

Donau 川の河床状態に関する Girardon の調査報告について

Renouvellement de l'analyse morphométrique du lit du Danube autrichien, élaborée par Girardon

井 口 昌 平*

Syôhei INOKUTI

自然に形づくられる河道の形状、ことに河岸浸食が妨がれている直線的な河道の形状についての研究が最近の数年の間はかなり進展したが、その点に集中して 19 世紀の終りから今世紀の初めにかけて、フランスの Girardon が行なった観察と、その帰結を拾い上げる。その際、Donau 川の河床の形状に関する資料は特に複製して今日の研究に役立てるようにする。

河川の流れてによって流送される土砂の流量をその流れの水流量と河床の抵抗力とによって一般的に表現することに最初に成功した人としてフランスの Du Boys の名前は名高い。Du Boys は、Rhône 川の工事にたずさわっていて、そこからその研究が生まれたのであり、その研究が発表されたのは 1879 年であった。

それよりもやや遅れて、1894 年に Den Haag で開催された第 6 回国際内陸水運会議 (VI^e Congrès International de Navigation Intérieure) に河床変動に関するひとつの論文が発表された。それは Girardon によるもので、これも Rhône 川の改修にたずさわりながら得られた経験と、その間に行なわれた入念の考察の帰結であった。

ヨーロッパにおける河川改修工事が盛んに行なわれるようになったのは 19 世紀の初めごろからである。それ以来 Girardon の論文が発表された 19 世紀の終わりまでの間に、ヨーロッパでは河川改修の方法、あるいは今日の言葉で言えば河道計画のたてかた、において 2 種類のものが発展していた。そのひとつは《ドイツ流の方法》と呼ばれるものであり、もうひとつは《Rhône 川の方法》と呼ばれるものである。ドイツ流の方法というのは、ドイツで古くから採用されてきたものであり、沖積地を蛇行し、あるいは網状をなして流れていた川を一定の横断面をもつ、比較的曲がりの弱い、人工的な河道の中におさめる方法である。この方法がとられた代表的な川に Rhein, Weser, Elbe, Oder などがある。他方、Rhône 川の方法というのは、川を自然の形にならって固定させるようにする方法で、この方法では川の横断面の形と大きさは一定のものではなく計画される。その名が示すように、この方法は主として Rhône 川の工事と共に発展したもので、その発展は Girardon によるところが多い。

Girardon がそのようにして発展させた方法については前記の Den Haag での会議に出された論文によって最も正しく知ることができるわけだが、ここではその論文の中から要点を次のように抜き書きするのに止めよう。これは比較的新しくフランスで出版されたある教科書 (Albert Boucher et Emile Fourrey, Cours de navi-

gation intérieure, Paris 1954) によるものである。したがって、次の抜き書きは、その内容がフランスでは現在でも尊重されていることもわかり、その意味でも注意されてよいであろう。

《あらゆる川の形は平面的には曲がりくねっている。その形は一連の曲線と反曲線とから成り、それらは反対の向きに相次いでおり、それらの接続は多かれ少なかれ急激である。

水深は横断面の中で一様ではなく、ことに河床の掃流抵抗の少ない部分では水深が深い。抵抗し、突起し、急傾斜をなし、あるいは高まっている障害物およびコンクレーブな曲線は深みを呼び、また深みを維持する。

谷線の縦断形は一様なこう配を示すこともなく、連続なこう配を示すこともない。それは、むしろ、いくつかの数の主要なこう配を示し、それらの間の折れ曲がった接続および傾斜は、岩盤による瀬または大きい支流によって決定される。これらの接続点の間の区間では下がりこう配と上がりこう配とが相次ぎ、ひとつの曲がりくねった曲線が呈される。その曲線は、その区間の平均こう配に多かれ少なかれ近いところをゆらぎ渡る形をなす。この曲線の盛り上がりと窪みは、小さい支流や河床抵抗の延長方向の分布によって定まる。

河床は瀬によって境された一連の淵から成り、水面の縦断形は階段状をなし、その階段の踊り場は淵に相当し、踏み板は瀬に相当する。この形は、川の全般的なこう配が急であるほど、著しく現われる。また、この形は、水位が下がっているほど目立ち、流量が増すにしたがって、この形は弱まり、また水面こう配は次第に規則的なものになる。

洪水の度ごとに河床を覆っている材料は新たになり、また河床の形が変わる。新しい形状は、河岸および谷線の縦断形の曲がりくねりの全般的な起りかたにおいては、もとの形状と似ている。新しい形状は、状況によって、曲がりくねりの形、深みの位置、瀬の位置と方向と高さの点で多少は異なる。

しかし、河岸が固定されているような川においては、

* 東京大学生産技術研究所第 5 部

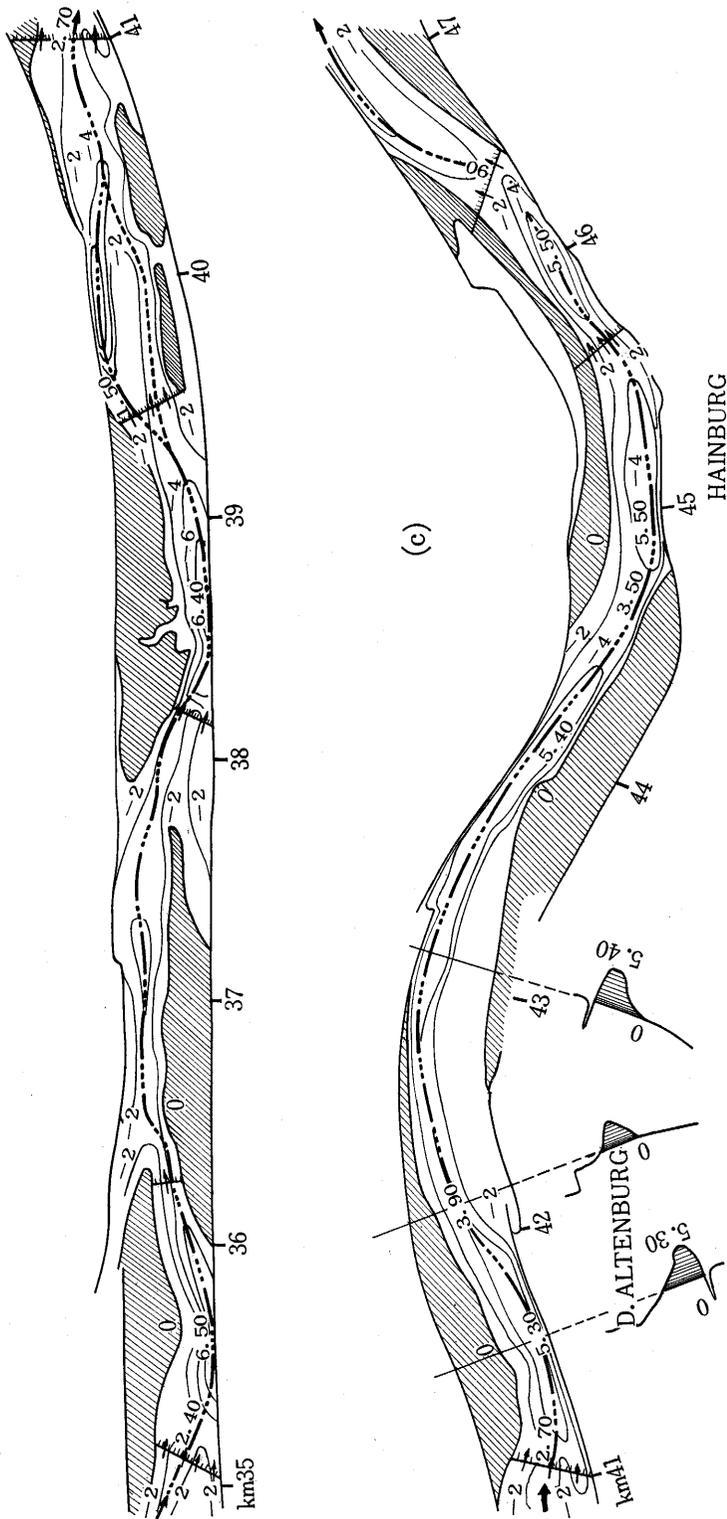


图 1

普通の洪水では、きわめてせまい範囲の中でしか、平面形は変わらないし、またそのような洪水が過ぎた後に深みが同じ個所にでき、瀬も同じ位置に再び形成されて、瀬の方向と高さだけが変わっているのに過ぎない。

このように Girardon の言ったことの中で、特に重要なことは、最初の《あらゆる川の形には平面的には曲がりくねっている……》ということと、第三の《谷線の縦断形は……》、および《河床は瀬によって境された一連の淵から成り……》という部分に言われていることであろう。これらが普遍的な事実として 70 年以前にすでに強調され、しかもその国際会議で同学の人々に認められていることに注目してよいであろう。そればかりではなく、そのとき Girardon の報告を賛えて Fargue が《これは河川水理学において正しくひとつの出来ごとであり、ひとつの革命である、と私は言いたいのです》とまて言っているのは興味がある。

Girardon はこの会議の中で、河川水理学に関する二つの議題について出された幾つかの報告とそれらに関する討議を総括して報告する役を負わされた。その総括報告を作る方針に関して討議が重ねられたが、そのときに Girardon は《*natura non facit saltus*》(自然は急な変化過程を起こすものではない)ということわざを挙げて、河川改修の方法についての基本的な考えを説明している。

このことわざは Girardon が Rhône 川の観察によって好むようになったものと見える。それから数年後の 1901 年に Girardon は Donau 川の改良計画について諮問を受けて一種の報告書を Donau 川委員会に提出したが、その中でも同じことわざを用いてその報告書を次のように結んでいる。

《自然界の中では均一性に出合うような場合はない。それを追求めることはひとつの夢である。むしろ自然界は至るところで注意深い観察者に多様性と変動性を示すものである。しかし、自然の作る形状が正確に相等しいことはないにしても、自然はそれらの形状のひとつひとつの間にできる限り目立たないような段階の違いを

作り、それらの形状をより完全なものにしている。すなわち、変動性が至るところにあるにしても、連続性がそこで規則をなしている。自然とかかり合う者はその連続性を見失ってはならない。Natura non facit saltus》。

さて、以上に述べたような観点から Girardon は、Donau 川のオーストリアの部分で調査した。全長 350 km にわたるこの区間は Wien の町を避けて作られた Wien のショートカット水路 (Klosterneuburg から Donau 運河の出口まで) の 17 km の区間と、それより上流の区間と、下流の区間に、三つに分けて考えるのが適している。このショートカットの部分は低水路幅 484.5 m、川幅 760 m の複断面で、右岸側に極めてゆるく反ったひとつの曲線をなしている (図 2)。この区間について、Girardon は谷線が一方の岸から反対側の岸に移り変わることが 10 回あること、つまり谷線の転移の平均間隔が 1,700 m であること、および転移の間隔とその平均間隔との差の平均が約 300 m、すなわち約 20% であることを指摘している。また、そのショートカットよりも少し下流の、Fischamend から Hainburg までの 23 km の区間も、すでに当時改修されていて、比較的直線的な平面形をなしていたが、その区間では谷線の転移が 14 回認められ、したがって転移の平均間隔は 1,700 m であり、また実際の転移間隔と平均との差の平均が約 25% であることを Girardon は報じている。ちなみに、Rhône 川では転移の平均間隔が 1,600 m、Loire 川ではそれが 600 ないし 700 m であるといわれる。

ここでは、このようにして、Girardon の報告の中から主として河床の形状に関するデータを引き出し、また Girardon がそれらのデータにどのような目的で注目したのかを探ろうとするのだが、その意味では次に Fischamend から Hainburg までの間の区間についてのものがある。この区間では、谷線の転移の形に注意が向けられている。

Girardon が諮問を受けた Donau 川の改良の計画は水運の便を第一の目標にしていた。そのために、谷線の転移がゆるやかであるか急であるかの点が注目されたわけ

である。ゆるやかである方がその目的からは好ましいのは言うまでもない。谷線の転移する個所は瀬をなす個所であり、転移が急な場合には瀬を形づくる河床の洲は兩岸にほぼ平行な長い峯を作る。この場合には、横断面の中の最深点を連ねた線という意味での谷線は

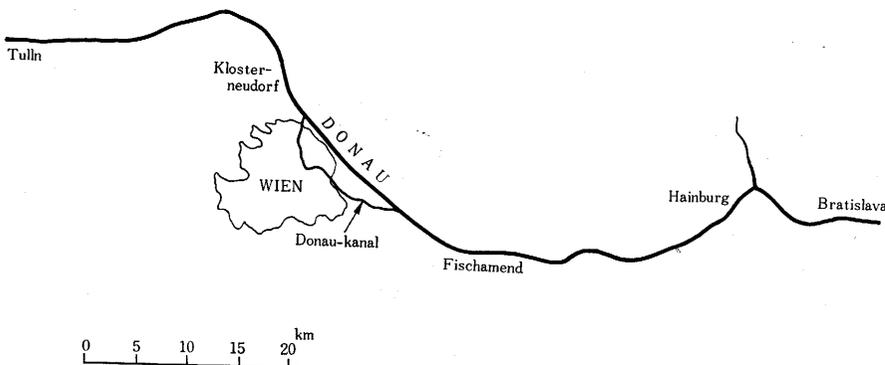


図 2

その峯によって両側に切り離されて、連続した曲線をなさないこともある。谷線の転移がゆるやかな個所ではその峯が両岸に対して斜めに交わる方向をとる。この峯が長いほど、すなわち両岸の方向に近づくほど、その峯を越える流れの厚さが薄くなり、落差が大きくなる。これらの事実に Girardon は注目した。

Girardon はこれらのうち最も好ましいものとして、42km の距離ぐいのあたりを挙げている。当時におけるその調査区間の河床の形状、谷線の位置および瀬の部分の峯の位置と峯を越える流れの方向を Girardon は描いている。それらを図 1 に再録する。なお、33km から 43km の距離ぐいの間の河床の等高線を筆者は別の機会¹⁾ に紹介したことがあるが、それは 1905 年 9 月におけるものであって、図 1 は 1906 年におけるもので、それらの間に少しの相異がある。

最も好ましくない転移の例としては 25.4 km のあたりのものが挙げられている。図の中で大きな点線で描かれているのは流れの一般的な方向であって、このような転移の個所ではその方向が岸の方向と著しく大きな角度をなすことが見られる。

Fischamend から Hainburg までのその調査区間の中のその他の転移個所はこれら二つの極端な場合の中間にはいり、それらを次のように三つに分類することができると Girardon はしている。

(1) 急な転移

位置	水深
25.400 km	1.60 m
27.150	1.70
29.000	1.70
32.700	1.70
46.400	1.90

(水深は既往最低水位のときのもの)

(2) 中間的な転移

位置	水深
23.000 km	2.50 m
31.250	2.20
33.650	2.90
35.400	2.40
41.000	2.70

(3) きわめてゆるやかな転移

位置	水深
30.000 km	3.40 m
36.000	4.00
38.100	4.00
42.000	3.90
44.600	3.50

このようにして、Girardon は Donau 川のこの区間では、急な転移の個所以外では、既往最低水位のときにも、谷線の水深が 2 m 以下にはならない、と結論した。

実は Girardon に諮問されていたのは、この水深を 2m 以上とすることおよび Donau ショートカットの部分で谷線を右岸に沿わせることであった。Girardon は上記の観察から、第 1 の目的を達することは可能であると考えた。

ところで Fischamend から Hainburg までの区間は大きく二つに区分することができる。すなわち、上流側の 17 km の部分と残りの 6 km の部分である。上流側の部分は直線に近い平面形をもち、下流側の部分は蛇行している。しかも、下流側の部分では谷線は曲った水路の外側の岸に沿っている。Girardon はそれらの事実に注目したばかりでなく、この下流側の部分のような蛇行を呈する河道では河床の状態は安定なものであることを指摘している。また、上流側のように直線的な水路では、瀬も洩も同じ位置にとどまっていることはなく、河床の形状が下流に向かって移動するという形で、それらは全体として変位するということが指摘している。

以上見てきたように Girardon は Donau 川の調査に当たって河川水理学上の重要な事実を指摘している。これらの事実は最近改めて木下良作博士(本所研究員)が多くの観察と実験によって確認したと一致しているとしてよいであろう。

しかし、当時においても Girardon の言うところは必ずしも良くは理解されなかった。Donau 川委員会が採用した改良の方法はむしろドイツ流のものであった。後になって Cuënot は、もしも Girardon の言うところに厳密に従っていたならば、もっと良い結果がもたらされたであろう、と言っている(この報告は前記の会議の議事録²⁾と筆者が度々引用する Cuënot の本³⁾とによって作成した)。(1967 年 10 月 23 日受理)

文 献

- (1) 井口昌平, 吉野文雄: 河床形態の研究の過程について, 生産研究, 第 19 卷 第 1 号 p. 1 (1967).
- (2) VI^{ème} Congrès International de Navigation intérieure, La Haye, 1894, Compte-rendu des travaux du congrès.
- (3) Cuënot: Fleuves et rivières, Paris, Dunod, 1921.