展 望

蛇 行 問 題 に つ い て

河 内 伸 夫

1 古くて新しい問題

河川の流路が規則正しく彎曲し、S字を連ねたような形を呈する蛇行現象は古くから注目されてきた。このような地形は国際的には「メアンダー」と呼ばれる。これはトルコの Büyük Menderes 川のラテン名 *maeander* に由来し、ドイツ語の *Mäander* という術語がつづり字においてほぼ忠実にそれに従っている。英語では *meander*、フランス語は *méandre*、ロシア語でも *меандр* と呼ぶ。このように国際的に「メアンダー」という語が定着しているので、日本語でも「メアンダー」の語を使用してさしつかえないと考える。しかしながら英語の *meandering valley* を邦訳する場合、やはり従来用いられてきた「蛇行河谷」の語を使用した方がよいこともある。本論文では熟語や動詞については「蛇行」を、その他は「メアンダー」の語を使用する。

Troll (1954) によれば、河川や河谷における蛇行現象はすでに、レオナルド・ダ・ヴィンチやゲーテ、カントなどによって観察されているという。とくにルネッサンスの天才ダ・ヴィンチは、メアンダーが河川それ自身の仕事の結果できたものであることを看破した (Baulig 1948)。その後、数学者・物理学者・地質学者・地形学者等によってそれぞれ手段は違っても、この蛇行問題について研究が行なわれてきた。とくに20世紀初頭において、メアンダーが形成される機構について、Thompson, Ruzki, Exner 等の物理学者が解釈を試みている (辻村 1932)。

蛇行現象はまた、河川にみられるだけでなく、大気中のジェット気流やメキシコ湾流等にも発生しており (Fjohm 1951, 52) 流体においてごく普通の現象で、一般には波の現象と解される。それはまた振動現象でもある (Baschin 1916)。このように普遍的な現象ではあるが、その発生の機構については未だ解明されていない。河川におけるメアンダーの発生についても後述するように諸説があり、最近でも水槽実験等が行なわれ (例えば Schumm & Khan 1972)、蛇行問題について議論はなおさかんである。このように蛇行現象は古くて新しい問題であり、研究の現状は一見して混沌とした感がある

が、本論文では問題点を整理して将来の研究に資したい。

2 術 語

河川のメアンダーに関する術語は多い。以下の議論を明確にするため、ここで主として英・独・仏語を中心とした術語について触れることにする。

メアンダーは「蛇行」とも訳されているが、これは Davis が蛇行河川のことを *serpentine river* といったり、あるいはずっと以前から多くの人の眼にあたかも蛇がくねっているように映ったことから、そのような訳語が出てきたものと考えられる。ちなみに、ドイツ語でも蛇行河川のことを *Serpentinen* といっており、また動詞としてフランス語では *serpenter*、ドイツ語で *serpentinisieren* あるいは *mäandern*, *mäandrieren* と使用しており、これに対する適訳として「蛇行する」という語がある。英語の動詞はもちろん *meander* である。

メアンダーには沖積低地のそれと河谷のそれとの区別がある。前者は *free meander*, *freie Mäander*, *méandre libre*、「自由蛇行」と呼ばれ、後者は *valley meander*, *Talmäander*, *méandre de vallée* といい、「河谷蛇行」と訳することができる。自由蛇行はまた *alluvial meander*, *river meander*, *stream meander* と同義で、それぞれ「沖積蛇行」「河川蛇行」「河流蛇行」と訳せる。河流蛇行に相当するドイツ語には *Flußmäander* があり、それはまたその存在する場所から *Auemäander*, *Wiesenmäander* (Hol 1938) とも呼ばれる。

河谷のメアンダーは *valley meander* であるが、蛇行している河谷は蛇行河谷 (*meandering valley*, *Mäandertäler*, *vallée à méandre*) という。

河谷のメアンダーについては術語が多く、いささか混乱している。Thornbury (1969) が整理したものに従えば、基盤岩を刻み込んで発達するすべてのメアンダーに対し *incised meander* あるいは *inclosed meander* の語を使用する。日本では「穿入蛇行」と訳され、これに相当するドイツ語は *eingesenkter Mäander*、フランス語は *méandre encaissé* がある。*inclosed meander*

は人により enclosed m. ともつづられ、「閉塞蛇行」と訳されている。穿入蛇行は自由蛇行と対をなしている術語で、これに相当するドイツ語の Zwangsmäander, 訳して「拘束蛇行」は自由蛇行と反対の術語として正鵠を射ている。

Thornbury によれば、穿入蛇行は ingrown meander (Rich 1914) と, entrenched meander もしくは entrenched m. の2つのタイプに区別できる。前者には「生育蛇行」という訳語があり、これは兩岸の谷壁斜面の傾斜が著しく異なる穿入蛇行で、一般に生育蛇行は地盤が緩慢に継続的に隆起する時、はじめわずかに彎曲していた河川が、下刻とともに次第に彎曲度を増しながら河床を深く掘り下げて発達したものと考えられている。これに対し entrenched meander には「掘削蛇行」あるいは「定置下刻蛇行」という訳語があり、これは谷壁斜面がだいたい左右対称的な穿入蛇行で、掘削蛇行は自由蛇行していた河川が地盤の急激な隆起にともなって回春し、側刻をほとんど行なうことなく、その場所ですべての蛇行流路を受け継いで深く掘り下げて形成されたと考えられている。掘削蛇行に対応するドイツ語は前記 Zwangsmäander, フランス語は méandre imprimé があり、また自由蛇行より受け継がれたことから, inherited meander, méandre hérité, vererbter Mäander と呼ばれている。

生育蛇行の斜面には、周知のとおり彎曲の凹部に急傾斜の「攻撃斜面」(undercut slope, Prallhang) と、凸部に緩傾斜の「滑走斜面」(slipoff slope, Gleithang, versant de glissement) がある。滑走斜面は河川が下刻とともに側刻も行なうため、河川自体が斜め横すべりをするようにして形成される。それで生育蛇行に相当するドイツ語の Gleitmäander はその性質をよく表現している。それに対しフランス語の méandre sculpté はあまり良い表現とはいえない。むしろ méandre évolué という術語が良く適合する。

次に主として自由蛇行における蛇行幾何学 (meander geometry) について述べることにする。図1において、点Iの転向点 (inflection point or crossover) を中心として点対称をなす2つの彎曲をもって1つのメアンダーとし、 L をメアンダーの波長 (meander wavelength) といい、水路に沿った長さを波長 (つまり軸距) で割ったものを彎曲度 (sinuosity, sinuosité) という (図2)。図1の A は振幅 (amplitude), W は蛇行帯幅 (width of meander belt), r_m は平均蛇行半径 (mean radius of curvature) である。水路には転向点のところに浅い瀬 (riffle, maigre) が生じ、彎曲の頂部に淵 (pool, mouille) ができる。この淵と瀬は、マスのつり人の間

図1 メアンダーの幾何学

L は波長, A は振幅, W は蛇行帯幅, I は転向点, r_m は平均蛇行半径, R は瀬, P は淵, $a-a'$ と $b-b'$ は地形断面を表わす。

によく知られた言葉という (Leopold et al. 1964) が、後述するようにメアンダーの成因にも係ってくる重要な地形である。

3 定 義

メアンダーとは、河川あるいは河谷の規則正しい反復的な彎曲である (Flohn 1935)。

メアンダーの選定規準として前述した彎曲度が普通使用される。Leopold & Wolman (1957) は彎曲度 1.5 以上のものを蛇行流路と定義した。しかし後に彎曲度 1.12 の蛇行流路をみつめて、彎曲度だけでは分類規準として不適当なことを認めた。研究者によっては彎曲度 1.5 以上のものをメアンダーとしている。これは図2の半円を連ねた彎曲度 1.57 の流路を視覚的に蛇行流路であると言い得るからでもある。しかしこれはあくまで便

図2 彎曲度 (Dury 1969)

軸距は破線に沿って計測される。

宜的な規準にすぎず、ここに規則性という規準をとり入れなければならない。なぜならメアンダーは規則的な地形の1つであるからである。この場合規則性の因子の1つとして「曲の対称性があげられる。それで規則的に彎曲している流路はたとえ彎曲度が1.1前後であっても、とくに沖積地の流路について蛇行しているといえる場合が多い。Brice (1964) は流路の対称性をとりあげているが、規準が厳密に過ぎ、いわゆる蛇行流路の相当数が該当しない結果をもたらしている。現在のところメアンダーについての客観的規準は確立していないようであり (Morisawa 1968), メアンダーとは何か、新しく定義しなおし規準を早急に設定する必要がある。

図3 メアンダーの発達と淵一瀬の配置 (Dury 1969)

4 自由蛇行

1 メアンダーの成因について

蛇行流路の発生原因については諸説があるが、現在のところ定説はないようである。それらについて、主として高山 (1974) の紹介をもとに述べたい。

a) 障害説 Davis (1903) は、流路に木のような障害物が落ちるとか、支流の流入が作用して水流が乱れ、対岸に向った流れが河岸を交互に侵蝕してメアンダーが発生すると説明した。

b) ラセン流説 Leliavsky (1966) は、ラセン流が主たるメアンダー発生の原因であるとした。確かにラセン流は侵蝕と堆積の過程で重要な役割を果たしている。しかしこれはすでに蛇行している水流にみられる現象でもある。

c) セイシュ説 Werner (1951) は蛇行現象を振動現象と解し、水面の横振動をメアンダーの成因と考えた。これもメアンダーに随伴する現象をその成因としている。

d) 転向力説 Eakin (1911) は、地球自転に伴う転向力に原因を求めた。しかしこれもシベリアの河川のような大河川に適用できても、小規模の河川には影響しないと考える。

e) 砂礫堆説 木下 (1957) は、河床における砂礫堆の形成が水流を蛇行させる要因であると考えた。これと同様な考えは Dury (1967) によってモデル化されている。すなわち図3のように、最初直線状であった河道に淵と瀬が生じ、河道は次第に彎曲度を増してゆく。その際彎曲の頂部には淵が、転向部には浅い瀬が、水路幅の5倍、メアンダーの波長の1/2の間隔を置いて規則正しく分布する。この一連の淵と瀬は現在のところ最も有力なメアンダーの成因となる現象とみなされ、一連の淵一瀬の発生、配置、メアンダーとの関係等について最近

議論がさかんである (例えば, Tinkler 1970, Keller 1971, Yang 1971, Harvey 1975)。このように砂礫堆説は有力な説であるが、土砂をとまわらない氷河の上でも蛇行流路が発生しているという事実がある。氷河の上のメアンダーの存在は、侵蝕と堆積がメアンダーの発生原因であるというよりも付随的現象であることを示している。

以上のごとく、メアンダーに関しては、それに随伴する現象から説明している例が多い。その他にもまだ諸説があるが、Sparks (1972) によれば、最近ではメアンダーの研究において、メアンダーの成因についての最終的説明を求めることは現段階において不可能であるとしてそれを行なうことを放棄する傾向にあるというが、説明できないところはそのままにしても、成因について追求する努力を怠ってはならないと考える。

2 メアンダーの発生条件——地形的な関

Leopold & Wolman (1957) は、ワイオミング州の Green 川で流量と流路勾配との関係を検討し、任意の流量に対して一定の限界勾配が存在し、それ以下では網状流路が発生せず、それ以上では蛇行流路が生じないことを見出した。また同州の Cotton Wood 川の平面形状と縦断形状を表わした図4で、網状流路と蛇行流路とで勾配が変化していることを示した。このことは後 Schumm & Khan (1972) によって実験的に確かめられ、与えられた一定の流量のもとで、勾配の緩やかな順に直線状流路、蛇行流路、網状流路が発生し、その間には2つの関が存在していることを見出した。Schumm はそれについて「地形的な関」(geomorphic threshold) という名称を付した (Schumm 1974)。地形的な関を越え、ひとたびメアンダーを形成するとその流路は安定し、これに対し直線状流路は不安定であるという (Leopold & Wolman 1960)。

図4 流路のパターンと流路勾配との関係 (Leopold & Wolman 1957 Dury により簡略化)

3 メアンドーの水理幾何学における諸関係

水路の水理幾何学のうちメアンドーのそれは最も発達した分野であろう。メアンドーの水理幾何学と水理量との間には多くの関係が確立している。

a) メアンドーの規模を代表する波長 Dury (1965) はメアンドーの規模を表現するのに、地形図上からでも比較的容易、正確に決定できるメアンドーの波長をもって代表することが適当であるとした。そして彼はメアンドーの波長 λ_m と溢流限界流量 q との間に $\lambda_m = 30q^{0.5}$ という一般的关系を確立した (図5)。メアンドーの波長 λ_m はまた流路幅 W との間に $\lambda_m = 17.0W^{1.01}$ という関係を有する (Speight 1965)。そして平均蛇行半径 r_m とは $\lambda_m = 4.7r_m^{0.98}$ という関係にある (Leopold & Wolman 1957)。メアンドーの波長と流量との関係はさらに細かく検討されていて、流量の代表値として何を採択するかによって関係式が異なる (Carlston 1965, 泉 1972)。

直線状流路では、淵と淵あるいは瀬と瀬との間隔を2倍にした値はメアンドーの波長に相当するが、その値も流量とべき函数関係にある (Leopold & Wolman 1957, Harvey 1975)。

b) 勾配の影響 Friedkin (1945) は流量と勾配はともに河流のエネルギーの函数であるから、流量と勾配の増加は彎曲のサイズを増加させると考え、実験を行ないその関係を求めた。それによると、実験という限定された条件下において、勾配が増加すればメアンドーの波長 (Friedkin は彎曲の長さをとっている) も増加した (図6)。

Carlston (1965) も、流量とメアンドーの波長との関係を論じた際、メアンドーの波長を制約する勾配の二次

図5 メアンドーの波長と溢流限界流量との関係 (Dury 1965)

図6 勾配のメアンドーに対する影響 (Friedkin 1945)

的役割について言及しているが、その扱いは定量的というよりむしろ定性的で、勾配がどの程度関与しているか明確にしていない。今村 (1935)、淡路 (1933) も勾配をとりあげて論じてはいるが、流量についての考察が不足している。

c) 河岸・河床物質の粒径の影響 Hack (1965) は、メアンドーの波長は流量の他に、河岸・河床物質の性質によっても変化し、一定の流量では粗粒物質のところの方が細粒物質のところよりメアンドーの波長が長いと考えた。しかしこれはあくまで定性的で、定量的説明はなされていない。メアンドーの波長ではないが、蛇行半径 r_m と河床平均粒径 d_m 、水深 D との間には $r_m = K \cdot d_m^{2/3} \cdot D^{8/3}$ という関係があるという (Makkaveev 1948)。ここで K は係数である。蛇行半径はメアンドーの波長と函数関係にあるから、上述した Hack の推論が正しいことを裏付けている。

以上のようにメアンドーの波長は、流量・勾配・河岸河床物質の粒径により制約されることがわかっているが、定量的にこれら諸変数がどの程度関与しているかに

については今後の研究課題であり、実際の河川についてこれら諸変数を考慮に入れた多変量解析を行なうことも必要である。

5 穿入蛇行

1 成因論

穿入蛇行の成因については、自由蛇行からの継承を認める説と認めない説とに分かれているようである。前者は Davis をその代表とし、一般に「遺伝説」と呼ばれ多くの支持者がある（例えば、Tarr 1924, Moore 1926, Flohn 1935, Miller 1935, Hol 1938, 中野 1943, 西村 1952）。後者は「一輪廻説」といい、Winslow (1893) にはじまり、Cole (1930), Blache (1940), Mahard (1942) 等が支持している。掘削蛇行については、自由蛇行の形態をそのまま保持して嵌入して形成されたと考える方が自然である。問題は生育蛇行で、その成因には、はじめ直線状であった河川が彎曲度を増して形成された場合と、自由蛇行より受け継いで変形を受けた場合の2つが考えられる。Davis は後に2つの発生の可能性を認めている (Davis 1913)。筆者も中国山地の穿入蛇行を論じた際、上流の生育蛇行については一輪廻説をとった (河内 1975)。穿入蛇行が発達するのに平坦性を必要としない例は徳田 (1957) の黄土地帯における観察があげられ、また 33° の傾斜のところでメアンダーが発生しているのが観察されている (Dury 1974 私信)。しかしながら、穿入蛇行の周囲の地形から判断すると、かつてそのような 30° 前後という「比較的急な」一般の傾斜があったとは考え難い。

2 岩質の影響について

Vacher (1909) は、メアンダーを生じる地層として *terrains à méandres* という術語を使用している。同様な考えは、Flohn (1935) の *Mäandergestein* や Blache (1940) の *roches à méandres* という術語に表現されている。このようにドイツやフランスの研究者はいわゆる「構造説」をとっている。

Flohn (1935) は岩石の成層状態に注目し、よく水平に成層した岩石のところで *Gleitmäander* すなわち生育蛇行が生じ、成層せず等質な岩石のところで掘削蛇行が生じるとした。今朝洞 (1952) は、岩石の硬軟と彎曲度、蛇行帯の幅とは関係があり、硬い岩石のところの方が軟かい岩石のところより彎曲度が大きく蛇行帯の幅は狭いことを見出した。また、Moore (1926) はコロラド高原において、硬い岩石で荷重が少ないところで掘削蛇行が、軟かい岩石で荷重が多いところで生育蛇行が発達していることを認めた。

以上の関係については今後物理的な裏付けがなされる

べきと考える。

3 General theory について

Dury (1954) は、地質や地殻運動において異なる地域に広域的に分布する蛇行河谷を説明するには従来の諸説はいずれも満足すべきものでないことを述べ、蛇行河谷についての *general hypothesis* の必要性を強調し、*general theory* を展開した。Dury は多くの河流蛇行が、その波長よりはるかに大きい波長の蛇行河谷の中にあり (図7)、河流は明白な無能河流 (*manifestly underfit stream*) の状態を示していることに注意を向け、この無能河流が中緯度地帯を中心に広域的に分布することの説明は、流量の減少をもたらした広範な気候変化以外からなしえないと述べた。しかしながら彼の説も、蛇行河谷に付随して生起している現象から気候変化を推定するに帰着しており、穿入蛇行の成因については直接論じてはいないようである。また、河谷蛇行と河流蛇行の波長の比から流量の比を導き出しているが、上述したような勾配・河岸河床物質等の他の重要な因子についての考察はなされていないようである。河岸・河床物質の点からの批判は Hack (1965) によってなされている。

以上のような批判はあるが、古気候や古気象の解明には可能性あるアプローチの方法であり (Dury 1953)、気候地形学的に自由蛇行を考察することも可能である。今後に残された課題は、流量以外の他の地形因子を考慮に入れることであろう。

図7 蛇行河谷の中の河流蛇行 (Dury 1969)

8 結 び

蛇行問題は複雑多岐にわたり、自由蛇行1つとりあげてみてもその形態を制約する因子は未知数であり、将来さらに新たな因子が発見されるかも知れない。また、穿入蛇行においても自由蛇行とは少し違った問題がある。実験室のメアンダーも加えて、それぞれ条件を異にするメアンダーの研究を平行して進展させることでこの問題の解決の糸口がつかめると考えている。

小論をまとめるにあたり、日頃指導していただいている広島大学吉田栄夫教授、助言を賜ったウィスコンシン-マデ

イソソ大学 G.H. Dury 教授, 絶えず御鞭達を下った成瀬敏郎助手をはじめとする 広島大学地理学教室の諸先生, 大学院諸兄に対し, 記して感謝の意を表する次第です。

(1975, 7, 30 受理)

文 献

- 淡路正三 (1933): 河川曲流に就いて 地理評 9 52~63
- Baschin, O. (1916): Die Entstehung der Fließmäander Peterm. Mitt. 62 16
- Baulig, H. (1948): Le Problème des Mèandres Bull. Soc. Belge Étud. Geogr. 17 103~143
- Blache, J. (1939, 40): Le Problème de Mèandres Encaissés et les Rivières Lorraines Jour. Geomorph. 2 201~212, 3 311~331
- Brice, J. (1964): Channel Patterns and Terraces of the Loup River in Nebraska U.S. Geol. Survey Prof. Paper 422-D 1~41
- Carlston, C.W. (1965): The Relation of Free Meander Geometry to Stream Discharge and its Geomorphic Implication Amer. Jour. Sci. 263 864~885
- Cole, W.S. (1930): The Interpretation of Entrenched Meanders Jour. Geol. 38 423~436
- Davis, W.M. (1893): The Topographic Maps of the United States Geological Survey Science 21 225~227
- (1903): The Development of River Meanders Geol. Mag. New Ser. 10 145~148
- (1906): Incised Meandering Valleys Bull. Geogr. Soc. Philadelphia 4 182~192
- (1913): Meandering Valleys and Underfit Rivers A.A.A.G. 3 3~28
- Dury, G.H. (1953): An Approach to Paleometeorology Nature 172 919
- (1954): Contribution to a General Theory of Meandering Valleys Amer. Jour. Sci. 252 193~224
- (1964, 65): General Theory of Meandering Valleys U.S. Geol. Survey Prof. Paper 452-A, B, C
- (1969): Relation of Morphometry to Runoff Frequency Chorley, R.J. (ed.): Introduction to Fluvial Processes Methuen 177~188
- (ed.) (1970): Rivers and River Terraces Macmillan 283 ps.
- Eakin, H.M. (1911): The Influence of Earth's Rotation upon Lateral Erosion of Streams Jour. Geol. 18 435~447
- Flohn, H. (1935): Beiträge zur Problematik der Talmäander Frankfurter Geogr. Jahrg. 9 1~96
- (1951, 52): Behrmanns "Prinzip der Selbstverstärkung" in der Meteorologie und die Mäanderbildung in Atmosphäre und Ozean Die Erde 3-4 211~219
- Friedkin, J.F. (1945): A Laboratory Study of the Meandering Alluvial Rivers U.S. Waterways Exp. Sta. Vicksburg, Miss. 237~281
- Hack, J.T. (1965): Postglacial Drainage Evolution and Stream Geometry in the Ontonagon Area, Michigan U.S. Geol. Survey Prof. Paper 504-B 1~40
- Harvey, A.M. (1975): Some Aspects of the Relations between Channel Characteristics and Riffle Spacing in Meandering Streams Amer. Jour. Sci. 275 470~478
- Hol, J.B.L. (1938): Das Problem der Talmäander Zeitschr. Geomorph. 10 169~195
- Imamura, G. (1935): Free Meanders of Rivers Jap. Jour. Geol. Geogr. 7 33~38
- 泉 浩二 (1972): 日本における自由曲流河川の曲流波長と河川流量との関係について 地理評 2 132~133
- Keller, E.A. (1971): Pools, Riffles, and Meanders: Discussion Bull. Geol. Soc. Amer. 82 279~280
- 今朝洞重美 (1952): 小樺川および養老川の穿入蛇行と地質との関係 地理評 25 328~331
- 木下良作 (1957): 河床における砂礫堆の形成について——蛇行の実態の一観察 土木学会論文集 42 1~21
- 河内伸夫 (1975): 中国山地の穿入蛇行 地理評 (投稿中)
- Leliavsky, S.B. (1966): An Introduction to Fluvial Hydraulics Dover Publ. 257ps.
- Leopold, L. B. & Wolman, M.G. (1957): River Channel Patterns: Braided, Meandering and Straight U.S. Geol. Survey Prof. Paper 282-B 39~73
- (1960): River Meanders Bull.

- Geol. Soc. Amer. **71** 769~794
- Leopold *et al.* (1964): Fluvial Processes in Geomorphology Freeman 522ps.
- Mahard, R.M. (1942): The Origin and Significance of Intrenched Meanders Jour. Geomorph. **5** 32~44
- Makkaveev, V.M. (1948) (quoted by Zeller, J. 1967): Flußmorphologische Studie zum Mäanderproblem Geogr. Heft. **22** 57~95
- Miller, A.A. (1935): The Entrenched Meanders of the Herefordshire Wye Geogr. Jour. **85** 160~178
- Moore, R.C. (1926): Origin of Inclosed Meanders on Streams of the Colorado Plateau Jour. Geol. **34** 29~57
- Morisawa, M. (1968): Streams; their Dynamics and Morphology McGraw-Hill 175ps.
- 中野尊正 (1943): 蛇行指数より見た 紀伊山地 科学 **13** 288~289
- 西村嘉助 (1952): 太田川の穿入曲流 (演旨) 地理評 **25** 別 1 24
- Rich, J.L. (1914): Certain Types of Stream Valleys and their Meaning Jour. Geol. **22** 469~497
- Schumm, S.A. & Khan, H.R. (1972): Experimental Study of Channel Patterns Bull. Geol. Soc. Amer. **83** 1755~1770
- Schumm, S.A. (1974): Geomorphic Thresholds and Complex Response of Drainage Systems Morisawa, M. (ed.): Fluvial Geomorphology Publications in Geomorphology State Univ. N.Y. 299~310
- Sparks, B.W. (1972): Geomorphology sec. ed. Longman 530 ps.
- Speight, J.G. (1965): Meander Spectra of the Angabunga River Jour. Hydrol. **3** 1~15
- 高山茂美 (1947): 河川地形 共立出版 304 頁
- Tarr, W.A. (1924): Intrenched and Incised Meanders of some Streams on the Northern Slope of the Ozark Plateau in Missouri Jour. Geol. **32** 583~600
- Thornbury, W.D. (1969): Principles of Geomorphology sec. ed. John Wiley 594ps.
- Tinkler, K.J. (1970): Pools Riffles, and Meanders Bull. Geol. Soc. Amer. **81** 547~552
- 徳田貞一 (1957): 黄土——侵蝕地形 古今書院 145 頁
- Troll, C. (1954): Über Alter und Bildung von Talmäandern Erdkunde **8** 286~302
- 辻村太郎 (1932): 新考地形学 第 1 卷 古今書院 572 頁
- Vacher, A. (1909): Rivières à méandres Encaissés et Terrains à Méandres Ann. Géogr. **18** 311~327
- Werner, P.W. (1951): On the Origin of River Meanders Trans. Amer. Geoph. Union **32** 898~902
- Winslow, A. (1893): The Osage River and its Meanders Science **22** 31~32
- Yang, T.C. (1971): Formation of Riffles and Pools Water Resour. Resear. **7** 1567~1574

On the Problem of Meanders

Nobuo KOHCHI

The problem of meanders has been discussed for a long time, and yet there are many arguments and opinions on it.

The term, *meander*, is derived from the name of a river in Turkey, the Büyüik Menderes. Since it is a universally accepted term, it may be used in *katakana* in Japanese, but the Chinese character compound, *dako*, is preferable as an adverb or a verb.

There are various theories about the origin of meanders, but there seems to be no established theory. Most theories explain the origin of meanders according to the phenomena associated with them. In the case of hydraulic geometry of stream channels, the study of meandering channels may be the most advanced field of research. There are many relationships between the geometry of meanders and hydraulic quantity; however,

little is known quantitatively about the interrelationships among the parameters such as discharge, slope, size of bed and bank materials, etc.

Two opposing views exist regarding the origin of incised meanders. One view recognizes the inheritance from free meanders, but it is not accepted by others. It is doubtful that meanders can develop on relatively "steep" slopes of 30° or so, judging from present surrounding landforms. Dury (1964, 1965) dealt intensively with meandering valleys and underfit streams, but he did not explain the origin of incised meanders specifically. However, there is a possibility in Dury's theory for considering meanders from the viewpoint of climatic geomorphology in responding to criticisms such as that of Hack (1965).