

II-18

流域場の国土数値情報に基づいた貯留関数法の総合化

北見工業大学工学部 正員 早川 博
 北見工業大学大学院 学生員 東村 和香子
 北見工業大学工学部 正員 内島 邦秀

1. はじめに

わが国の近代水文観測は、明治以来90年に達する。しかし、水文観測資料は決して十分なものではない。実用的な流出モデルである貯留関数法も、一般に水文資料から流出パラメータを同定する必要があり、その同定した流出パラメータを他の流域に適用しても必ずしも良い結果は得られていない。これは、主に流域場の地形、地質などの特性が流域毎に異なるためである。貯留関数法の総合化のアプローチとして、木村¹⁾のように数多くの流域の解析結果に基づいて経験法則からパラメータを総合化する方法と、物理モデルであるKinematic Wave法との水理学的な比較・検討からパラメータを総合化する方法がある。^{2, 3)}本研究は、前者の延長上にあり、地形、地質などの地理的情報として比較的容易に得ることができる国土数値情報を利用して、水文資料を用いることなく、国土数値情報から得た流域場の特性量のみから貯留関数法の流出パラメータを推定することを目的とする。

2. 流出パラメータの同定

貯留関数法の基礎式は次式で表される。

$$S = K Q^P \quad \dots(1)$$

$$S = \int_0^{T-T_i} I dt - \int_0^T Q dt \quad \dots(2)$$

ここで、S：貯留量、Q：流出量、I：流入量、K：貯留係数、P：貯留指数、 T_i ：遅滞時間である。流出量Qは直接流出量とするが、流出成分の分離には、第二変曲点による方法を用いた。また、流入量Iは有効雨量とし、流量の立ち上がり点以前を初期損失雨量として除いた総降雨量 Σr から流出率 $f = \Sigma Q / \Sigma r$ を求め、 $I = f * r$ とする一定比損失雨量法より算定した。

流出パラメータK、P、 T_i の同定は、まず、遅滞時間 T_i を適当に仮定し、S-Q曲線がほぼ一価関数となる T_i を探索し、そのときのK、Pを最小二乗法で同定した。さらに、この同定した結果を初期値として、SDFP(Standardized Davidon Fletcher Powell)法⁴⁾による流出パラメータK、P、 T_i の最適同定を行った。表-1は、1例として常呂川流域北見観測所の洪水毎の流出パラメータの同定結果である。K、P、 T_i の値は、総降雨 ΣR や雨量継続時間 T_R など雨の影響を無視できないので、雨の条件がなるべく近いものを選んで平均した。これを流域のK、P、 T_i の代表値とする。表-1では、*印の3つの洪水のK、P、 T_i をそれぞれ平均して北見の代表値とした。表-2には、今回対象とした11流域18観測所のK、P、 T_i の代表値および流域面積、本川長を示す。

表-1 K、P、 T_i の同定結果(常呂川流域北見観測所)

| 観測日 | Q ₀ (m ³ /sec) | Q _{max} (m ³ /sec) | ΣR (mm) | T _R (hr) | S-Q同定 | | | 最適同定 | | |
|-----------|-----------------------------------------|-------------------------------------------|------------|------------------------|-------|------|----------------|------|------|----------------|
| | | | | | K | P | T _i | K | P | T _i |
| *71.10.30 | 19.10 | 226.019 | 59.5 | 35 | 18.6 | 1.37 | 9 | 19.2 | 1.32 | 9.62 |
| *72.09.16 | 9.50 | 181.077 | 93.0 | 35 | 9.1 | 0.77 | 5 | 9.1 | 0.78 | 5.81* |
| *73.08.17 | 12.28 | 71.553 | 55.3 | 29 | 50.0 | 1.53 | 3 | 50.1 | 1.52 | 3.02 |
| *75.08.23 | 23.10 | 627.594 | 148.2 | 29 | 12.6 | 1.35 | 4 | 12.1 | 1.34 | 6.27* |
| *79.10.19 | 17.41 | 552.670 | 100.3 | 30 | 11.2 | 0.85 | 5 | 10.5 | 0.84 | 6.38* |
| *81.08.04 | 7.31 | 372.585 | 100.9 | 53 | 17.8 | 0.92 | 9 | 19.4 | 0.87 | 10.3 |

Generalization of Storage Function Model based on Geographic and Geologic Characteristics of River Basin by using Digital National Land Information
 by Hiroshi HAYAKAWA, Wakako HIGASHIMURA and Kunihide UCHIJIMA

3. 流域場の特性量の定量化

流域場の特性量は、国土数値情報に整備されている標高、起伏量、地形分類、表層地質、土壌分類、植生分類、谷密度の7項目を取り上げた⁵⁾。これらの情報は、メッシュ単位（今回は3次メッシュ、1km×1kmを採用）で与えられており、各流域の該当する特性量を抽出し、流域内に占める各々の項目の分類したメッシュ個数をカウントする。例えば地形分類（表-3.3）には、大起伏山地、中起伏山地、小起伏山地等の計25種類の分類があり、各々の分類が流域内に占めるメッシュ個数をカウントし、これが流域メッシュ個数に占める割合を特性値とした。表-3.1~3.7は標高、起伏量、地形分類、表層地質、土壌分類、植生分類、谷密度について分類した区分の内容を示している。

4. 流出パラメータの推定・検証

本研究の目的は、流域場の特性量のみから貯留関数法の流出パラメータを推定することである。それにはK, P, T_iの予測に影響を及ぼす支配的な因子（場の特性量）を明らかにする必要があり、この手法として重回帰分析を用いた。これは、ある変数Y（目的変数）とそれに影響する変数（説明変数）X₁, ..., X_pの

関係式を求め、これよりX₁, ..., X_pの値からYの値を予測したり、各Xの影響の大きさを評価する分析手法である。本研究では、目的変数はK, P, T_i、説明変数は流域場の特性量となる。ただし、遅滞時間T_iは以下に示す木村の関係式¹⁾からT_iを求め、先に同定したT_iとの偏差ΔT_iを目的変数とした。

木村の式

$$\left. \begin{aligned} T_i &= 0.0470L - 0.56 \quad (L > 11.9) & L: \text{本川長(km)} \\ T_i &= 0 & (L < 11.9) \quad T_i(\text{hr}) \end{aligned} \right\} \dots(3)$$

重回帰式

$$Y_i = b_0 + b_1 X_{1i} + b_2 X_{2i} + \dots + b_j X_{ji} + \dots + b_p X_{pi} + e_i \quad (i=1, 2, \dots, n) \quad \dots(4)$$

$$(j=1, 2, \dots, p)$$

ここで、Y: 目的変数 b₁, ..., b_p: 回帰係数 e: 誤差
 X₁, ..., X_p: 説明変数 n: データの個数
 b₀: 定数項 p: 説明変数の個数

流域場の特性量からK, P, T_iを予測する上で、説明変数である流域場の特性量が表-3.1~3.7のように数多く存在するため、K, P, T_iの予測に役立つ説明変数を選定して分析を行う必要がある。説明変数の選定が不適切な場合、次の問題が生じる⁶⁾。①無駄な変数が含まれている。②必要な変数がもれている。③説明変数の中に互いに相関の高い変数が含まれている。そこで、説明変数の中から①の場合はその変数をおとし、②の場合はその変数を採用する変数増減法を用いて説明変数を選択する。③の場合は、回帰係数の推定値の精度が悪くなる（多重共線性と呼ぶ）ので、この多重共線性の検定をするために、各変数X_jと残り(p-1)の変数の間の重相関係数R_jを求め、分散拡大要因(VIF),

$$VIF = 1 / (1 - R_j^2) \quad \dots(5)$$

表-2 K, P, T_iの代表値

| 番号 | 流域名 | 観測場所 | 面積(km ²) | 本川長(km) | K | P | T _i |
|----|-----|------|----------------------|---------|------|------|----------------|
| ① | 常呂 | 北見 | 1394.2 | 121.017 | 10.6 | 0.98 | 6.15 |
| ② | | 置戸 | 421.7 | 38.145 | 12.3 | 0.99 | 2.39 |
| ③ | 湧別 | 中湧別 | 1452.5 | 91.763 | 20.8 | 1.00 | 5.42 |
| ④ | | 丸瀬布 | 802.0 | 48.499 | 19.3 | 0.84 | 3.11 |
| ⑤ | | 渚滑 | 163.1 | 30.466 | 25.2 | 0.73 | 3.44 |
| ⑥ | | 渚滑 | 1225.6 | 71.135 | 10.7 | 1.17 | 7.00 |
| ⑦ | 留萌 | 大和田 | 245.0 | 42.774 | 12.0 | 0.98 | 3.81 |
| ⑧ | | 峠下 | 48.7 | 18.193 | 16.8 | 0.81 | 3.62 |
| ⑨ | | フハヘリ | 42.0 | 11.629 | 15.5 | 0.63 | 1.29 |
| ⑩ | 名寄 | 真黌別 | 696.6 | 62.267 | 25.0 | 0.62 | 4.17 |
| ⑪ | 剣淵 | 士別 | 612.4 | 44.759 | 17.4 | 1.01 | 7.27 |
| ⑫ | 愛別 | 中愛別 | 1082.5 | 69.494 | 12.8 | 0.73 | 3.91 |
| ⑬ | 空知 | 金山 | 470.0 | 38.409 | 9.0 | 0.90 | 2.27 |
| ⑭ | 美瑛 | 西神楽 | 645.0 | 62.794 | 15.0 | 0.60 | 4.50 |
| ⑮ | 沙流 | 富川 | 1323.0 | 106.029 | 14.1 | 0.89 | 6.08 |
| ⑯ | | 振内 | 724.4 | 33.185 | 24.3 | 0.77 | 4.24 |
| ⑰ | | 貫気別 | 365.8 | 34.104 | 14.8 | 0.89 | 0.54 |
| ⑱ | 釧路 | 標茶 | 894.6 | 98.171 | 10.4 | 0.91 | 3.47 |

表-3.1 標高

| 区分1 | 区分2 | 区分3 |
|----------------------------------|------------|-----------|
| (5)(1)10(2)150(3)100(4)200(5)未未満 | 0-200m(1) | 0-400m(1) |
| 300(6)400(7)未未満 | ~400m(2) | |
| 500(8)600(9)未未満 | ~600m(3) | ~800m(2) |
| 700(10)800(11)未未満 | ~800m(4) | |
| 900(12)1000(13)未未満 | ~1000m(5) | 800m以上(3) |
| 1000m以上(14) | 1000m以上(6) | |
| その他(15) | その他(7) | その他(4) |

表-3.2 起伏量

| 区分1 | 区分2 | 区分3 |
|-------------------|----------|--------|
| (25)(1)350(2)未未満 | 0-50m(1) | 0-100 |
| 75(3)100(4)未未満 | ~100m(2) | (1) |
| 125(5)150(6)未未満 | ~150m(3) | ~200 |
| 175(7)200(8)未未満 | ~200m(4) | (2) |
| 225(9)250(10)未未満 | ~250m(5) | 200m以上 |
| 275(11)300(12)未未満 | ~300m(6) | (3) |
| 325(13)350(14)未未満 | 300m以上 | |
| 350m以上(15) | | (7) |

表-3.4 表層地質

| 区分1 | 区分2 | 区分3 | 区分4 |
|-------------------------------|------------|------------|---------------|
| 礫(1)砂(2) | 岩体軟-岩片軟(1) | 岩体軟(1) | 未固結 堆積物(1) |
| 礫・砂(3)砂・礫・粘土(4) | 岩体軟-岩片中(2) | 岩体軟-岩片中(2) | |
| 砂層物(5)礫・砂・粘土(6) | 岩体軟-岩片硬(3) | 岩体軟-岩片硬(3) | |
| 粘土(7)泥炭(8) | 岩体中-岩片軟(4) | 岩体中(2) | |
| 礫岩(9) | 岩体中-岩体中(5) | 岩体中(3) | 半固結- 固結 |
| 砂岩(10)珪岩質岩(11) | 岩体中-岩片硬(6) | 岩体中(4) | 堆積物(2) |
| 石灰岩(12)泥岩(13) | 岩体硬-岩体軟(7) | 岩体硬(4) | |
| 砂岩・泥岩互層(14)砂岩・礫岩(15) | 岩体硬-岩体中(8) | 岩体硬-岩体中(8) | |
| 泥岩(16)板岩(17) | 岩体硬-岩片硬(9) | 岩体硬-岩片硬(9) | |
| 砂岩・泥岩互層(18) | --- | --- | |
| ローム(19) | ローム(10) | ローム(5) | 火山性 岩類(3) |
| 火山砕層物(21) | 火山灰(11) | 火山灰(6) | |
| 軽石堆積物(22) | 火山砕層物(12) | 火山 | |
| (火山・礫状)消糜岩(23)凝灰質岩(24) | 凝灰岩(14) | 砕層物(7) | |
| (凝灰(25)安山(26)玄武(27))岩質岩石 | 熔岩(15) | 熔岩液(8) | |
| 凝灰(28)(花崗(29)閃石(30)蛇紋(31)輝石) | 凝灰岩(16) | 凝灰岩類(9) | 凝灰岩類(4) |
| #47, #48(33)結晶片(34)片麻(35)岩質岩石 | 凝灰岩類(17) | 凝灰岩類(10) | 凝灰岩類(5) |

表-3.6 植生分類

| 区分1 | 区分2 |
|------------------|-----------------------------|
| 自然選1(市街地等)(1) | 市街地等(1) |
| 自然選2(畑・牧草地等)(2) | 畑・ 果樹園等(2) |
| 自然選3(果樹園等)(3) | 果樹園等(3) |
| 自然選4(雑草群落等)(4) | 雑草・草原等*(3) |
| 自然選5(ササ群落等)(5) | 雑林・ 自然林軟(4) |
| 自然選6(マツ等雑林)(6) | 自然林硬(4) |
| 自然選7(シカM群落等)(7) | 自然選7(シカM群落等)(7) |
| 自然選8(ミナリ群落等)(8) | 自然選8(ミナリ群落等)(8) |
| 自然選9(自然低木林等)(9) | 自然選9(自然低木林等)(9) |
| 自然選10(自然草原等)(10) | * (8)(10)(11)雑林 グライ土壌(5) |

表-3.7 谷密度

| 区分1 | 区分2 | 区分3 |
|-------------------|----------|-------|
| (2)(4)(2)未未満 | 0-4本(1) | 0-8本 |
| (6)(3)8(4)未未満 | ~8本(2) | (1) |
| (10)(5)12(6)未未満 | ~12本(3) | ~16本 |
| (14)(7)16(8)未未満 | ~16本(4) | (2) |
| (18)(9)20(10)未未満 | ~20本(5) | 16本以上 |
| (22)(11)24(12)未未満 | ~24本(6) | (3) |
| (26)(13)28(14)未未満 | 24本以上(7) | |
| 28本以上(15) | | (7) |

表-3.3 地形分類

| 区分1 | 区分2 | 区分3 | 区分4 |
|---------------------------|-------------|-------------|--------|
| (大(1)中(2)小(3))起伏山地 | 山地(1) | 山地(1) | 山地(1) |
| 山麓地(4) | 山麓地(2) | 山麓地(2) | |
| (大(5)中(6)小(7))起伏火山地 | 火山地(3) | 火山地(3) | 火山地(2) |
| 火山麓地(8) | 火山麓地(4) | 火山麓地(4) | |
| (大(9)小(10))起伏丘陵地 | 丘陵地(5) | 丘陵地(5) | 丘陵地(3) |
| 火山性丘陵地(11) | 火山性丘陵地(6) | 火山性丘陵地(6) | |
| p-1台地(上位(12)中位(13)下位(14)) | p-1台地(7) | p-1台地(7) | 台地(4) |
| 砂礫台地(上位(16)中位(17)下位(18)) | 砂礫台地(8) | 砂礫台地(8) | |
| 礫台地(上位(19)中位(20)下位(21)) | 礫台地(9) | 礫台地(9) | |
| 扇状地性低地(22) | 扇状地性低地(15) | 扇状地性低地(15) | 低地(5) |
| 三角州低地(23) | 三角州低地(16) | 三角州低地(16) | |
| 自然堤防・砂州(24) | 自然堤防・砂州(17) | 自然堤防・砂州(17) | |
| 湖沼(25)河川(26) | 湖沼・河川(18) | 湖沼・河川(18) | |

表-3.5 土壌分類

| 区分1 | 区分2 | 区分3 | 区分4 |
|--------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| (高山性岩屑土壌(1)岩屑土壌(2))-岩石地 | 岩石地(1) | 岩石地(1) | 岩石地(1) |
| (残積性(3)砂丘(4)浸性砂丘(5)火山崩出物(6)) | 未熟土壌(2) | 未熟土壌(2) | 未熟土壌(2) |
| 粗粒火山崩出物(7)浸性粗粒火山崩出物(8))未熟土壌 | 未熟土壌(2) | (8)(20)(8)粘粒 | 土壌(2) |
| (累層(9)浸性累層(10))くろぼく土壌 | くろぼく土壌(3) | くろぼく土壌(3) | くろぼく土壌(3) |
| くろぼく土壌(a(11)b(12)) | 土壌(3) | (8)(20)(9)粘粒 | ぼく土壌(3) |
| 湿性くろぼく土壌(a(13)b(14)) | | | |
| (未熟(15)湿性未熟(16))くろぼく土壌 | | | |
| 淡色くろぼく土壌(a(17)b(18)) | | | |
| 褐色森林土壌1(19) | 褐色森林土壌1(4) | 褐色森林土壌1(4) | 褐色森林土壌1(4) |
| 褐色森林土壌2(20) | 褐色森林土壌2(5) | 褐色森林土壌2(5) | 褐色森林土壌2(5) |
| 褐色森林土壌3(21) | 褐色森林土壌3(6) | 褐色森林土壌3(6) | 褐色森林土壌3(6) |
| 褐色森林土壌4(22) | 褐色森林土壌4(7) | 褐色森林土壌4(7) | 褐色森林土壌4(7) |
| 褐色森林土壌-くろぼく土壌(23) | 褐色森林土壌-くろぼく土壌(9) | 褐色森林土壌-くろぼく土壌(9) | 褐色森林土壌-くろぼく土壌(9) |
| 褐色森林土壌-乾性*P*粘土壌(25) | *P*粘土壌(10) | *P*粘土壌(10) | *P*粘土壌(10) |
| 暗色茶褐色森林土壌-*P*粘土壌(26) | *P*粘土壌(11) | *P*粘土壌(11) | *P*粘土壌(11) |
| *P*粘土壌(1(27)2(28)-高山性岩屑土壌(29)) | ポトノル(12) | ポトノル(8)* | ポトノル(8)* |
| 褐色低地土壌(30)暗色褐色低地土壌(31) | 褐色低地土壌(13) | 褐色低地土壌(13) | 褐色低地土壌(13) |
| 暗色低地土壌(32)灰色低地土壌(33) | 灰色低地土壌(14) | 灰色低地土壌(14) | 灰色低地土壌(14) |
| 暗色低地土壌(34)灰色台地土壌(35) | グライ土壌(15) | グライ土壌(15) | グライ土壌(15) |
| 暗色低地土壌(36)グライ土壌(37) | 泥炭土壌(16) | 泥炭土壌(16) | 泥炭土壌(16) |
| 暗色低地土壌(38)P*粘土壌(39) | 市街地等(17) | 市街地等(17) | 市街地等(17) |
| 暗色低地土壌(41)低位(42)泥炭土壌 | | | |
| その他(市街地等)(43) | | | |

を用いる。VIFが大きい(VIF ≥ 10)とき多重共線性が問題になるため、この変数は採用しないものとする。また、回帰モデルの適合度の検定には、自由度調整済み重相関係数Rを求める方法と、分散分析を用いた。ここで、重相関係数Rが大きいほど回帰モデルの適合度が高いと考えられ、分散分析は分散比F₀がF₀ ≥ F_{N-P-1}(α)ならば回帰モデルは有意とし、有意水準α = 5%とした。

(1)各項目毎の重回帰分析

まず初めに、各項目毎にK, P, T_iとの重回帰分析を行うが、前述したように説明変数の個数が多いので、国土数値情報の分類をそのまま説明変数としたものを区分1とし、区分けを大きくできるものは、表-3.1~3.7の区分2,

3, 4のようにして変数の個数を減らした。表-4.1はKを目的変数とした場合の各区分1~4について、各項目毎にK, P, T_iとの重回帰分析を行った結果である。表-4.1の区分1の標高を例にあげて説明すると、

表-4.1 Kの分析結果

| 目的変数 Y:K | 区分1 | | | 区分2 | | | 区分3 | | | 区分4 | | |
|-------------|------|---|---------------------------------------------------|------|---|-------------------------------------------|------|---|-------------------|------|---|------------|
| | R | F | 影響がある変数 | R | F | 影響がある変数 | R | F | 変数 | R | F | 変数 |
| 標高 | 0.25 | × | 5, 11, 15 | 0.25 | × | 1, 4, 7 | 0.14 | × | 4 | | | |
| 起伏量 | 0.43 | × | 2, 12, 13, 15 | 0.21 | × | 7 | 0.18 | × | 3 | | | |
| 地形分類 | 0.74 | ○ | 4, 14, 15, 16, 17, 19, 21, 23 | 0.64 | ○ | 1, 12, 14, 15, 17 | 0.55 | ○ | 7, 9, 12 | 0.24 | × | 2 |
| 表層地質 | 0.99 | ○ | 6, 13, 15, 18, 20, 22, 23, 24, 25, 27, 29, 32, 35 | 0.64 | × | 2, 3, 5, 8, 11, 12, 13 | 0.24 | × | 3, 6, 11 | - | - | - |
| 土壌分類 | 0.98 | ○ | 1, 2, 15, 16, 19, 22, 24, 25, 27, 29, 31, 34, 37 | 0.93 | ○ | 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 16, 17 | 0.52 | × | 3, 4, 5, 7, 9, 11 | 0.50 | × | 4, 5, 6, 8 |
| 植生分類 | 0.30 | × | 1, 4, 5, 10 | 0.22 | × | 3, 5 | | | | | | |
| 谷密度 | 0.53 | × | 1, 2, 5, 6, 7, 14, 15 | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

まず表-3.1の区分1の標高の5m未満(1)からその他(15)の計15個の説明変数の中から変数増減法を用いて、VIF < 10を満たし、かつ重相関係数Rが最も大きくなる(標高ではR = 0.25)説明

表-4.2 Pの分析結果

| 目的変数 Y:P | 区分1 | | |
|-------------|------|---|-------------------------------------------|
| | R | F | 影響がある変数 |
| 標高 | 0.40 | × | 2, 4, 5, 10 |
| 起伏量 | 0.23 | × | 1, 10, 11 |
| 地形分類 | 0.77 | ○ | 5, 15, 16, 19, 21, 22 |
| 表層地質 | 0.74 | ○ | 10, 11, 13, 17, 27, 31 |
| 土壌分類 | 0.99 | ○ | 2, 18, 21, 25, 26, 29, 31, 32, 36, 42, 43 |
| 植生分類 | 0.39 | × | 1, 9, 10 |
| 谷密度 | 0.61 | ○ | 7, 9, 14, 15 |

表-4.3 T_iの分析結果

| 目的変数 Y:T _i | 区分1 | | |
|--------------------------|------|---|---------------------------|
| | R | F | 影響がある変数 |
| 標高 | 0.78 | ○ | 4, 5, 12, 14, 15 |
| 起伏量 | 0.58 | × | 1, 2, 4, 13, 14 |
| 地形分類 | 0.85 | ○ | 1, 2, 7, 15, 17, 19, 21 |
| 表層地質 | 0.92 | ○ | 8, 23, 24, 25, 27, 30, 32 |
| 土壌分類 | 0.91 | ○ | 7, 16, 19, 21, 24, 30 |
| 植生分類 | 0.62 | ○ | 2, 4, 9 |
| 谷密度 | 0.64 | ○ | 1, 13, 14, 15 |

変数の組み合わせを見つけ出す。その結果200m未満(5), 800m未満(11), その他(15)が選ばれ、これを表-4.1の影響がある変数として区分1の番号5, 11, 15を示した。表のFは、分散分析で分散比F₀が有意水準5%を満たす場合を○とし、標高では満たさなかったので×とした。このように表にはR, F, 影響のある変数を示し、影響のある変数に示す番号は前述の表-3.1~3.7の各区分1~4の番号と対応している。表-4.1より、区分が1より2, 2より3と大きく区分けするほど、回帰モデルの適合度は悪くなっており、区分1のように細かく区分けしたもののモデルの適合度が良い。これは、詳細な区分けの方が流域の地形や地質などの特性を特徴づけられるためと考えられる。P, T_iについても同様の結果が得られたので、区分1を説明変数として各項目毎に影響する因子を見てみる。

表-4.1~4.3から、各項目毎にK, P, T_iに影響がある変数の組み合わせはそれぞれ異なっているが、回帰モデルの適合度を表す重相関係数RはK, P, T_iとも表層地質, 土壌分類が高い。これは標高から谷密度の7項目の中でも特に、表層地質は35種類, 土壌分類は43種類と分類個数が多く、予測に役立つ因子を数多くの中から選定できることが理由の1つとして考えられる。一方、T_iは7項目それぞれに対してRは同程度であり、表-4.3のFで起伏量以外は全て分散比が有意になった。図-1.1~1.3は表-4.1~4.3の各項目の影響がある変数を説明変数として重回帰分析したK, P, T_iの予測値とSDFP同定による流域毎の代表値との相対誤差を図示している。流域番号は表-2の流域観測所の番号に対応している。図をみてもK, Pは表層地質, 土壌分類が誤差が小さいことがわかる。

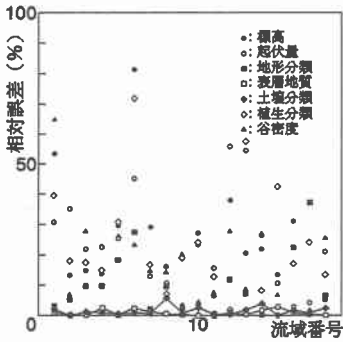


図-1.1 各項目毎のKの相対誤差

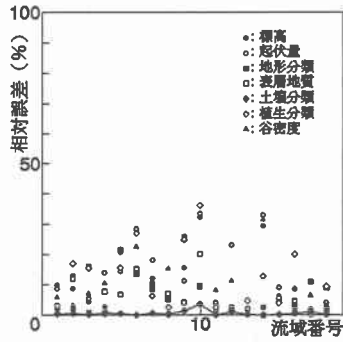


図-1.2 各項目毎のPの相対誤差

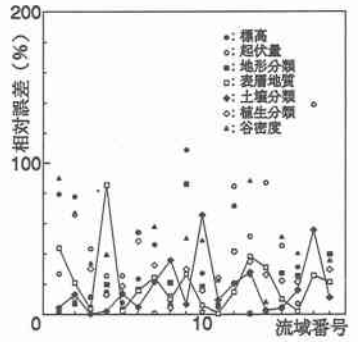


図-1.3 各項目毎のT_iの相対誤差

(2)変数を一括した重回帰分析

次に、標高、起伏量、谷密度の特性量は、量的な情報であるので、これらを一括して変数1としてK、P、T_iを予測する。残りの質的な情報である地形分類と表層地質と土壌分類と植生分類も一括して変数2とし、標高から谷密度の7項目全てを一括したものを変数3として同様に検討する。ただし、変数1、2、3とも区分1を説明変数とし、例えば変数1の場合、標高(表-3.1)、起伏量(表-3.2)、谷密度(表-3.7)の区分1の全ての変数の中からK、P、T_iの予測に役立つ説明変数をそれぞれ選定した。これらの重回帰分析の結果を表-5.1~5.3に示す。これより、上記の標高から谷密度の各項目毎にK、P、T_iを予測するよりも、変数1、2、3のように一括した変数から予測する方が、回帰モデルの適合度が良い。

これは、流出パラメータK、P、T_iが流域場における地形、地質、土壌などさまざまな特性の影響を受けていることには

かならない。予測値の誤差表示の図-2.1~2.3は、図1.1~1.3と比較してかなり小さくなっている。

(3)ハイドログラフでの検証

K、P、T_iの予測に最も影響を及ぼす流域場の特性量は、Kについては7項目全てを一括した変数3の起伏量(225~250m未満)、地形分類(小起伏火山性、砂礫台地(下位))、表層地質(安山岩質岩石、玄武岩質岩石)、土壌分類(岩屑土壌-岩石地、粗粒火山噴出物、粗粒褐色低地土壌、粗粒灰色低地土壌、その他(市街地等))、植生分類(自然度6(マサ等植林地))、Pは土壌分類1項目のみの(岩屑土壌-岩石地、褐色(ろば)土壌(b)、褐色森林土壌3、褐色森林土壌-乾性ホトゾノ土壌、暗色赤褐色森林土壌-ホトゾノM化土壌、ホトゾノM化土壌-高山性岩屑土壌、粗粒褐色低地土壌、細粒灰色低地土壌、粗粒クワ仕土壌、低位泥炭土壌、その他(市街地等))、T_iは7項目全て一括した変数3の谷密度(24~26本未満、28本以上)、地形分類(小起伏火山性)、表層地質(礫岩、粘板岩、輝綠岩質岩石)、土壌分類(粗粒火山噴出物、くろぼく土壌(a)、褐色森林土壌1、ホトゾノM(仕度1))となった。これらの特性量のみから推定したK、P、T_iを用いてハイドログラフの再現計算をしたのが図-3.1~3.3である。図-3.1は最初に取り上げた常呂川流域の北見で、観測流量との相対誤差はS-Q同定の場合が14%、最適同定が10%、重回帰分析が9%となった。図-3.2は重回帰分析のK、P、T_iの予測誤差が大きかった名寄川

表-5.1 Kの分析結果

| Y:K | R | F | 影響がある変数 |
|-----|------|---|---------------------------------------------------------------|
| 変数1 | 0.72 | ○ | 標高(13)起伏量(1,15) 谷密度(3) |
| 変数2 | 0.99 | ○ | 地形分類(7,17) 土壌分類(2,15,31,34,43) 植生分類(6)表層地質(17,27) |
| 変数3 | 0.99 | ○ | 起伏量(10)地形分類(7,17) 表層地質(26,27)植生分類(6) 土壌分類(2,7,31,34,43) |

表-5.2 Pの分析結果

| Y:P | R | F | 影響がある変数 |
|-----|------|---|---------------------------------------------------------|
| 変数1 | 0.88 | ○ | 標高(9)起伏量(1,4,7,13) 谷密度(9) |
| 変数2 | 0.99 | ○ | 地形分類(3) 表層地質(9,11,13,23) 土壌分類(2,4,15,16,43) |
| 変数3 | 0.99 | ○ | 標高(10)谷密度(9,14) 地形分類(17)表層地質(11,13) 土壌分類(2,31,34) |

表-5.3 T_iの分析結果

| Y:T _i | R | F | 影響がある変数 |
|------------------|------|---|--------------------------------------------------------|
| 変数1 | 0.87 | ○ | 標高(6,14)起伏量(2,8,14) 谷密度(1,3,8,14,15) |
| 変数2 | 0.99 | ○ | 地形分類(10) 表層地質(4,14,18,21,30) 土壌分類(7,16,43) |
| 変数3 | 0.99 | ○ | 谷密度(13,15)地形分類(7) 表層地質(9,17,32) 土壌分類(7,11,19,27) |

流域の真敷別で、観測流量との誤差はS-Q同定が26%、最適同定が22%、重回帰分析が25%である。また、図-3.3は重回帰分析に含めなかった網走川流域の本郷で、観測流量との誤差は、S-Q同定が18%、最適同定が17%、重回帰分析が27%となり、流域場の特性量のみから推定した流出パラメータは、同定したパラメータと比較して十分妥当な結果を与えることを示している。

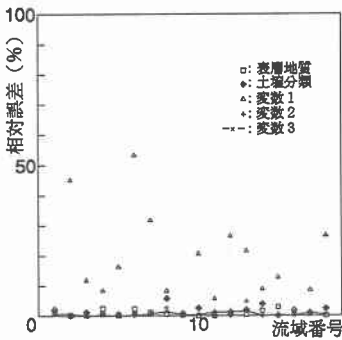


図-2.1 Kの相対誤差

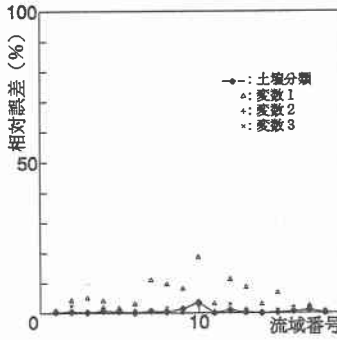


図-2.2 Pの相対誤差

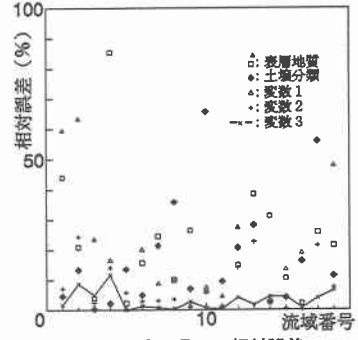


図-2.3 Ttの相対誤差

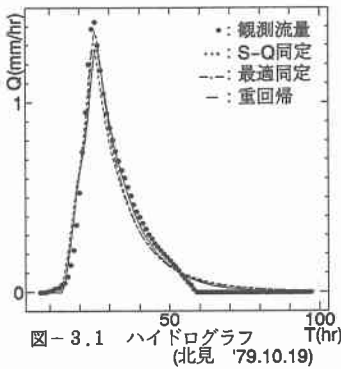


図-3.1 ハイドログラフ (北見 '79.10.19)

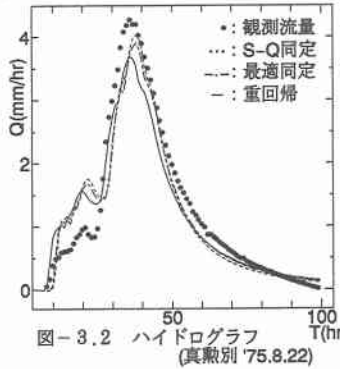


図-3.2 ハイドログラフ (真敷別 '75.8.22)

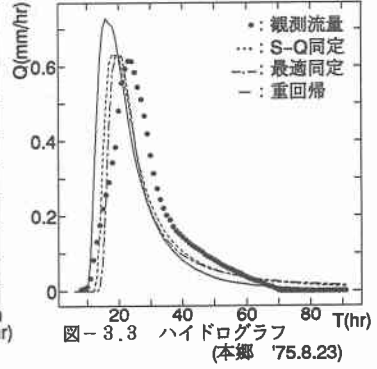


図-3.3 ハイドログラフ (本郷 '75.8.23)

5. おわりに

今回は、北海道の一級河川を対象とし、流域場の特性量のみから各流域の平均的な流出パラメータを推定し、それが流出解析において十分実用的であることを示した。しかし、実際には同じ流域においても、降雨の影響によって流出パラメータK, P, Ttが変動すると考えられるので、今後は、降雨による影響を重回帰分析に取り込んでいく予定である。

<参考文献>

- 1) 木村俊晃：貯留関数法，河鍋書店，1975。
- 2) 藤田睦博：斜面長の変動を考慮した貯留関数法に関する研究，土木学会論文報告集，第314号，pp. 75～86，1981。
- 3) 星清・山岡勲：雨水流法と貯留関数法との相互関係，第26回水理講演会論文集，pp. 273～278，1982。
- 4) 角屋睦・永井明博：流出解析法—SDFP法による貯留関数法の最適同定—，農業土木学会誌，第48巻，第11号，pp. 65～70，1980。
- 5) 国土庁計画・調整局，建設省国土地理院編：国土数値情報，大蔵省印刷局，1987。
- 6) 田中豊・垂水共之・脇本和昌：パソコン統計解析ハンドブックⅡ多変量解析編，共立出版，1984。