部では非常に細かい粒径によって subaqueous levees が形成されており、その幾何学的特徴は河口テラス初期堆積形状の理論によってある程度説明が可能であることがわかった。この subaqueous levees が成長することでミシシッピ型のデルタが形成されると考えられる。このことは M_D の値が大きい河口ではミシシッピ型のデルタが形成されることを意味している。ところが網走川河口部程度の M_D の値を持つ河口部は数多く存在するであろうにも関わらず、著者らの知るかぎりミシシッピ型の堆積形状をとる河口部は日本には殆ど存在しない。網走川河口部特有の特徴として、以下の3点が挙げられよう。

- 粒径が非常に小さい。
- 波、潮流等の影響がほとんどない。
- 植生が密に繁茂している。

この3点目についてはミシシッピ型デルタ形成のための一般的な条件であるかどうかについて詳細は不明である。しかし、網走川の河口部の場合に限っては重要な影響を及ぼしていることが観察された。

6. おわりに

本論文では網走川河口部において空中写真の分析を行い鳥趾状デルタの発達プロセスを調べると同時に、現地調査によって河口テラスの堆積形状を調べ、伊達ら¹⁾の提案した河口堆積モデルから得られる結果との比較検討を行った。主たる成果を以下に示す。

- (1) 過去の空中写真より、網走川河口部では流軸の両側に堆積した土砂に植生が繁茂することによって安定な河岸が形成されること、そしてそのような河岸が前方にまっすぐに伸びることによってデルタ地形が発達していくことがわかった。また河道が分岐する過程では、何らかの原因で河口前面の流軸上に堆積が生じ、しかもそれが植生によって安定化していることがわかった。
- (2) 現地観測によって、網走川河口部には細かい粒径の砂によって流軸の両側に subaqueous levees が形成されていること、荒い粒径によって河口前面の流軸上にも堆積が生じていることが明らかになった。
- (3) 伊達ら¹⁾の提案した河口堆積モデルに網走川河口部において推定される値を適用することによって、実測によって観察された subaqueous levees の形成を説明することが可能である。理論によれば subaqueous levees は浮遊によって発生することが明らかとなった。
- (4) 以上のことより次のことが結論づけられる。河川流が卓越し、浮遊砂が支配的な河口部には流軸の両側に subaqueous levees が形成され、それが subaerial levees へと発達し植生によって安定化されることによってミシシッピ型デルタが形成される。

謝辞： 網走川河口部の現地観測に際して北海道開発局網走開発建設部及び北開水工(株)の協力を得た。また本研究に対し、文部省科学研究費の補助があった。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 伊達政直, 泉 典洋, 田中 仁: 掃流砂・浮遊砂の流出に伴う河口テラスの初期堆積機構, 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 591-595, 1997.
- 2) Özsoy, E.: Flow and mass transport in the vicinity of tidal inlets, Technical Report No. TR-036, Coastal and Oceanographic Engineering Laboratory, University of Florida, Gainesville, Fla., 1977.
- 3) 山田 正: 北海道の自然湖沼の塩水化傾向と融雪出水を利用した淡水化工法に関する研究, 平成7年度科学研究費補助金(試験研究(B)(1))研究成果報告書, 1996.
- 4) Davis, R. A., Jr.: *Depositional systems*, Prentice Hall, New Jersey, 1982.

(1997. 9. 30 受付)