

常呂川の流域及び河道特性について

北見工業大学工学部 正会員 ○内島 邦秀
北見工業大学工学部 正会員 佐藤 幸雄

1. まえがき

流域の複雑な地形特性を定量的に表現する方法として、河道位数の概念に基づくHortonの四つの経験的地形法則即ち、河道数則、河道長則、河道勾配則、集水面積則がある。河道の位数化の方法としては種々あるが、代表的な方法として、Horton方式、Strahler方式がある。このうち最も一般的に用いられているのはStrahler方式であり、図-1に示すように水源から最初の合流点までの河道を1

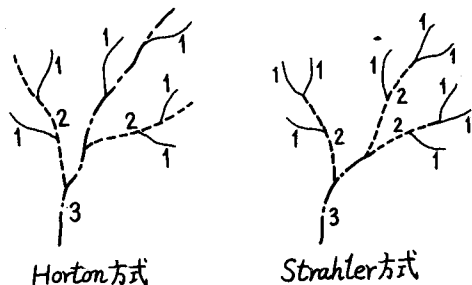


図-1 河道の位数化

位とし、1位の河道と1位の河道が合流すると2位、2位の河道と2位の河道が合流すると3位という順序で位数が増加して行くが、高位数の河道に低位数の河道が合流してもその位数は高位数を維持するという方式である。Hortonの方式はStrahler方式で位数区分された後、本川、支川、小支川等の定義と同様に下流の高位数の河道を水源まで伸ばして低位数を消去して行く方式である。このような位数による河道区分法とは別に、位相数学のlinkの概念を用いた理論的な方式としてShreveの方式がある。これはStrahler方式の1位河道を外部リンク、合流点間の河道を内部リンクと定義し、位数に代るものとしてmagnitudeを用いて区分するいわゆるlink-magnitude方式とも呼ばれるものである。このmagnitudeと位数との関連性が確率統計的手法によって解明され、前記Hortonの四つの地形法則は普遍性のある法則として確立されている。^{2),3)}

本研究はHorton及びStrahler方式を用いて、常呂川の流域地形特性について実証的に追究したものであり、地形法則を応用したYang⁴⁾の河床縦断曲線の理論を常呂川に適用して河道特性についても若干の考察を行ったものである。

2. 常呂川流域の概況と計測方法

常呂川流域は図-2に示すように、その形状は細長く、河道の配置状態は羽状となっていて、いわゆる羽状流域に属する。また、支川無加川合流点から上流を注目すると支川と本川がほぼ平行状に配列している。計測には5万分の1地形図を用い、対象流域を図-2の一点鎖線で示されているように無加川合流点上流を二つの流域に分割し、常呂川全流域、

常呂川上流域、無加川流域の三つの流域について計測した。水源については地形図上に記されている河道の最上流端とした。河道長さ及び集水面積の計測はそれぞれキルビメーター、プラニメーターを用

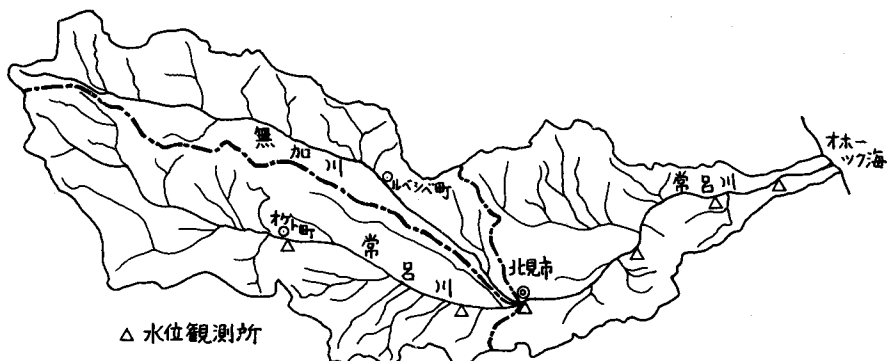


図-2 常呂川流域図

い、3回測定してその平均値を計測値とした。さらに、常呂川全流域の中流部から河口に至る本川沿い平地部について2日間の現地調査を行い、農業用人工水路と自然河道とを区別して自然現象にあった計測値が得られるように努めた。

3. 特性値の解析とその結果

Hortonの地形法則は、位数 u の河道数、平均河道長、平均河道勾配、平均集水面積をそれぞれ N_u , $\bar{L}_u$, $\bar{S}_u$, $\bar{A}_u$ とし、まとめて y で表わすと、一般に、

$$\log_e y = a + b u, \quad a, b: \text{定数} \dots \dots \dots (1)$$

で表示でき、 $\exp\{|b|\}$ がそれぞれ分岐比、河道長比、河道勾配比、集水面積比と呼ばれる特性値であり、常呂川全流域についての地形法則の実証が図-3であり、図中の実線は u に誤差がなく y にだけ誤差があって、しかも y の精度がすべて等しいと仮定して最小2乗法より a, b を求めて図示した回帰線である。対象3流域の計測及び解析結果は表-1のとおりである。無加川流域のHorton方式による河道区分では、位数3, 4の河道数が1個になることから、位数ごとに特性値がほぼ一定値とならず、(1)式の適用は無理であるが、一応数値

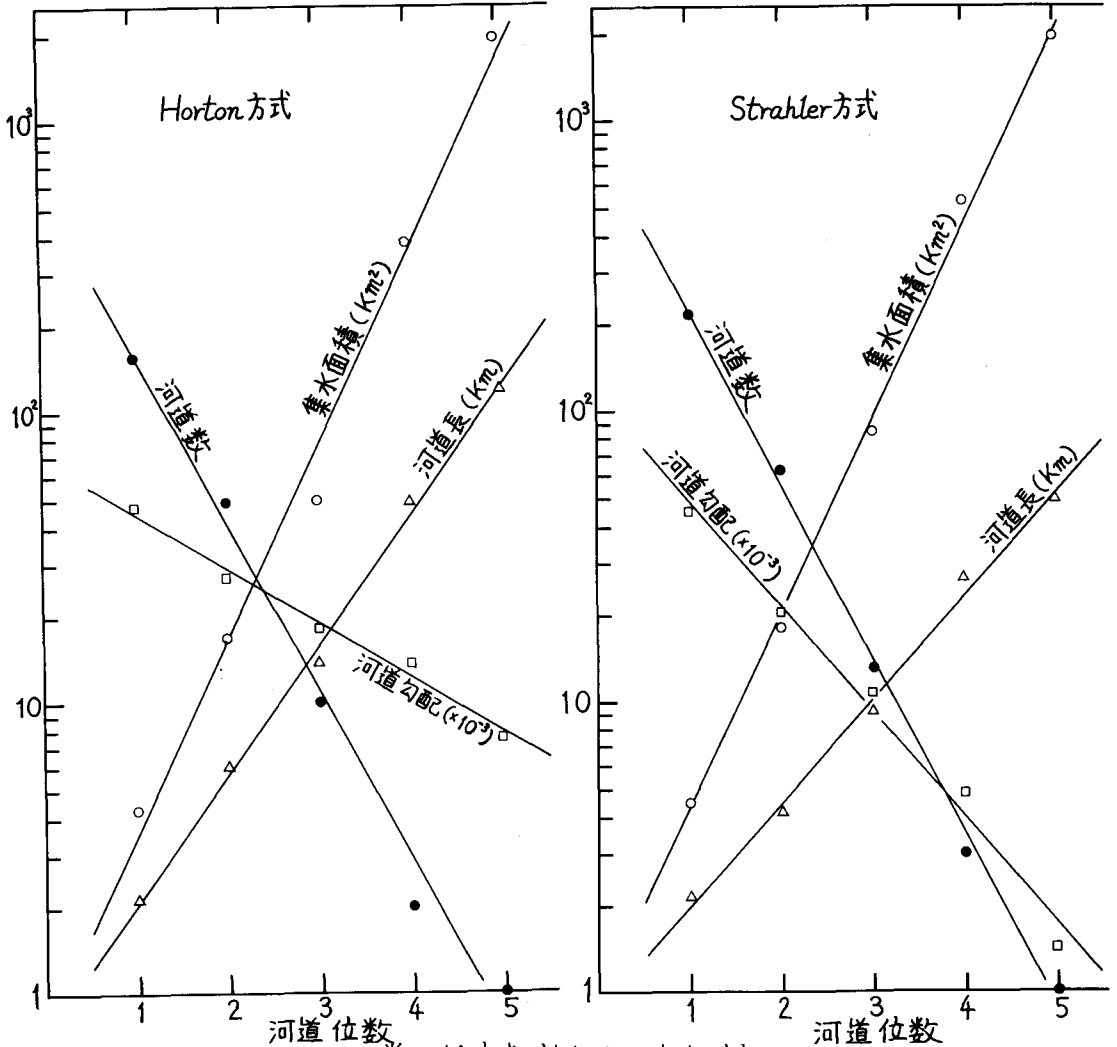


図-3 常呂川全流域に対する地形法則の実証

を記入しておいた。以上四つの地形法則の特性値は一流域において2~5の値をとるとされているが、常呂川上流域の集水面積比が約6ということで特異な値となっているが、他はHorton方式、Strahler方式ともその範囲内におさまっている値である。

本研究では、更に流出解析で重要な要素と考えられる流域平均勾配について各位数ごとに交点法⁵⁾により算出し、検討した結果が図-4である。位数ごとの平均流域勾配 $\bar{S}_{bu}$ は位数1~3の上流部については(1)式の適用が可能に思われるが、全体的には高位数のバラツキが大きく(1)式の適用は無理である。そこで、Horton方式の平均河道勾配 $\bar{S}_u$ との比 α ($\bar{S}_{bu} = \alpha \bar{S}_u$)を位数ごとにプロットしたのが図-4の(c)図であり、(1)式の適用が十分可能となり、図中の実線は常呂川全流域に対する回帰線である。表-1の解析結果から明らかなように、流域平均勾配に関する特性値は、3流域とも約1.4という値となった。

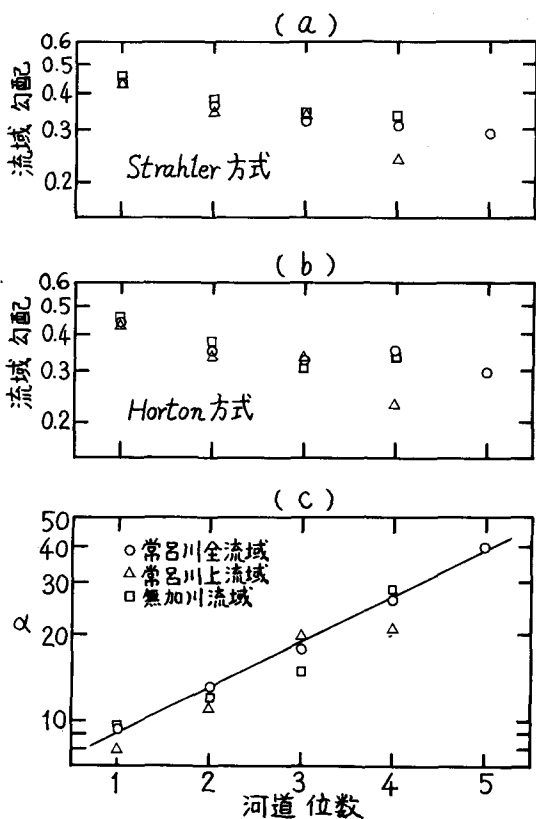


図-4 流域平均勾配

4. 河床縦断面形状に対するYangの理論の適用
Yang⁴⁾は $\bar{H}_u$ をStrahler方式の位数 u の河道の上流端と下流端の平均落差とした場合、エントロピー理論より、 $\bar{H}_u$ が一定値となることを指摘し、新しい特性値として落差比を提唱し、河道が動的平衡状態にあるとき、落差比が1になることを示している。そして、Broscoe⁶⁾が表現した複合勾配を平均的に平滑化したものに相当する河床縦断面曲線と平衡河床縦断面曲線を以下に示す方法で表示できることを提案した。(1)式に基づいて、

$$\log_e \bar{L}_u = a + b u \dots \dots \dots (2)$$

$$\log_e \bar{S}_u = a' + b' u \dots \dots \dots (3)$$

とした場合、 $\bar{H}_u = \bar{L}_u \cdot \bar{S}_u$ より、

$$\log_e \bar{H}_u = \{(a+a') + (b+b')u\} \dots \dots (4)$$

となり、(1)式と同形となって、 $\exp\{|b+b'|\}$ が

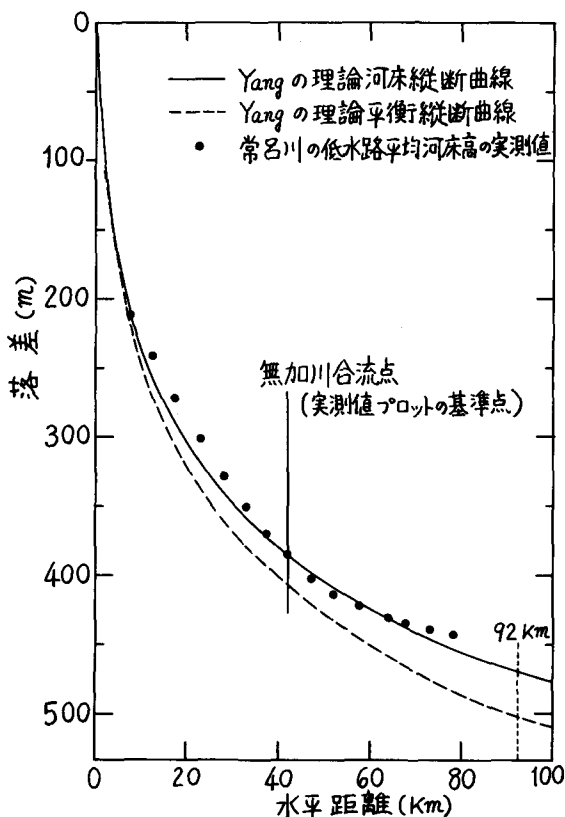


図-5 常呂川の河床縦断面形状

落差比に相当する。(4)式を変形すると、

$$\bar{H}_u = \exp\{(a+a') + (b+b')u\} \dots (4')$$

となり、したがって、位数1の河道の上流端から高位数 n の河道の最下流端までの総落差 H_T は、

$$\begin{aligned} H_T &= \sum_{u=1}^n \bar{H}_u \\ &= \exp(a+a') \sum_{u=1}^n \exp\{(b+b')u\} \dots (5) \end{aligned}$$

となる。一方、水源から位数 n の河道の最下流端までの水平距離 D は、

$$D = \sum_{u=1}^n \bar{L}_u = \exp(a) \sum_{u=1}^n \exp(bu) \dots (6)$$

であって、平衡状態にある場合の総落差 H'_T は、

$$H'_T = n \exp(a+a') \dots (7)$$

である。常呂川全流域に適用した場合、 n

$= 5$ 、 $a+a' = -2.299$ 、 $b+b' = -0.022$ 、落差比 $\exp\{|b+b'|\} = 1.022$ となり、(5)~(7)式によって図示したのが図-5である。水平距離は本川長約120kmに対して約92kmとなって短くなるが、実測低水路平均河床高との比較においては、ほぼ一致した形状を示している。なお、実測値プロットの基準点は、位数5の河道

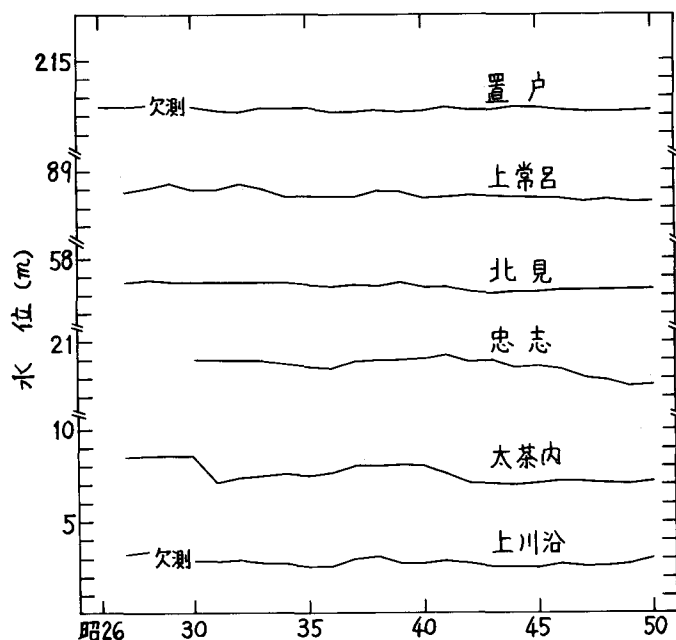


図-6 平均低水位の経年変化図

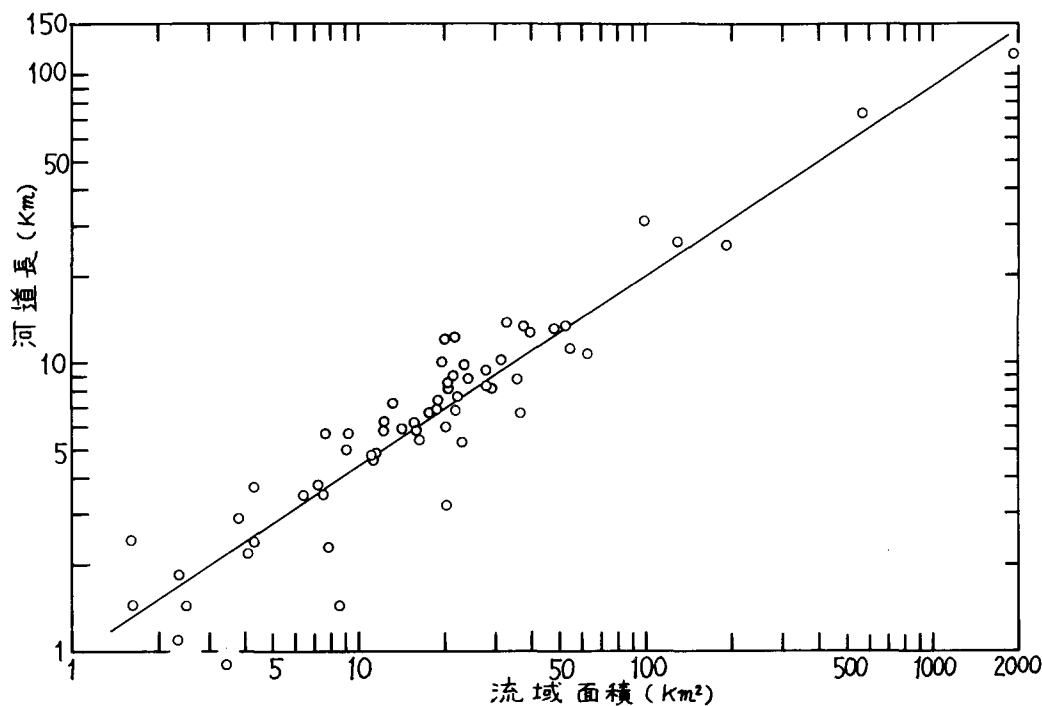


図-7 河道長と流域面積の関係

流域	方式	位数	河道数 N_u	河道長 L_u (Km)	河道勾配 $S_u (\times 10^3)$	集水面積 A_u (Km ²)	流域勾配 S_{su}	α
常呂川全流域	H	1	153	2.10	47.0	4.26	0.438	9.32
		2	49	6.05	27.1	16.82	0.350	12.9
		3	10	13.74	18.0	48.95	0.315	17.5
		4	2	49.35	13.5	380.30	0.351	26.0
		5	1	118.22	7.36	1923.78	0.294	39.9
		a	6.362	-0.281	-2.658	-0.270	-0.821	1.836
	R	b	-1.326	1.016	-0.440	1.534	-0.0798	0.361
		R	3.766	2.762	1.553	4.638	1.083	1.435
	S	1	215	2.15	44.8	4.49	0.434	
		2	62	4.18	20.4	17.98	0.360	
		3	13	9.23	10.7	84.00	0.322	
		4	3	26.83	4.84	523.15	0.315	
		5	1	49.74	1.41	1923.78	0.294	
		a	6.763	-0.120	-2.179	0.118	-0.799	
常呂川上流域	H	1	77	1.74	54.7	3.41	0.434	7.93
		2	21	5.24	31.3	15.53	0.340	10.9
		3	6	17.25	17.2	59.61	0.342	19.9
		4	1	68.48	11.7	808.85	0.243	20.8
		a	5.866	-0.731	-2.414	0.750	-0.666	1.748
	R	b	-1.428	1.221	-0.523	1.775	-0.173	0.350
		R	4.172	3.390	1.686	5.901	1.189	1.418
	S	1	105	1.81	51.8	3.76	0.430	
		2	28	4.13	22.6	17.80	0.352	
		3	7	10.19	9.95	77.06	0.337	
		4	1	39.22	5.10	808.85	0.243	
		a	6.320	-0.532	-2.216	-0.584	-0.658	
		b	-1.535	1.013	-0.778	1.758	-0.175	
無加川流域	H	1	33	2.68	47.8	6.35	0.455	9.52
		2	11	6.60	31.8	20.91	0.376	11.8
		3	1	10.84	20.8	62.59	0.305	14.7
		4	1	73.21	12.0	568.47	0.335	27.9
		a	4.695	-0.217	-2.553	0.197	-0.730	1.823
	R	b	-1.289	1.042	0.457	1.458	-0.113	0.344
		R	3.628	2.834	1.579	4.297	1.119	1.411
	S	1	46	2.71	46.1	6.73	0.455	
		2	13	4.00	24.4	21.29	0.380	
		3	2	20.11	12.7	216.22	0.336	
		4	1	28.33	4.59	568.47	0.335	
		a	5.111	0.0181	-2.242	0.264	-0.724	
		b	-1.336	0.866	-0.757	1.563	-0.104	
		R	3.803	2.376	2.133	4.772	1.110	

(注) H: Horton, S: Strahler, $R = \exp\{|b| \}$

表-1 計測及び解析結果

既往の研究成果に適用して常呂川の特性を探ってみた。今後はさらに河川工学的応用について研究して行きたいと考えている。終わりに、貴重な資料を提供して頂いた北海道開発局網走開発建設部治水課に対して深謝の意を表します。また、計測に際し鋭意協力された本学昭和50年度河川工学卒業研究生の気屋村 寛、伝里周一両君に対し感謝の意を表します。

の上流端が無加川合流点であり、水源から {92km - (位数5の河道長約50km)} = 42kmとして定めた。また、図-6は本川沿いの6箇所の水位観測所(図-2参照)における平均低水位の経年変化図であり、平衡状態に向いつつ河床が変動している様相がわかる。

5. 河道長と流域面積の関係

図-7は常呂川全流域に対するHorton方式の位数2以上62個の河道長 L とそれに対応する集水面積 A をプロットしたものであり、いわゆるHackの法則について検討したものである。Hackの法則は一般に、

$$L = kA^n, n \geq 0.5 \dots \dots (8)$$

で表わされ、 k は流域の特性によって異なる定数で、 n については0.5~0.7の範囲の値となるといわれている。図-7の実線は回帰線であり、回帰式は、相関係数0.937の(9)式である。

$$L = 0.974 A^{0.662} \dots \dots (9)$$

Horton方式の平均河道長 $\bar{L}_u$ と平均集水面積 $\bar{A}_u$ とを(1)式に基づいてその比をとると表-1の定数値 a, b により、

$$\frac{\log \bar{L}_u}{\log \bar{A}_u} = \frac{-0.281 + 1.016u}{-0.270 + 1.534u}$$

となり、 u に2~5を代入した場合、右辺はほぼ一定値0.64となり、(9)式の n の値とほぼ等しくなる。

6. あとがき

本研究は常呂川流域の地形特性に関する資料解析が主な内容であり、その結果を

参考文献

- 1) 高山 茂美 : 河川地形, 共立出版, 1974.
- 2) 藤田 睦博 : 流域地形構造と統計則(3), 土木学会北海道支部論文報告集, 32, 1976.
- 3) 岩佐義朗, 棚橋通雄, 中野正明 : 流域の地形形態に関する研究, 第31回土木学会年講, 1976.
- 4) Yang, C.T.: Potential Energy and Stream Morphology, W. R.R., 7-2, 1971.
- 5) 本間 仁 : 改訂河川工学, コロナ社, 1972.
- 6) Chow, V.T.: Handbook of Applied Hydrology, McGraw-Hill Book Company, 1964.