

瀬戸内島しょ部水源地域における流出解析

小川 滋*・伏見 知道*・井上 輝昭**

Runoff Analysis on the Basin of Water Resouces in the Seto Inland Sea Region

Shigeru OGAWA, Tomomichi FUSHIMI
and Teruaki INOUE

Summary : The Seto Inland Sea Region, especially the district of Islands, is poor in annual precipitation (less than 1500 mm/year) compared with mean annual precipitation in Japan. Therefore, in the district of Islands, the groundwater is most commonly used as the water resouces. The surface waters, however, is not negligible. If the surface waters can be utilized, it is convenient and inexpensive compared with the utilization of groundwater.

With those points as background, we surveyed the runoff on the experimental small watershed (21.17 ha) in Ohmishima island (Ehime Prefecture). The method of a Tank-Model is applied to this watershed, and the runoff structure of it is analyzed by this method.

As the results of this analysis, we obtain the parameters of the Tank-Model that predict the hydrograph of daily runoff, and the problems of water utilization are discussed by this model.

要 旨 瀬戸内地域、とくに島しょ部においては、日本の年平均降水量と比べると、少雨地域である。このような島しょ部においては、水源として、地下水をもちいるのが一般的である。しかしながら、河川における表流水がないわけではなく、もし利用が可能であれば、便利である。

そこで、愛媛県大三島町に設けられた試験流域における量水観測資料をもとに、タンクモデルによる流出解析をおこない、日流量の予測モデルを作成し、水利用についての問題点を検討した。

* 森林工学研究室 Laboratory of Forest Engineering

** 森林工学研究室 (現福岡県立豊津高等学校) Laboratory of Forest Engineering (Present TOYOTSU Senior High School, FUKUOKA Prefecture)

1. ま え が き

日本の年平均降水量の分布によると、瀬戸内地域は、年平均降水量 1500 mm 以下の少雨量地域とされており、とくに、島しょ部において、少なくなっている¹⁾。このような島しょ部では、水源流域としても小さいのが普通であるため、水源としては、地下水利用が一般的である。しかし、表流水は、とくに豪雨時などに、無効に海へと流出する場合が多く、もし、このような表流水を有効に水利用できれば、少雨量地域としては、非常に価値あるものとなるであろう。それゆえ、そのような表流水の流出予測もまた、必要となると考えられる。そこで、島しょ部に設けられた試験流域について、水文特性を検討し、タンクモデルによる流出予測のモデルを作成し、水利用に関する問題点について考察を加えた。

2. 試験地の概要

試験流域は、愛媛県越智郡大^{うてな}三島町台に河口をもつ、台川の支流滝山川で、位置および、地形は、図-1 に示すようである。流域面積は、21.17 ha で、平均傾斜勾配 32° の急峻地形である。地質は、領家帯の花崗岩が主で、土質は、砂質ロームで、土壌は、乾燥性土壌である。林況は、主に、中アカマツ、ヒサカキ、ネズミサン、コシダ群相が、約 56%、大アカマツ、ヒサカキ群相が、27% であり、一部に裸地も存在する。気象は、宮浦観測所における年降水量の平均値 (1961~1970 年) は、1190 mm、平均気温は、15.3°C である。

標高 175 m 付近に設けられた滝山第 1 号治山堰堤を利用して、三角ゼキによる量水観測が、1974 年よりおこな

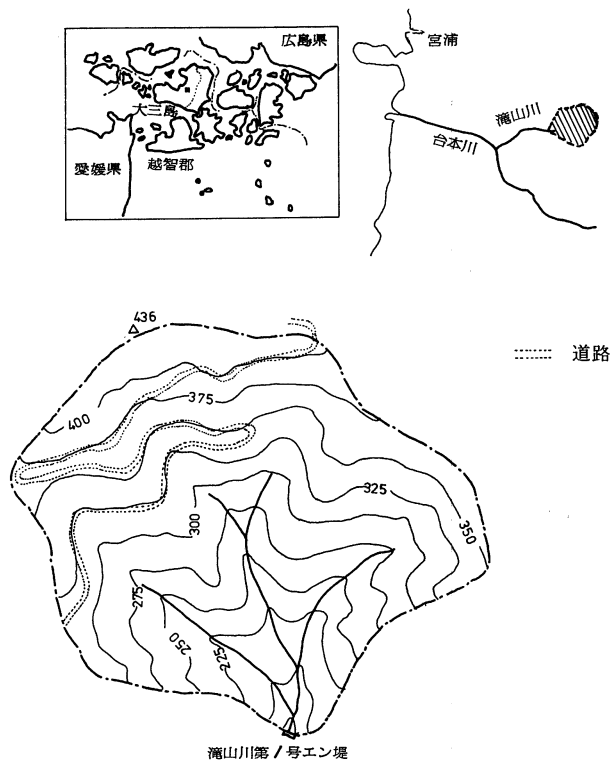


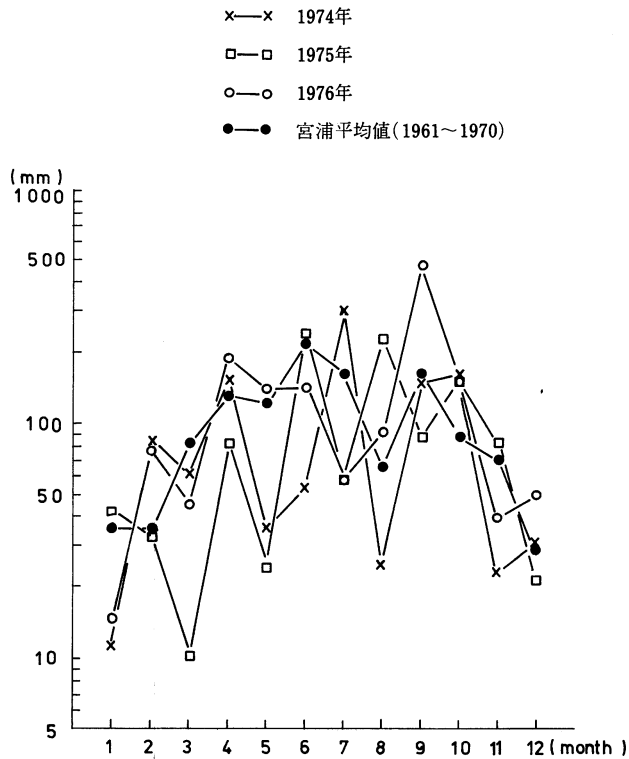
図-1 滝山試験地の位置および地形

われている。水位記録より、2時間毎の流量を積算して、日比流量とした。また、量水観測設備の付近に、自記雨量計を設置して、雨量観測をおこなった。

3. 降水量および流出量の特徴

水年を4月から3月までとし、1974年4月～1977年3月まで、3年間の資料について、降水量、流出量の特徴を考察する。図一2に、試験地における各年の月別降水量と、比較のため、宮浦の10年間の平均値を示す。宮浦の平均値は、瀬戸内型といわれる8月極小の型を示している。試験地においても、若干のずれはあっても、7月あるいは、8月に極小の型をもっているが、各年毎に、月別降水量は、大きな変動を示している。しかし、梅雨期、台風期に降水量が大きく、その各年降水量に対する割合は、1974年7月（梅雨期）、9月10月（台風期）で、50.7%、1975年6月（梅雨期）、8月9月（台風期）で、56.8%、1976年9月（台風7617号、5日間）で、30%を占めており、とくに、少雨地域のため、降水量の片寄りが著しくあらわれている。

また、流出量も、降水量と関連して、同様な傾向を示しており、図一3に流況曲線を示すが、瀬戸内の四国側河川（5河川、26測水所）における値と比較して、小さな値を示している。これらに関しては、前に、著者らが若干の考察を加えているので、それを参照されたい²⁾。これは、小流域であるほど、流量の変化率が大きいという関係もあるが、一般的な傾向として、表層土の乾燥性土壌の保水能が小さいためと考えられる。なお、表一1に3年間の流況流量、年降水量、流出係数の値を示す。



図一2 各年の月別降水量

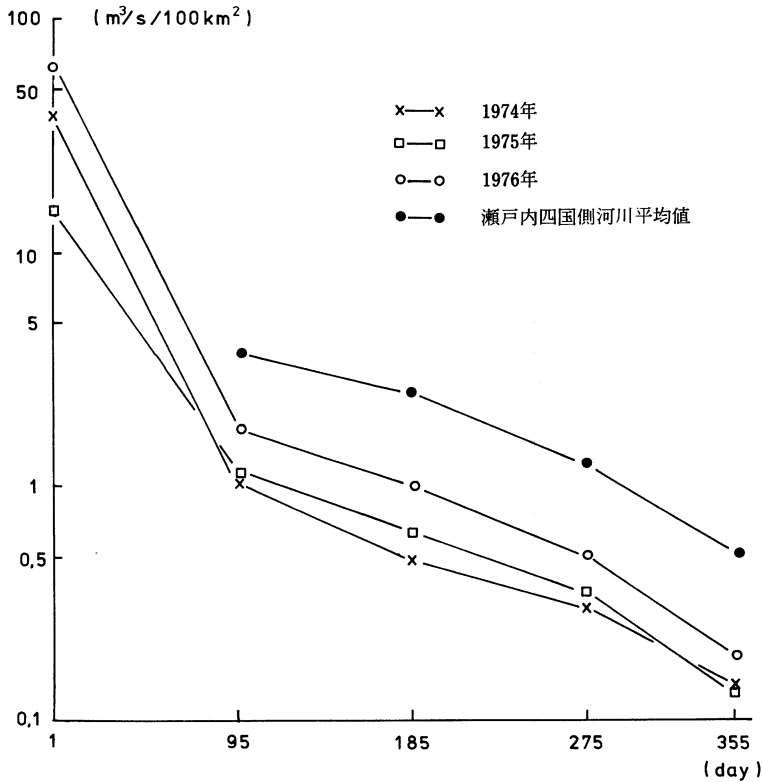


図-3 流況曲線

表-1 流況表

4. 蒸発散量の推定

少雨量地域においては、とくに蒸発散量は、重要な水文要素である。蒸発散量の推定は、水収支、熱収支などの測定による方法と、推定式をもちいる方法がある。本試験地では、水面蒸発計などによる蒸発量の測定もおこなっていない、小流域での水収支法は、流出量として、地下水流出量の補足が、十分でないことなどのため、蒸発散の推

水年	1974	1975	1976
降水量(mm)	981.1	1115.6	1429.0
流出量(mm)	427.8	348.6	725.7
流出係数	0.44	0.31	0.51
最大流量(mm)	33.20	12.89	53.35
豊水流量(mm)	0.91	0.95	1.61
平水流量(mm)	0.43	0.54	0.87
低水流量(mm)	0.27	0.30	0.45
渇水流量(mm)	0.12	0.11	0.16

定式によるものとした。推定式として、気温資料のみで推定できる、簡便なソーンスウェイト式をもちいた。気温資料としては、宮浦観測所における月平均気温をもちいている。表-2に、試験地における各年の月別降水量と、蒸発散能を示す。降水量と、蒸発散能の差が、土壌の乾燥性の指標と考えられるが、それぞれの年によって、降水量との関係で異なっており、とくに、梅雨期、台風期の降水量が、大きな影響を与えている点が、注目されるであろう。この蒸発散能は、月平均気温、月平均可照時間によって求められているので、実際の蒸発散量を与えているというより、潜在的な蒸発散値と解釈すべきであろう。なお、ソーンスウェイト式による蒸発散能の求め方は、つぎのようである。

表一 2 降水量と蒸発散能

年 月	1974 (mm)			1975 (mm)			1976 (mm)			平均日 蒸発散 能 (mm)
	降水量	蒸発散能	降水量 - 蒸発散能	降水量	蒸発散能	降水量 - 蒸発散能	降水量	蒸発散能	降水量 - 蒸発散能	
1	11.0	4.6	6.4	40.5	7.4	33.1	10.4	9.3	1.1	0.23
2	77.5	6.2	71.3	33.3	4.7	28.6	80.0	17.9	62.1	0.34
3	58.1	15.9	42.2	9.6	15.1	- 5.5	44.0	21.6	22.4	0.57
4	148.0	50.6	97.4	82.2	45.8	36.4	183.8	45.7	138.1	1.58
5	33.4	81.2	- 47.8	23.0	79.7	- 56.7	134.0	81.6	52.4	2.61
6	50.5	106.8	- 56.3	239.0	115.5	123.5	138.2	113.9	24.3	3.74
7	296.4	142.2	154.2	55.6	154.7	- 99.1	54.5	142.2	- 87.7	4.72
8	24.0	151.2	-127.2	229.5	155.9	73.6	90.0	146.7	- 56.7	4.88
9	144.3	109.0	35.3	83.8	126.2	- 42.4	462.2	98.2	364.0	3.70
10	155.0	71.0	84.0	151.2	67.4	83.8	143.2	64.7	78.5	2.18
11	13.0	30.2	- 17.2	80.6	33.0	47.6	38.5	24.8	13.7	0.98
12	31.2	14.4	16.8	21.2	17.9	3.3	49.3	11.6	37.7	0.47

$$E_{PT} = 0.533 D_o \left(\frac{10 t_j}{J} \right)^a \quad (1)$$

$$a = 6.75 \times 10^{-7} J^3 - 7.71 \times 10^{-5} J^2 + 1.79 \times 10^{-2} J + 0.49$$

$$J = \sum_{j=1}^{12} \left(\frac{t_j}{5} \right)^{1.514}$$

ここで E_{PT} : 月平均日蒸発散量 (mm/day), 0.533 を 16 とすると, 1 ヶ月を 30 日とした月蒸発散量 (mm/month), D_o : 可照時間 (12hr/day) (緯度別可照時間表による), 月平均の 1 日の可照時間を 12 時間で除した値, 月単位では, 月の総昼時間を, 平均的な月間昼間時間 (12hr × 30day = 360hr) で除した値, t_j ; j 月の月平均気温 (°C), J ; 年の指数

5. タンクモデルによる流出予測

降水量, 流出量, 蒸発散量など, 精度的に信頼できない資料をもちいて, 流出解析をおこない, とくに, 長期の流出特性を把握し, 予測をおこなうには, タンクモデルによる解析方法が, 最も有効であると考えられる。タンクモデルとは, 流域を何段かの貯水池 (タンク) によって構成されているものと考え, それぞれのタンクに, 横穴と底穴を設けることにより, 横穴からの流出が, 溪流への流出を, 底穴からの流出は, より下層への浸透を与えるとしたモデルである。基本的には, r を流入する降雨量, q を流出量, h をタンクの貯水高とすれば, 一つのタンクにおいて, 連続式を,

$$r - q = \frac{dh}{dt} \quad (t: \text{時間}) \quad (2)$$

で与え, 時刻 t における流出量を, $q(t)$ とおけば, λ を穴の比例定数として,

$$q(t) = \lambda \cdot h(t) \quad (3)$$

で与えられると考える。(2), (3)式より,

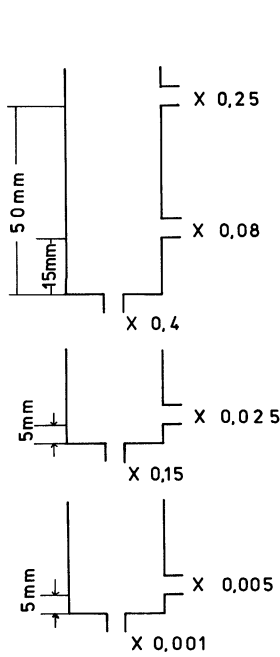
$$q(t) = \int_0^{\infty} r(t-\tau) \lambda e^{-\lambda \tau} d\tau \quad (4)$$

として, 流出量を求めるものである。これを何段かに組合せることにより, おくれの要素を取り入れることができ, 複数個の横穴を設けることにより, 非線型性の要素を組入れることができる。

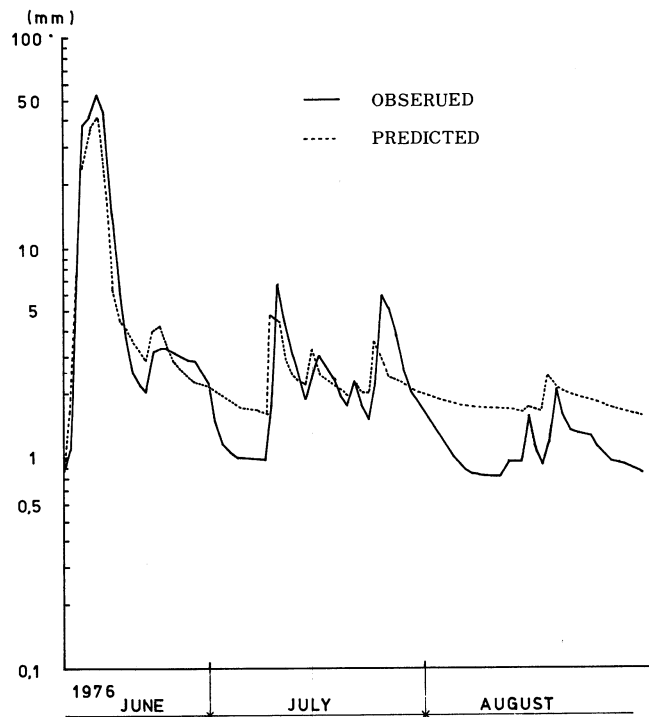
本試験地においては、まず、直列貯留型の4段の基本例に従って、タンクモデルを作成したが、3・4段の係数が、ほぼ同じような値をとったため、3段のモデルとした。さらに小流域である点を考慮すると、損失量の全てを、蒸発散量と考えるのは、適当でないので、3段目にも、底穴を設けて、地下深層への浸透と考えた。蒸発散量は、表一2より、各月別の日蒸発散能を与えた。

試算の結果、えられた3段のタンクモデルとそのパラメーターは、図一4に示すようである。また、計算値と実測値の比較は、図一5のようである。計算にもちいた初期値、計算上えられる年蒸発散量、年深部浸透水量、計算年流出量、実測年流出量は、表一3のとおりである。

まず、タンクモデルの構造として、3段で十分であるという点は、流域の保水能が小さいという意味と、小流域であるということが考えられる。しかし、横穴のパラメーター値は、一般にもちいられている値の下限値、あるいは、それ以下で、とくに3段目は小さいことと、3段目の深部浸透の底穴を除いた底穴のパラメーター値は、いず



図一4 シミュレートされたタンクモデルとパラメーター



図一5 タンクモデルによる流出計算の結果

表一3 計算結果と初期値

水年	実測流出量 (mm)	計算流出量 (mm)	計算蒸発散量 (mm)	計算深部浸透量 (mm)	初期値 (mm)		
					1段目水位	2段目水位	3段目水位
1974	425.92	372.44	570.76	46.89	0.00	20.00	100.00
1975	346.24	405.62	582.69	49.72	0.00	0.00	110.95
1976	724.42	740.42	506.90	97.54	6.98	11.71	169.76

れも、上限値以上を与えていること³⁾を考慮すると、表層の保水能が、極端に悪いことを示すものと考えてさしつかえないと考えられる。なお、3段目の深部浸透の底穴の値は、一般の4段目の深部の浸透流出の下限値を与えている。また、計算上えられる蒸発散量については、温暖少雨地方の平均年消失水量700~800mm程度⁴⁾の値に対して、ほぼ妥当な値と考えてよいと思われる。さらに、図-6のハイドログラフの適合についても、ほぼ満足すべきものであると考えられるので、一応の予測のモデルとしての意味は、十分であると考えられる。これより、水利用についての問題を考えてみると、一つには、表層土の保水能の改良が考えられねばならず、つぎには、地下深部浸透量の増加についての問題であろう。また、表流水としての利用は、地下深部への浸透導入ということと合わせて考える必要がある。

以上の議論は、このモデルの構造あるいは、モデルパラメーターについて、物理的な意味づけが検証されてこそ、成立するものであることは、当然である。しかしながら、今後、水利用に関して、本試験地に対し、種々の施策がなされた場合に、その効果等を判定するうえで、有効なモデルとして利用可能であると考えられる。

6. む す び

1974年より開始された、大三島の滝山試験地の流出量観測資料について、種々の検討が加えられていたが、一応、目的を流出予測ということにしぼって、本論をまとめた。大三島を含めて、瀬戸内の水源問題について、多方面より検討中であるが、水文資料が、長期間にわたって必要なため、未だ十分な解析ができていない。それゆえ、ここでは、一つの試験地について、その特性を、数量的に把握できるように、タンクモデルをもちいて、検討を加えた。今後、多くの水文資料をうることができれば、比較検討の材料として役立つであろうと考えている。

なお、計算は、愛媛大学計算機室 FACOM230-28 によった。また、計算には、鬼木幹男助手に御協力頂いた。ここに記して謝意を表す。

引 用 文 献

- 1) 和達清夫：日本の気候：1—492，東京堂，1959
- 2) 伏見知道・小川滋・鬼木幹男：瀬戸内少雨地域の水源地帯における流況について。88回日本林学会大会発表論文集：383—384，1977
- 3) 土木学会：水理公式集：1—616，土木学会，1976
- 4) 中野秀章：森林水文学：1—228，共立出版，1976