556.1

# 日本の河川流域の月単位水収支と水文特性(第1報)

植 原 茂 次\*·佐 藤 照 子\*\*

国立防災科学技術センター

## Monthly Water Balance and Hydrological Characteristics of River Basins in Japan (First Report)

By

### Shigetsugu Uehara and Teruko Sato

National Research Center for Disaster Prevention, Japan

#### Abstract

The authors developed an analytical method for monthly water balance on the lines of Sugawara's method for daily runoff analysis. It is generally applicable to river basins in Japan.

The method consists of four sub-models to estimate monthly precipitation, water equivalent depths of sonwmelt and snowpack, and evapotranspiration of catchment and runoff, using meteorological and hydrological data.

The monthly precipitation of catchment is calculated by multiplying the mean monthly data with an equal weight observed at a few to five stations in the catchment by two extra coefficients, CM and CP. CM represents an extra coefficient mainly related to the decrease of snowfall catch. Therefore, the monthly data in the snowfall season are multiplied by CM. CP represents an extra coefficient mainly related to a synthetic weight by which the precipitation data observed at selected stations are modified so as to correspond to the spatial distribution of precipitation over a catchment area. Then, all monthly data are multiplied by CP.

The monthly water equivalent depths of snowmelt and snowpack of catchment are calculated through a snowmelt model which represents the relation between the monthly snowmelt ratio and the mean monthly themperature corresponding to the mean altitude of the catchment.

The monthly evapotranspiration of catchment is estimated with the observed data measured by small evaporation pans multiplied by 0.65.

\*第3研究部, \*\*第3研究部降雨実験室

The monthly runoff is calculated by tank model with three steps.

The optimum model structure for each river basin is evaluated by CRE value of mean square of the deviations of calculated runoffs from observed ones.

Based on this method, they analysed optimum model structures for 187 catchments of 97 main river systems in Japan. The main results obtained are as follows:

- (1) Judging from the ratio of the cases with CRE less than 0.40 reached to 60% for analysed 187 catchments in spite of disturbed runoff data due to various water uses and controls, this developed analytical method for monthly water balance can be regarded as generally applicable to the rivers in Japan.
- (2) CM extends its value from 1.0 to 3.0 according to the coldness of a catchment in each month and geographical location. CM values of the catchments in Hokkaido and Töhoku Districts are extremely larger than those of the other districts.
- (3) Most CP values range within 1.0 to 1.2 and show a slight tendency of increasing according to the altitude of catchment.
- (4) The monthly snowmelt ratios of catchment can be calculated from a simple linear function with a variable of the monthly mean temperature of catchment. However, since they give very sensitive effects on runoff analysis, the datum temperature observation station and its data modification have to be decided delibarately.
- (5) The tank models analysed for 187 catchments are classified into five categories, I to V, according to their water holding capacity. The models classified as I and II, having larger water holding capacity, generally distribute over the areas mainly covered by Quaternary volcanic ejecta, and IV and V, having smaller capacity, distribute over the areas covered by granitic rocks and Paleozoic and the Mesozoic systems. Accordingly, the classified runoff models fairly reflect the geological conditions in the catchment, in other words, the runoff characteristics and structures of a river have a close relationship to the geological conditions in its catchment area.

## 1. まえがき

降水量から河川の流出量を計算する流出解析は、水文学的な主要課題であり、洪水対策、 水資源対策等の科学技術的基礎として、1950年項から多くの研究が蓄積されてきている。降 水一流出関係は、水循環からみればその一部であるが、流域の様々な水文学的特性によって 影響を受け、その機構を解明することは容易ではない。流出解析は、降水量、流量、蒸発量 等の水文諸量の観測値を用いて、流域の水収支モデルの最適パラメータを確定することを中 心として行われるが、その困難性については既に菅原(1965、1969、1977)が幾つかの論文等 で詳細に述べている。

本研究では、我国の主要な河川流域を対象に、その水収支モデルの構造が、流域の気候的

特性,地理的及び地形・地質的特性等の自然的諸条件により,どの様に表現され,そのパラ メータの値はどの程度異なるものであるかについて、マクロ的な評価を試みたものである. そのため、月単位の流域の水収支モデルを、タンク・モデルの手法を中心として作成した. この水収支モデルは、流域降水量、流域融雪・積雪量、流域蒸発量を計算する気侯的モデル と、流域の流出機構を表わす3段の直列タンク・モデルで構成され、モデルの最適化は、観 測及び推定月流出量の平均2乗誤差を最小にするようなパラメータを決定する方法で行っ た.

この月単位水収支解析を,人為の流況に及ぼす影響が比較的少なかったとみられる 1965 年 以前の利用できる流量資料と,それに対応する降水量等の資料を使って,全国の主要 97 水系, 187 流量観測点について行い,各河川流域毎の水収支モデルのパラメータを総合的に整理し た結果,以下の点が明らかとなった.

(1) 流域降水量を計算するための割増係数は,降雪期の各月に掛かる係数 CM と,年間平均 的に掛かる係数 CP とがある. CM は降水観測,特に降雪量観測の捕捉率に係わるものとみら れ,気温の低い月及び流域程大となり,北海道等の寒冷積雪地では 2.0~3.0 に達する. CP は 主として降水観測所の代表性に係わるもので,降水の空間的分布に関する観測点の総合的ウ エイトと考えられ,流域高度が増すにつれて僅かに増大する傾向がみられるが,大部分は 1.0~1.2 の範囲に納まっている.

(2) 流域の融雪・積雪量の計算は、流域平均気温の概念を導入し、流域の融雪率は、流域平 均気温に比例するとしたマクロ的な近似方法を採用した。流域平均気温 T<sub>BM</sub> は、流域面積の 標高分布のパターンという地形的要素を考慮に入れた流域平均標高に対する気温として、基 準気温観測所の月平均気温データから算出する。融雪率は T<sub>BM</sub> が-10°C以下のとき 0,10°C以 上のとき1となり、その間は直線となるモデルで近似されたが、この手法は全国の河川に適 用して、良い結果を得た。

(3) 各流量観測点の流城毎に確定されたタンク・モデルは、その保水機能の大から小の順に I~V型の5種類に大別した結果、I型7個、II型5個、III型8個、IV型8個、V型5個の タンク・モデルをそれぞれ含み、合計33個のタンク・モデルに187の各河川流域が位置付け られた。その分類結果から、流出機構は主として流域の地質条件を反映しており、保水機能 の大きいI型、II型の河川は、第四紀の火山噴出物が広く分布している九州、関東、北陸、 北海道に多く、保水機能が小さいIV型、V型の河川は、花崗岩及び中・古生代の地質が広く 分布する近畿、中国、四国に多いことが明らかとなった。

(4) 本研究で得られた月単位水収支モデルによる解析方法は、CRE の値が 0.40 以下と、大体満足できる成果を得た事例が、全解析例の 60%に達したことから、流出データが人為的影響で自然の流況がかなり乱されていることを考慮すると、十分に日本の河川流域に一般的な適用が可能であると思われる。

#### 2. 研究の方法

#### 2.1 水文資料

流量資料:我国の河川の大部分では、古くから夏期低渇水流量の大半が水田の農業用水と して利用されてきたが、近年、ダム建設による発電及び都市用水のための水資源開発も急激 に進められているため、自然の流況はこれらの人為的影響を著るしく受けている.このため 下流観測点の流量資料は、洪水流出の場合を除いて、流出解析の対象としてあまり用いられ ない傾向があった.

しかしながら,水資源の開発・利用が進み,また一方で河川環境及び水質の保全に対する 要請から正常流量の確保等,河川流量の制御・管理を水系全体を通じて総合的に行う必要が 生じてきており,現在既に部分的には実施されている.従って今後は,上流水源流域のみで なく下流観測点までの河川流域全体の水収支モデルを作成することが,河川の総合的開発・ 利用上不可欠となろう.

本研究では、河川流域の水収支、水文特性を全国的な視野から把握することを主要な目的 としていることから、流量資料としては建設省が公表している流量年報、多目的ダム管理年 報の資料を用いることとしたが、ダム建設等による自然流況への影響が比較的少ないとみら れる 1965 年までの流量資料を利用した.旧流量年報(1938~1952)の資料も含めて、選定し た水系は 97、流量観測所の数は 187 個所である.

降水資料:上記流量資料に対応し、また水収支モデル確定後、30年間の水収支計算を行う ことを前提として、1936~1965年の継続した観測資料を全国的に得る必要から、気象庁年報 を用い、補足的に建設省の雨量年報を利用した。選定した観測点は299個所であるが、欠測 は隣接観測所のデータとの相関々係を求め、これにより補間した。

蒸発資料:気象庁が1965年頃まで実施した小型蒸発計の観測資料を気象庁年報から84観 測点を選定し、1956~1965年の10年間資料を利用した。

気温資料:気象庁の気象年報から、1936~1965年の30年間の資料を用いたが、気温資料 は、融雪・積雪計算に用いたもので、観測点の選定は、試行錯誤的に水収支モデル解析上で 最適点を求めた結果、最終的には全国で60個所となった。

#### 2.2 月単位流域水収支モデルの解析方法

2.2.1 流域降水量の評価方法

流域降水量は、流域内の複数の降水観測データの平均値に2種類の割増係数(CM, CP) を掛けて得られる.この方法は割増係数の解釈に多少の違いはあるが、菅原(1969, 1977) が日流出解析で提案している方法に沿ったものである.

降雪期のみに掛かる割増係数 CM は, 降雪期に降水観測の捕捉率が低下することに主な原

表	1	降小割增係数	(CM)	一覧表

記号	Jan.	Feb.	Mar.	Apr.	May.	Jun.	Jul.	Aug.	Sep.	Oct.	Nov.	Dec.
CM1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
CM1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
CM1.2	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1
CM1.3	1.3	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.2
CM1.4	1.4	1.4	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.2
CM1.5	1.5	1.5	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.3
CM1.6	1.6	1.6	1.3	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.4
CM1.7	1.7	1.7	1.4	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.4
CM1.8	1.8	1.8	1.4	1.1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.2	1.5
CM2.0	2.0	2.0	1.6	1.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.3	1.7
CM2.2	2.2	2.2	1.8	1.3	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.4	1.9
CM2.4	2.4	2.4	1.9	1.4	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.1	1.6	2.0
CM2.6	2.6	2.6	2.1	1.6	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.7	2.2
CM2.8	2.8	2.8	2.2	1.7	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.8	2.4
CM3.0	3.0	3.0	2.4	1.8	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	2.0	2.6

 
 Table 9
 Extra coefficients (CM) for monthly precipitation data in snowfall season

因があるとみられ、厳寒期の12月に最大となり、降雪の始まる月及び終る月に最小となる. CM の年間の変動パターンは一定しているものとして、流域毎に最適なものを試行錯誤的に 求める. 今各月ごとの CM を CM<sub>j</sub>( $j=1, 2, 3, \dots 12$ ) で表し最終的に得られた CM<sub>j</sub>のパ ターンは表1に示す値となった. CM<sub>j</sub>のパターンを表現するため最大の値を示す CM<sub>1</sub> (=CM<sub>2</sub>)で代表させている.

年間を通じて掛かる降水割増係数 CP は、CM が決定されると流域全体の水収支から自動 的に算出される割増係数で、次式により求める.

ここに、 $Q_{ij}$ : *i*年*j*月の観測流出量

*p*<sub>kij</sub>: *j* 月の k 観測所の降水量

*E*<sub>j</sub>: j 月の流域蒸発量

N:水収支計算年数

CP は全年を通じて掛かる割増係数であるから,性格的には,降水観測所の流域降水量推定



石豹	ř Π	(流)	Na In	中愛別 田納	天	塩	11	(流)	Ny	名寄大橋	釗	路	Щ	(流) (雨)	Sb	標茶
			Hs	橋本町				(100)	Ks	■ 〒 上 十 別				(PIS)	Ts	弟子同
			Hk	北光				V032	Nr	名器	制制	走	JII	(流)	Bh	美帽
			Is	石狩大橋					Bf	<b>美深</b>				( ( ( ( ( ( ( ( ( ( ( ( ( ( ( ( ( ( ( (	Bh	美帽
			Ni	西神楽					Nk	中川				11.142	Tb	津別
			Td	多度志	4	滕	Ш	(流)	Ob	帯広	常	屠	Ш	(流)	Kt	北見
			Ak	赤平		1112		10.00	Mw	茂岩	1000		or and	(雨)	Ok	置戸
			Ky	清幌橋				(133)	Kr	屈足				20120	Rb	留辺蘂
			Ns	西越					Mr	芽室	涌	別	Л	(流)	Ks	開盛
			Kr	雁来					Ob	帯広				(雨)	Sr	白滝
		(雨)	Kw	上川					Sh	<b>士幌</b>					Eg	遠軽
			At	愛別					Ks	上札内	诸	滑	111	(流)	Ks	上渚滑
			As	旭川					Hb	本別				(雨)	Tk	滝の上
			Bi	美瑛	鳷		111	(流)	Mk	魏川河口						
			Sr	朱鞠内				(兩)	Hb	穂別	<	気温	>		As	旭川
			Τk	鷹泊					Hd	日高					Iw	岩見沢
			Np	西達布	後	志利为	则川	(流)	Ig	今金					Sp	札幌
			Sn	新十津川				(雨)	Ig	今金					Kn	俱知安
			Yb	夕張	沙	流	111	(流)	Br	平取					Ob	帯広
			$\mathbf{Sk}$	支笏湖				(雨)	Hd	日高					To	苫小牧
			Fr	富良野					Nk	貫気別					Kr	釧路
			Nn	長沼	ߤJ	寒	111	(流)	On	穏根平					Ar	網走
			Jz	定山渓				(雨)	Ak	阿寒湖畔					Ou	雄武
			Sp	木山中晃					Ab	飽別						

図1.1 河川·観測所(流量,降水,気温)位置図·北海道地方

Fig. 1.1 Location map of rivers and observation stations (discharge —, precipitation ●, temperature ▲) • Hokkaido District



図1.2 河川·観測所(流量,降水,気温)位置図·東北地方

Fig. 1.2 Location map of rivers and observation stations (discharge -, precipitation ●, temperature ▲) • Tohoku District



ßoj	賀	野	Ш	(流) (雨)	Ys Mo Tz In It	山科 馬下 田島 猫苗代 一の木	信	濃	Щ	(雨)	Yz Ih Ti Mt Om	湯沢 入広瀬 大正池 松本 大町	神	通	Л	(流) (雨)	Jn Hs Tk Tt Nt	神通大橋 細入 高山 栃尾 夏厩
					Wk Td Tt	若松 只見 館岩					Kw Wd Iw	川上 和田 岩村田	庄		Щ	(流) (雨)	Di Sy Sr	大門 祖山 白川
信	ò	農	Ш	(流)	Hr Ki Ku	堀之内 小市 杭瀬下	黒	部	Л	(流) (雨)	Ng Ai Ky	長野 愛本 小屋平	<i>ν</i> [v	矢 剖	5 )11	(流) (雨)	Ng Is	長江 石動
					Tt Oj	立 ヶ 花 小 千 谷					Mg	真川	<	気 温	>		Fk Wk Ng Mt Td Tk Ty	福若長松高高富

図1.3 河川·観測所(流量,降水,気温)位置図·北陸地方

Fig. 1.3 Location map of rivers and observation stations (discharge -, precipitation ●, temperature ▲) • Hokuriku District



0 20 40 km

久	蒸	JII.	(流)	Ya	山方	相	模	Ш	(雨)	Ot	大月	利]	根	Ш	(雨)	Nk	中之条
				Sb	砷橋					Ao	青山					Sn	三倉
			(雨)	Di	太子	利	根	Ш	(流)	Iw	岩本					Ii	今由
				Tk	棚倉					Kf	上福島					Cg	中宮詞
				To	徳田					Yt	八斗島					Ut	宇都宮
那	Ful	Щ	(流)	No	野口					Kh	栗橋					Oz	小、涑頂
			(雨)	So	塩原					Mr	村上	貫	±:	ЛЦ	(流)	Si	清水端
				Kr	黒羽					Ih	岩鼻					Tr	桃林橋
				Bt	馬頭					$\mathbf{Sh}$	早川田				(雨)	Kb	小渕沢
				Yt	矢板					Ot	乙女					On	御岳
荒		Ш	(流)	Yr	寄居					$\mathbf{Sk}$	佐貫					Mi	三富
				Ys	芳野					Mz	水海道					Kf	甲府
			(南)	Cb	秩父					Kr	黑子						
				Mm	三峰				(雨)	Mn	水上	$\leq$	気 浩	1 >		Mt	水户
				Hn	飯能					Kt	片品					Ut	宁都宮
3	摩	Ш	(流)	Is	石原					Ks	草津					Mb	前橋
			(雨)	Oz	小沢					Sd	下仁田					СЪ	秩父
				$\mathbf{As}$	浅川					Mb	前橋					Τk	東京
相	模	Ш	(流)	Sg	相模ダム					Ak	赤城					Kf	甲府
			(雨)	Fn	船津					Aw	粟野					Kw	河口湖

図1.4 河川·観測所(流量,降水,気温)位置図・関東地方

Fig. 1.4 Location map of rivers and observation stations (discharge -, precipitation ●, temperature ▲) • Kanto District



狩	野	111	(流)	Oh	大仁	矢	作	)1]	(雨)	On	大沼	木	曽	111	(雨)	Kw	黒川
				Τk	徳倉	庄	内	Ш	(流)	Bw	批把島					Kr	気良
			(雨)	Yg	湯ヶ島				(雨)	St	瀬戸					It	板取
				Iz	伊豆長岡					Ob	小原					Mn	美濃
				Ms	三島	木	曽	Ш	(流)	Nr	握	鈴	鹿	Л	(流)	Tk	高岡
大	井	Щ	(流)	Kn	神座					Mr	丸山ダム				(雨)	Ka	亀山
			(雨)	Hn	本川根					Un	鵜沼	雲	出	Ш	(流)	Og	大仰
天	竜	Щ	(流)	My	宮ヶ瀬					Sr	百川口				(雨)	Ok	奥津
				Ks	鹿島					Ud	上田	宮		Л	(流)	Ag	天ヶ瀬
			(雨)	Sw	諏訪					Cs	忠節				(雨)	Os	大杉谷
				In	伊那里					Su	墨俣						
				Тy	遠山				(雨)	Ot	王滝	<	気温	>		Ms	三島
				Yg	山香					Ks	木曽福島					Sz	静岡
豊		111	(流)	Fr	布里					Ok	大桑					Ha	浜松
			(雨)	Sd	下田					Iw	岩村					Ng	名古屋
矢	作	111	(流)	Iw	岩津					Tk	高根					Gf	岐阜
			(雨)	Ob	小原					Gr	下呂					Tu	津

図1.5 河川·観測所(流量,降水,気温)位置図·中部地方

Fig. 1.5 Location map of rivers and observation stations (discharge —, precipitation ●, temperature ▲) • Chubu District



淀		Щ	(流)	Tr	鳥居川	加	古	Ш	(流)	In	井の口	新	宮	Щ	(流)	Og	相賀
				IG	使				(雨)	KS	相原				([8]])	Kj	元伊山
				HI V	权力					INS	四肠					Zĸ	則鬼
				NIL	住。	4			12+1	MK	二个					Sn	二里
				IND	石振	th.		111	(流)	NS	西川辺	21	7223		(1)	le	守坦内
			(	ha	加戊				(雨)	Ik	生野	百	挫	111	(流)	Ht	七川
			(国)	lt	市場	202	2.5			Tb	田原				(雨)	Ht	七川
				Ki	木の本	揖	保	Ш	(流)	Υz	山崎	九	頭竜	111	(流)	Nk	中角
				Md	政所				(雨)	Ic	一宮					Fs	布施田
				Mn	水口	円	山	Л	(流)	Ty	豊岡					Fd	深谷
				Ta	多羅尾				(雨)	Ns	西谷				(雨)	Kt	勝山
				Ky	京都					Fk	福知山					As	朝日
				Sz	周山	曲	良		(流)	Fk	福知山					Km	今庄
				Sn	園部				(雨)	Ch	知井					Fk	福井
				Mi	南之庄				047668	Si	下和知						
				Nb	名張	大	和	HI	(流)	Oi	王寺	<	気温	>		Hk	彦根
				Ue	上野				(雨)	Mi	南之庄					Ky	京都
猪	名	111	(流)	Gk	軍行橋					Oj	王寺					Ue	上野
			(雨)	Tg	東郷	紀	0)	JII	(流)	Ka	上市					Ty	豊岡
				Ik	池田					Fn	船戸					Mi	舞鶴
武	庫	用	(流)	Sd	三田				(雨)	Kw	川上					Nr	奈良
			(雨)	Ss	篠山					Gi	五条					So	潮岬
				Sd	三田					Hg	東野上						
加	古	JH	(流)	Tn	船町	新	宮	JIF	(流)	Kz	風屋						

図1.6 河川·観測所(流量,降水,気温)位置図·近畿地方

Fig. 1.6 Location map of rivers and observation stations (discharge -, precipitation ●, temperature ▲) • Kinki District



占	井	川	(流)	Hs	久木	錦		Ш	(流)	Kd	向道ダム	斐	伊	Ш	(雨)	Ka	掛合
			(函)	Ty	右/ 津山	任	्रेत्त	1H	(雨)	Sh	屁到 仕油目ダル	Π	田式	ш	(法)	Nu	八宋 根雨
			X1437	On	小中原	<b>KT</b>	0x	201	(雨)	Hr	国家	Ч	±,	/1	( ( ) ( ) ( ) ( ) ( ) ( ) ( ) ( ) ( ) (	Nu	根面
				Hv	林野				(113)	Ts	徳佐				11137	Hn	日野上
旭		Л	(流)	As	旭川第一ダム	厦	東	Ш	(流)	Kt	厚東川ダム	千	代	Ш	(流)	Gt	行徳
			(雨)	Yu	湯本	्राज्य	215	0.20	(雨)	Ot	太田	11	100	0.65	(雨)	Cz	智頭
				Si	下砦部				0330330	Is	伊佐				0.000	Wk	若桜
				Fk	福渡	木	屋	Ш	(流)	Ky	木屋川ダム	高	梁	Щ	(流)	Ny	布寄
沼	田	Ш	(流)	Hn	本郷				(雨)	Ni	西市				(雨)	Ta	帝釈
			(雨)	Kw	河内	阿	武	Ш	(流)	Tk	高瀬					Yt	八鉾
黒	瀬	111	(流)	Ft	二級ダム				(雨)	Kb	吉部						
			(雨)	Sj	西条					Ts	徳佐	<	気温	>		Ok	岡山
太	H	川	(流)	Ku	玖村	江	$\mathcal{O}$	Ш	(流)	Tg	都賀					Kr	呉
			(雨)	Ht	八幡				(雨)	My	三次					Hr	広島
				Ki	吉和					Cy	千代田					Sk	下関
				Kb	可部					Tn	高野					Hd	浜田
				Ih	井原					Ih	出羽					Mt	松江
15	瀬	Ш	(流)	Kg	釜ヶ原					Yh	八鉾					Sa	境
			(雨)	Sa	佐伯	斐	伊	111	(流)	Ot	大津					Tt	鳥取
				Ki	吉和				(雨)	Mn	三成						

- 図1.7 河川·観測所(流量,降水,気温)位置図·中国地方
- Fig. 1.7 Location map of rivers and observation stations (discharge –, precipitation  $\bullet$ , temperature  $\blacktriangle$ ) Chugoku District



図1.8 河川·観測所(流量,降水,気温)·四国地方

Fig. 1.8 Location map of rivers and observation stations (discharge –, precipitation  $\bullet$ , temperature  $\blacktriangle$ ) • Shikoku District

۲ چ	Z Land a start of a		at a second and a second		速買川 M C S S S S S S S S S S S S S					V Salar The Markes	日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日 日	」 川 下 大	内属淀	лі лі	(流) (雨) (雨)(流)	Ys Si On Ma Og Sn Mt Ko Ot Tk	吉下斧 真大川俣高鹿乙高耸松殿渕 幸口内瀨山屋房岡田
				<b>^</b>			A -		<b><sup>1</sup>y</b>	20 4	) km	小	丸	11	(雨) (流) (雨)	Ak Ay Ar Ns My Kb Sk Iz Tk Mk	ロ綾綾嵐西都小須槻高袖 ダダム
						v						番	F	Щ	(流)	Oh Bn	尾八重 番匠橋
遠	賀	Щ	(流)	My Hp	宮田橋 日の出橋	矢	部	Ш ( (	(流) (雨)	Hy Yb	日向神ダム 矢部	Ŧi.	ヶ瀬	ЛЦ	(流)	Si Mw	世兄 椎谷 三輪
			(雨)	Iz Uc	飯塚 内野	菊	池	Ш	(流)	Ya Ta	山鹿 玉名				(雨)	Ma Sn	馬見原 三ヶ所
筑	後	10	(流)	So Es	添田 恵蘇の宿 あっ下				(雨)	W1 Ya Nk	限府 山鹿 南閣	大	野	НI	(流) (雨)	rs Sr Tk	家代 白滝橋 竹田
			(南)	Nk Mr Ht Ys	備の1 中津江 森 日田 吉井	白		ла ,	(流) (雨)	Yt Ut As Ot	代継橋 内牧 阿蘇山 大津	大	分	Л1	(流) (雨)	In Se Ak Ih Vf	犬飼 芹川ダム 明磧橋 今市 中布院
松	浦	Щ	(流) (面)	Kr Mt Tk	人留木 年田部 武雄	布水		79E	(雨)	Nk To	中島 砥用	<	気温	>		Iz	飯塚
本	明	Ш	(流)	Ot Ur	相知	球	磨	Ш	(流)	Ic Ht	市房ダム 人吉					Sg Ng	佐賀 長崎
Щ	æ	11	(雨) (流) (雨)	Ue St Ob	湯江 下唐原 小原井				(雨)	Yn Tr Ik Ht	柳瀬 多良木 五木 人吉					Ku Kg My Oi	熊本 鹿児島 宮崎 大分

図1.9 河川·観測所(流量,降水,気温)位置図·九州地方

Fig. 1.9 Location map of rivers and observation stations (discharge -, precipitation ●, temperature ▲) • Kyushu District

に対する代表性を示すものと考えられる.代表性には降水の地域的な分布と,標高分布に関 するものを含む.前者は各降水観測点データのウエイトをいかに与えるかについて,いくつ かの方法が提案されているが,後者については明確な方法は提案されていない.いずれにし ても,最終的な最適係数の決定は,流域の水収支解折を通じて,試行錯誤的に行われるので, 本研究では,地域的分布に対しては等しいウエイトを与え,CM」のパターン決定により水収支 から CP を算出する方法とした.CM と CP の性格付けは一応以上の様に説明したが,いずれ も水収支解析の中で決定されるので,両者の間に相互的な関係があるばかりでなく,流出量, 蒸発量等他の水文諸量とその精度とも関係があり,その意義付けについては更に種々な検討 が必要と思われる.

以上のことから,流域月降水量 Pij は次式で表わされる

 $P_{ij} = \operatorname{CP} \cdot \operatorname{CM}_j \sum_{k} p_{kij} \qquad (2)$ 

## 2.2.2 流域の月融雪・積雪水量の評価方法

月融雪水量・月積雪水量は、当初、河川流出量の季節的変動性が非常に顕著であることか ら、各月毎に融雪率 $\mu_j$ を与えれば、融・積雪を含めた年間の月単位水収支計算が可能であり、  $\mu_j$ は流域の気候的特性を表わす指標として、水収支解析の中で最適値を試行錯誤的に決めら れるものと考えて、北海道を除く積雪地帯の河川について計算を行ってみた。その結果は可 成り良好であり、地域的な $\mu_j$ のパターンを得ることができたが、水収支解析に含まれる各種 パラメータをできる限り少なくし、パラメータ決定の自動性と操作性を容易にし、また解析 結果の精度向上を目的として、 $\mu_j$ を観測気温データから求める方法を検討した。

先ず、流域の各月融雪係数 $\mu_{j}$ は、流域の各月平均気温  $T_{BM}$ の関数とみなし、流域の標高 hに対する流域面積の分布をS(h)、気温の標高による低減関係がT(h)で示されているとす れば、流域平均気温  $T_{BM}$ は、流域の最低・最高標高をそれぞれ  $H_{o}$ 、 $H_{p}$ として、次式で表わ される。

$$T_{BM} = \int_{H_q}^{H_{\rho}} S(h) T(h) dh \Big/ \int_{H_q}^{H_{\rho}} S(h) dh \qquad (3)$$

 $T_{BM}$  に相当する標高を流域平均標高  $H_{BM}$  とすれば、基準となる気温観測点のデータ  $T_{ij}$  を使って  $T_{BMij}$  を求めることができ、 $\mu_{ij} = f(T_{BMij})$ の関係を予備計算の結果を参照しなが ら決定できるものと期待した.

阪口は、流域内面積の高度分布を、地形発達史的にみた流域の特性を説明するために、全 国的な型態を調べ分類を行った(図2).この結果から流域内面積の高度分布は三角形分布か ら、下膨れの曲線分布形まで様々な形状となるが、地域的には類似の分布形に分類できるこ とが示されている。分布形は一般に標高の低い部分で不規則な形状をしているが、流量観測 点標高はその多くが、この不規則分布を示す標高よりは高いとみなして、流域内面積の標高



太線:流域区界,細線:流域界,網の部分:800km<sup>2</sup>以下の流域,1~5:中間流域区

- 図2 流域内高度分布の型による日本の流域区分(阪口豊, 1965)
- Fig. 2 Classification map of river basins in Japan based on the type of altitude distribution of catchment area (after Yutaka Sakaguchi, 1965)

に対する分布形を式(4)に示す関数に一般化した。 即ち、

- ここで n>1 凹形分布 n<1 凸形分布
  - n=1 三角形分布 となる.

一方,気温は標高に対して一定の低減率 $\beta$ をもつものとし, $H_o$ に対応する気温を $T_o$ として,T(h)は次式となる.

従って T<sub>BM</sub> は(3)式から,

$$T_{BM} = \int_{H_q}^{H_p} \alpha \{ (H_p - H_q) - h \}^n (T_q - \beta h) dh \Big/ \int_{H_q}^{H_p} \alpha \{ (H_p - H_q) - h \}^n dh \quad \cdots \quad (6)$$

上式の結果は

$$T_{BM} = T_{Q} - \frac{1}{n+2}\beta(H_{P} - H_{Q}) \quad \dots \qquad (7)$$

*H<sub>BM</sub>*は(5)式に(7)による *T<sub>BM</sub>*を代入して

となり、結局  $H_{BM}$  は、温度の低減率とは関係なく、流域内面積の高度分布形 n のとり方で決まってくる. n>1の凹形分布は殆んどないので、 $n \leq 1$ の範囲で変化させて  $H_{BM}$  のとる値をみると、短形分布の場合を最高として、流域標高差  $(H_p - H_q)$ の 0.33~0.50 の範囲になる.

 $T_{BMij}$ は基準気温観測点のデータ  $T_{ij}$ 及びその標高  $H_T$ を用いて次式で計算される.

気温低減率  $\beta$  については、標高差が大きく、距離も近いとみられる 3 組の気温観測点の 20 ~30 年の平均月気温から求めたところ、 $\beta$  は冬期と夏期では冬期の方が大きく、また標高差の少ない方が大であり、一般に云われている 6.5°C/1,000 m と比較して、冬期は大きく、夏期は小さい値となった.基準気温観測点は低地の気象官署の場合が多いため、 $H_{BM}$  までの冬期温度低減率は、 $\beta = 7^{\circ}C/1,000$  m と固定した.更に、適切な基準気温観測点が得られない場合は、上式に補正項  $\Delta T$  を加え、 $T_{BMij}$  は次式となる。

$$T_{BMij} = T_{ij} - 0.007(H_Q - H_T) - \frac{0.007}{n+2}(H_P - H_Q) + \Delta T \quad \cdots \quad \cdots \quad \cdots \quad (10)$$

ここで単位は,  $T_{BMij}$ ,  $T_{ij}$ ,  $\Delta T$  は°C,  $H_Q$ ,  $H_T$ ,  $H_P$  は m である.

 $\mu_{ij} = f(T_{BMij})$ の関数型は、予備計算の結果及び何回かの試行を繰り返した後、一次式で 十分良い結果が得られることが分かり、次式で表わされる.

 $\mu_{ij} = 0.050 T_{BMij} + 0.50 \cdots (11)$ 

以上から、流域融雪水量  $SM_{ij}$  と、流域積雪水量  $S_{ij}$  は流域降水量  $P_{ij}$ 、流域融雪率  $\mu_{ij}$  を 用いて次式で求められる。ここに単位は、 $SM_{ij}$ 、 $S_{ij}$ 、 $P_{ij}$  とも mm/月である。

$$SM_{ij} = \mu_{ij}(S_{ij-1} + P_{ij}) \quad \dots \quad (12)$$
  
$$S_{ij} = (1 - \mu_{ij})(S_{ij-1} + P_{ij}) \quad \dots \quad (13)$$

2.2.3 流域蒸発散量の評価方法

蒸発に関する研究は内外の多くの研究者によってなされてきたが、未だ流域蒸発散量を求 める方法は確立されていない現況にある.本研究では、全国の多数の観測所で、長年観測が 行われ、データの利用が容易な気象庁の小型蒸発計による観測値を基に.流域蒸発散量の大 略の評価方法を検討し、それによる推定値を用いることとした.

気象庁は 1965 年頃を境として小型蒸発計による蒸発量観測を、米国の class A pan と同等の口径 120 cm, 深さ 25 cm の大型蒸発計による観測に切り換えている.大型蒸発計の蒸発量 ( $E_c$ )と小型蒸発計のそれ ( $E_s$ )との関係は、平均的には次式で表わされるといわれている.

流域蒸発散量(E)の推定は、上式に $\alpha$ の係数をかけて次式となる。

 $E = \alpha E_c = 0.78 \alpha E_s \qquad (15)$ 

aの値は,特定の地被条件の小区域について観測研究が行われ,数多くの研究成果が発表されている。例えば蒸発散研究グループ(1967)は、小型蒸発計に対する水田の蒸発散量の推定に0.82の係数を提示しており、aの値は1.05となる。この値はTomarら(1979)が、日本を含めたアジアモンスーン地帯の水田の水稲生育期でa = 1.2としたのと大差はない。気象庁は湖面からの蒸発量の平均値としてa = 0.72を地上観測法(1971)の中で提案している。また外国の牧草地、畑作物を対象とした研究では、 $a = 0.8 \sim 1.0$ の範囲に入る場合が多いと云われている。

以上の事例は観測対象地が低平地であり、気温も高いことを考えると、流域蒸発散量の推 定値としては、 $\alpha = 0.80$ 程度を採用するのが妥当と考えられる。

観測された蒸発量の各月ごとの変動は可成りあるが、降水量のそれに比して遙かに安定している.また、気温と蒸発量との関係は、同一の気温に対しても春から夏にかけて大きく、 秋から初冬にかけて小となるループ状を呈することから、気温から蒸発量を推定することは 困難である.従って本研究では、比較的共通した気候を有するとみられる地域毎に、複数の 蒸発観測所をそれらの配置を考慮しつつ選定し、1965年までの10年間の各月蒸発量の平均 値を用いて、次式により流域月蒸発量(*E<sub>j</sub>*)を求め、当該地域の蒸発量の年間月別パターン として決定した.

ここに *E<sub>kj</sub>*: *k* 観測点 *j* 月の 10 年間平均月蒸発量(mm/月)

但し、北海道の冬期の蒸発観測値は少く、ほとんど欠測しているので、東北、関東の寒冷

地の観測値と気温との関係から概略推定して補間している.

以上によって決定した全国の月蒸発量の一覧を表2に示す.

## 表2 蒸発量一覧表

.

## Table. 2 Estimated monthly evapotranspiration in each district

				(	) P	りは	欠測	期間	を推	定補	1間	した	もの	(観測	則期間 1956~1965)
蒸発バターン	観測所	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	平均年 蒸発量	適用 河川
北海道A	旭川, 岩見沢, 札幌	(20)	(21)	(27)	51	70	68	71	64	50	(32)	(27)	(25)	526	石狩川
В	旭川	(18)	(19)	(25)	35	63	65	74	67	48	30	(31)	(23)	498	天塩川
С	带広, 釧路, 広尾	(21)	(21)	(26)	56	72	59	58	57	53	42	33	(38)	526	十勝川,阿寒川,釧路川
D	寿都,森	(26)	(26)	(30)	64	85	77	78	80	69	54	30	(29)	648	後志利別川
Е	苦小枚,浦河	(24)	(25)	(28)	48	63	56	55	58	61	49	35	(28)	530	鵡川,沙流川
F	網走,紋別	(21)	(20)	(25)	(58)	77	63	65	58	57	45	31	(25)	545	網走川,常呂川,湧別川,渚滑 川
東 北A	深浦,秋田,新庄,山形	18	24	38	64	84	77	79	90	63	42	27	19	625	岩木川,米代川,雄物川,最上 川
В	盛岡,仙台,福島,白河	26	32	49	71	83	73	73	81	57	42	31	25	643	北川,江合川,鳴瀬川,名取 川,阿武隈川
北 陸A	富山, 金沢, 福井, 高山	19	27	42	63	80	76	90	99	63	47	29	20	655	黑部川,神通川,庄川,小矢部 川,手取川,九頭竜川
В	長野, 松本, 会津若松, 新潟	27	30	43	70	85	83	90	106	69	47	30	22	702	信濃川,阿賀野川
関 東A	白河,水戸	34	38	54	70	73	66	72	82	56	42	33	31	651	久慈川,那珂川
В	中宮詞,秩父,前橋,字都宮	41	46	61	68	73	65	72	80	54	42	36	37	675	利根川, 荒川, 多摩川
C	甲府,船津	42	44	61	70	80	73	90	99	64	47	36	37	743	富士川,相模川
中部A	津	46	48	62	72	79	80	100	115	74	60	47	42	925	宮川,雲出川,鈴鹿川
В	名古屋, 浜松, 静岡, 岐阜, 飯田, 諏訪	38	43	63	74	81	82	96	107	71	60	41	35	791	木曽川,天竜川,大井川
С	名古屋, 浜松	42	46	67	72	79	79	91	106	72	60	45	39	798	庄内川, 矢作川, 豊川
D	三島	42	45	62	70	76	78	89	103	71	53	39	36	764	狩野川
近 畿A	和歌山、潮岬、尾鷲	51	53	69	73	78	81	102	114	77	65	49	48	860	紀の川,新宮川,古座川
В	奈良,大阪,京都,姫路	27	30	45	62	73	74	93	108	68	50	32	26	688	大和川,猪名川,武庫川,加古  川,市川,揖保川, 木津川
С	豊岡, 舞鶴	24	26	46	69	83	79	99	109	67	49	30	23	704	円山川,由良川
D	彦根、京都	24	27	41	56	67	69	84	97	63	47	30	22	627	淀川(木津川を除く)
中国A	津山,岡山	30	33	52	63	78	73	87	103	68	53	33	27	700	吉井川,旭川,高粱川,太田 川,錦川
В	松永, 呉, 広島, 防府, 下関	37	40	62	65	80	75	96	109	75	64	44	36	783	沼田川,小瀬川,佐波川,厚東 川,木屋川,黒瀬川
C	鳥取,米子,境,松江,浜田,萩	24	27	47	60	79	74	91	106	68	54	36	27	693	阿武川,江の川,神戸川,高津 川,麦伊川,日野川,千代川
⊡ ⊞A	高松,松山	39	43	63	68	82	81	105	112	77	62	41	34	807	肱川,重信川,綾川,香東川
В	德島、高知	40	45	64	63	78	70	92	106	76	69	50	41	794	吉野川, 那賀川, 物部川, 仁淀 川, 渡川
九州A	福岡,佐賀,飯塚,日田	29	35	57	61	80	76	98	100	74	60	39	30	739	遠賀川, 止国川, 松浦川, 本明 川, 筑後川, 矢部川
В	大分,延岡	45	45	66	61	72	65	100	93	72	67	48	42	776	大分川,大野川,番匠川,五ヶ 瀬川
С	長崎、熊本、人吉	31	39	64	66	82	77	102	104	84	67	44	33	793	菊地川, 白川, 緑川, 球磨川
D	宮崎、鹿児島、都城	41	46	67	63	80	74	111	98	80	69	50	39	818	川内川,肝属川,大淀川,小丸 川

2.2.4 月流出モデルの決定方法

流域の地形・地質・植生・土地利用等の自然的・人為的諸条件は,流出の機構に深い係わ り合いをもち,河川の流況に影響を与えることから,これらの諸条件と流出機構との関係あ るいは流出率・各種比流量・低減曲線等の水文特性との関係について,今日まで多くの研究 がなされてきたが,研究の対象とした流域あるいは水文特性は限られた範囲のものが多く, 十分に一般性をもって論じられた例は少ない.

菅原(1965, 1969)は、全国諸河川の水源地流域からの流出量の変動特性を、平均化に必要な貯水池容量を指標として、それらの比較を行い、火山性の地質を有する流域は、著るしく流出が安定であることを指摘した。また、雪の影響の少ない九州諸河川の水源地流域について、月単位の流出解折を、雨量資料から直接流出成分と地下水滲透・長期流出成分に分離して求める手法で行い、得られた流出機構の相互比較を行った結果、火山灰地帯に発する河川とその他の河川は流況に著るしい違いがあり、前者は月最低流量が大きく、変動性も少ないことを明らかにした。

虫明ら(1981)は、流域の地質条件が、流出特性を規定する主要因であるとして、表日本の山地流域の流況をその地質条件と比較解析した結果、第4紀火山岩類・噴出物により構成される流域、花崗岩類を代表的地質とする流域、第3紀火山岩類の流域、中・古生層の流域の順に日渇水流出高はそれぞれ、2~5 mm/日、1.5 mm/日前後、1.3 mm/日前後、0.8~1.0 mm/日、0.3~0.7 mm/日と順次小さくなり、流域の地質により河川の低水流出現象は支配的影響を受けることを実証した.

本研究ではこれらの研究成果を参照しつつ,先ず各河川流域の流出機構を確定し,それら を分類整理した後,各流域の自然的条件,特に地質的条件を解析して対比を試みることにし た.本報告では,前者の結果を示すまでとし,後者については次回報告に含めることとした.

流出モデルには3段の直列貯留型タンク・モデルを用いた.このモデルは菅原(1965)が 一部河川で試みたものであるが,筆者は予備的な月流出計算の段階から各河川毎にこのタン ク・モデルを作成し,流出のシミュレーション解析を行った結果,月単位の流出解析にもこ のタンク・モデルは非常に良い結果をもたらし,簡単で操作性も良く,流出機構を表現する にも適していることから,これを用いることにした.

タンク・モデルは、九州、四国、中国諸河川の解析を進める過程で、その大部分を試行錯 誤的に作成し、最終的には、48 個のモデルが作成された。

最適のタンク・モデルを各河川毎に求める方法は,図3の月単位水収支モデル決定のフロー の一環として行われ、シミュレーションの精度の最も良いモデルを採用した。即ち、各対象 流域毎に CM のパターンを変化させながら、48 個のタンク・モデル毎に水収支計算を行い、 月流出量の観測値と計算値の適合度を比較・判定して最適の CM パターンとタンク・モデル を決定するという方法をとった。



図3 流域の最適月単位水収支モデル及び水文特性決定のフロー・チャート

Fig. 3 Flow chart on decision process of optimum model for monthly water balance and hydrological characteristics of river basin

適合度判定係数としては、菅原ら(1978)が提案している下式の平均2乗誤差の真数と対数の平均値 CRE を用い、補助的に F; 及び F 値を参照すると共に、プロッターによる観測値 と推定値の比較図を最終的な判定資料として使った。

MSEG	$Q = \{ \sum_{i} \sum_{j} (QE_{ij} - Q_{ij})^2 / \sum_{i} \sum_{j} 1 \}^{1/2} / \bar{Q} \cdots ( \bar{\eta}) \}$	
MSELQ	$Q = \{ \sum_{i} \sum_{j} (\log QE_{ij} - \log Q_{ij})^2 / \sum_{i} \sum_{i} 1 \}^{1/2} \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots \cdots (18)$	
CRE	$= (MSEQ + MSELQ)/2 \cdots (19)$	
$\mathbf{F}_{\mathbf{i}}$	$= \sum_{i} (QE_{ij} - Q_{ij})   \sum_{i} QE_{ij} \cdots \cdots$	
F	$=\sum_{j} \mathbf{F}_{j}/12 \cdots (21)$	

ここに

 $Q_{ij}$ :i年j月の観測月流出量  $QE_{ij}$ :i年j月の推定月流出量  $\bar{Q} = \sum_{i} \sum_{j} Q_{ij} / \sum_{i} 1$ 観測平均月流出量

#### 3. 解析の結果と考慮

#### 3.1 得られた水収支モデルとその適合性

全国主要 97 水系 187 流量観測点の各流域毎に得られた月単位水収モデルとその適合度に ついては、表 3 にその代表例として 20 流域を示し、図 4 に 12 流域を選定して示した.

表3に示した代表例は、いずれも各地域の主要河川の基準となる観測点の解析結果であり、 図4と合わせて、月単位水収支モデルの第一近似としては、十分満足できる結果を得た.更 に、解析を行った全流域に関する適合度は、表4に示すとおりであり、全国平均の CRE は 0.660以上の極端に悪い4例を除いて、0.390が得られた.CRE が 0.20~0.30に入る非常に適 合度の良い流域は、全国で 33 流域、18%、また 0.30~0.40に入る可成り適合度の良い流域は 同様に 75 流域、41%となり、両者を合わせて、満足出来る結果となったものは 108 流域、59% となった.これらの適合度の地域的分布を表4からみると、北海道を除く東日本の流域が、 九州を除く西日本の流域に対して、可成り適合度が良い.CRE の平均が 0.40以上の適合度の 悪い地域は、北海道、近畿、四国となっており、適合度の良い地域は、東北、北陸、九州と なった.適合度の良悪は、解析不能であった流域を除いているため一概には云えない面もあ るが、大略の傾向として上述の指摘は可能と思われる.

適合度の悪い原因は第1に流量資料にあるとみられ、特に農業用水、発電等の取水・還元 の影響を受け、また流域面積の小さな観測所の場合が多い。第2に降水資料が十分得られな い場合であるが、代表性の良い観測点の場合は、1個所の観測点でも小流域であれば可成り良 い結果を得ることができる。一般的には降水観測点は多い方が適合度は良くなるが、最大で も1流域5個所までとしたので、その配置が重要となるが、長期間に亘って良好な観測資料 のある降水観測点は数が限られており、本研究でもこの点については最大限の努力をした結 果である。

第3には、融雪・積雪計算に採用した基準気温観測所の適否であるが、この点は(10)式 の補正項  $\Delta T$ により良くすることはできる。今回の解析では補正項は一部の試算を除いて 行っていないが、更に適合度を上げるために個々の流域毎の検討が必要と思われる。しかし 前述の流量資料及び降水資料の良・悪という2つの主要な原国に比するとウエイトは少ない とみられる。それは各月毎の補助的判定係数  $F_j$ は、積雪・融雪期よりも、一般的に夏期の方 が大となり、その改善は上述の第1、2の原因で困難な場合が多いことによる。

第4の問題点は、流域の保水機能が大きい流域程、即ち、後で説明するが、流出モデルで

主要河川の月単位水収支モデルとその適合度(代表例)

表3

Table. 3 Optimum monthly water balance model and its fitness in each river basin (20 examples)

判定係数	F	0.194	0.079	0.088	0.115	0.166	0.131	0.106	0.063	0.068	0.100	060.0	0.111	0.129	0.072	0.093	0.101	0.105	0.112	0.083
適合度料	CRE	0.392	0.307	0.230	0.239	0.348	0.270	0.245	0.337	0.308	0.299	9.356	0.281	0.296	0.272	0.301	0.366	0.365	0.396	0.315
流出モデ	心番号	201	202	305	305	402	304	105	202	302	103	202	203	203	501	501	308	405	407	202
増係数	C P	0.84	1.28	0.96	1.15	1.14	1.32	1.03	0.89	1.05	1.35	1.33	1.13	0.97	0.96	1.10	0.96	1.10	1.06	1.03
降水割	CM	2.40	2.00	1.60	1.60	2.00	1.30	2.20	1.30	1.50	1.20	1.60	1.80	1.10	1.40	1.60	1.20	1.10	1.10	1.10
流域内	原数(1)		Ч	1/2	1/2	1/2	1/2	1/2	1/3	1/3	1/3	1/2	1/2	н	1/2	1/3	1/3	1/3	1/3	I
调	割	見沢	ίĽ	距	啣	览	緻	涯	濪	X	应	松	따	쵎	鷾	Ξ	⊞	俐	包括:	海
TX I	観	ЪĒ	祀	廢	福	=	枳	展	讍	秩	Ŧ	浜	髾	1¥	粸	題	澎	恒	<b>份</b>	. âv
発量	4-2	A道街	3海道 C	東北B	<i>II</i>	i 北A	C 陸B	Ш	₫ 東В	11	国 東 C	」 部B	<i>u</i>	1 幾口	í 畿C	п ЩА	п ШС	ы Ш	"	ъ "МА
蒸	18	<del></del>	Ŧ			₩	=		×		<u>₽X</u>	Ψ.	-		R	Ŧ	1	5J		+
		支笏褂			二本松		Ę	影影	策				批	周山			人 第			
	_	嶯		柳	H		ЭЮ	田	域		娞	ЖШ	к¥	嶽			厥	-17]		米昂
ii E	1: =	X		粎	緣		흷	批	赤		₽	Ε	К	名			Ħ	新		久智
n T	R	整布	Ā	54	17	리江	5本	NH NH	田		(DE	Ξ	浭	鹅	वाप	紅	酒	谷	Ξ	#
4	* 	西	铤	附見	瘄	寒	1	展	¥		111	櫆	Ηť	:Щ	锢	*	恒	稛	跌	Ή¤
¥1	世	朱鞠内	本	湯田	石川	·旺 ·阿	猪苗代	大町	<u></u> 世	四 四	御岳	伊那里	н: V	政所	下和知	小中原	千代田	東豊永	檮 原	糅
		Ш	足	Ξ	Ξ	#	邸	利	-1-1	×	影	訪	桹	¥	#	Ξ	次	Ш	論	封江
		4	囲	藪	Ð	叱	E	大亚	¥	秩	あくて	飌	回	¥0	魚	烖	11]	₩	松	ŧ
掝	積 (km²)	12,697	2,529	7,869	5,256	2,100	6,997	9.843	8,588	927	2,120	4,880	4,684	7,281	1,344	1.717	2,788	1,980	1,808	2,315
	国																			
0.000	所面	癥	反	∗	52	鄉	٢	谷	萢	刑	彟	山	狜	沽	El.	iĽ,	貿	Æ		٣
流	<b>钱</b> 測所 面	守大橋	ম	*	52	邂	۴	令 不	蕝	用	水縣	山	挌	方	知山	ĬĽ,		E	T	9 4
꾗	流量観測所面	石狩大橋	帯広	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	招 若	中選	ж Ш	小千谷	莱蒿	络	場 水 端	鹿	鵜	枚  方	福知山	₩	都領	用	Ē	瀬の下
。 第	○ 流量観測所 面	川 石狩大橋	川 帯 広	三 隆 米	₩ ●川 岩 祝	三日	野川 馬 下	Ⅲ 小 千 谷	三聚态	川寄居	端を湾川	周島	川鵜招	川枚方	三福知山	三 古 王	川都賀	田親三	e i	画種の下
2	」 川 白 流量観測所 面	1 狩 川 石狩大橋	- 勝 川 帯 広	ドニ 章 米	【武隈川 岩 貂	第一日 第	1賀野川 馬 下	◎ 第 Ⅲ 小 千 谷	1根川栗 橋	[ 川 寄 居	5 上川 清 水 淵	<ul><li>3 ● ○</li><li>3 ● ○</li><li>3 ● ○</li><li>3 ● ○</li><li>4 ● ○&lt;</li></ul>	く 竜 川 鵜 招	ē 川 枚 方	3 良 川 福 知 III	1	[の川都 賀	「 第 三 雅 三 昭 二	Arte III	も後川瀬の下
近 11 2 11 2		石 狩 川 石狩大橋	□ + 勝 □ 帯 □ 広	北上川  韓 米	阿武隈川 岩 沼	一题上三中 篱	阿賀野川 馬 下	信濃川小千谷	利根川栗橋	荒    44	一留土川 満 木 號	天竜川鹿島	木 竜 川 鵜 招	淀 川 枚 方	由良川福知山	「古井三	日江の川都賀	日本野三海田	同渡 川 具 同	二気後川瀬の下
デ		寺川 石 狩川 石狩大橋	第 □ + 勝 □ 帯 □	E Ⅲ 北 上 Ⅲ 聲 ★	陽川 阿武隈川 岩 袑	1. 二 题 上 三 中 箋	野川 阿賀野川 馬 下	■ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □	□ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○ ○	三 荒 三 筝 吊	上川 富 上川 清 水 淵	笔川 天竜川 鹿 島	当 Ⅲ 木 曽 川 鵜 招	川 淀 川 枚 方	3 Ⅲ 由 良 Ⅲ 福 知 Ⅲ	# Ⅲ 吉 井 Ⅲ 岩 戸	の川江の川都賀	□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □	川渡川具同	後川筑後川瀬の下

日本の河川流域の月単位水収支と水文特性(第1報)一植原・佐藤

0.102

0.265

102

1.05

1.00

-

虛

九州D 滨

須 木

西岳帮城小林

2,126

Œ

川大 淀 川 柏

大流

-47-



Kitakami River (Tome)



Shinano River (Ojiya)



図4.5 実測及び計算ハイドログラフ等の比較・利根川(栗橋)





Ara River (Yorii)





Yoshino River (Ikeda)





Fig. 4.12 Comparison of hydrographs observed and calculated Chikugo River (Senoshita)

I, II型に属する流出機構を持つ流域の方が適合度が良く, IV, V型に属する保水機能の小 さい流域程適合が悪いと云う点である。この点に関しては菅原(1969)が九州諸河川の月流 出解析を行った結果でも言及している。保水機能の大きい流域は,降水の変動性を平均化す る働きが大きいことから,流出の変動幅が狭く,適合性が良くなることが当然考えられるし, 保水機能の小なるものは,その逆が考えられる。しかじ,長良川忠節,由良川福知山,吉井 川岩戸のように,V型に属しながらも,CRE はそれぞれ 0.282, 0.272, 0.301 と良い適合性を 示した所もあり,結局は第1,2の原因が重要であるとみられる。

表4 月単位水収支モデルの適合判定係数(CRE)の地域別分 布

CRE 地区		0.20 <cre &lt;0.30</cre 	0.30≦CRE <0.40	0.40≦CRE <0.50	0.50≦CRE <0.60	0.60≦CRE	CRE の平均値	
		1	Q	7	3	4	0.406	
114	±lk.	5	12	6	1	0	0.354	
北	陸	6			0	0.334		
関	東	4	4 10 2 2		1	0.368		
ф	部	5	5 8 2 3		3	0	0.370	
近	畿	3	4	2	6	5	0.452	
中	E	1	9	6	0	1	0.398	
낃니	国	1	4	6	3	1	0.446	
九	州	7	14	7	3	1	0.353	
全.	玉	33	75	39	23	13	0.390	
183個所 (%)		(18.0)	(41.0)	(21.3)	(12.6)	(7.1)		

 
 Table 4
 Evaluation coefficient for analysed monthly water balance model (CRE) in each district

## 3.2 降水割増係数

月単位水収支モデル解析の結果得られた降水割増係数 CM, CP・CM の値は,最大となる 1・2 月で,それぞれ大部分の流域で 2.90~1.00,3.22~1.10 となり, CP は 1.46~0.92 の範囲 に入った.これらの地域的特性をみるために,地域毎整理した結果を表5 と図5 に示す.こ の表及び図から明らかなように、CM 及び CP・CM は,中部地方以東の地域は,近畿地方以 西の地域に比して大きく、特に東北,北海道と積雪寒冷地程大きくなっている.これに比し て CP の値は、東日本でやや大きい傾向はあるが概して変動は小さい.

降水割増係数と流域平均標高との関係について地域毎の平均値をプロットしたのが図6で あるが、CM は殆んど関係がないとみられるのに対して、CP は僅かではあるが、流域平均標 高が高ければ増大する傾向がみられる。

以上の結果からみて, CM の値は, 降水観測の捕捉率が低下する降雪期の特に厳寒期に大き

### 表5 地域別平均降水割増係数及び流域平均標高,降水 観測所平均標高

Table 5Averaged extra coefficients for precipita-<br/>tion, mean altitudes of catchments and<br/>precipitation stations in each district

		降7	水割増(	系数	地域流域 平均標高	地域降水 観 測 所	MH <sub>PM</sub> /	
		CM CP CP·CM MH <sub>BM</sub> 平均		平均標高 MH <sub>PM</sub>	MH <sub>вм</sub>			
北海	爭道	2.25	1.14	2.59	(m) 604	(m) 170	0.28	
束	北	1.66	1.14	1.89	741	210	0.27	
北	陸	1.26	1.25	1.58	1,069	508	0.43	
関	東	1.41	1.05	1.48	975	489	0.50	
中	部	1.34	1.17	1.57	822	387	0.47	
近	畿	1.34	1.02	1.37	527	255	0.47	
中	王	1.41	1.01	1.42	524	242	0.45	
꼬	E	1.25	1.10	1.38	716	238	0.33	
九	州	1.29	1.05	1.35	538	229	0.42	

(注) CM, CM・CP の値は1, 2月で年間最大値である.

くなり,寒冷地程大きくなるとみてよいと判断される.一方 CP は全年にかかる割増係数であ るが,流域内降水観測点の相対的ウエイトや,降水量の標高分布の補正を含んだ,言わば, 降水観測点の代表性を意味するものと解釈して良いと思われる.しかしながら,CM,CP と も,上記の解釈で必ずしも説明できない流域もしばしばみられることから,その相互的関係 や,流域の特殊性からの吟味は今後の課題である.CP が 1.00 を切る値となる事例について は,その可能性は否定できないが,用水取水等の影響が多いと思われる流域に例が多く,個々 の流域の水収支の計算を行う段階で,用水関係の資料に基づき修正することが必要である.

## 3.3 流域融雪率

流域融雪率の計算では、流域平均気温の推定が大きな問題であり、菅原(1969, 1977)も 日流出解析でこの点を強調している。

本研究では、基準気温観測所のデータを補正項なしで使ったが、一般に流域に近い長期の データのある気温観測点は、海岸に近い所に位置しているか、又は内陸でも都市に存在する 場合が多く、基準気温としては高過ぎる。従って、その選定に当っては、比較的寒冷な内陸 の観測所を、多少距離が遠い場合でも、適合度が良ければ用いることにした。

流域融雪率の計算式は,第1近似としては可成り良い結果を示めしたが,積雪が非常に大きい流域,温暖地の流域等,同一の式で良いかは問題であり,今後,式の意味する内容及び 上述の点について更に検討を進めることにしている.

図7は、全国主要河川流域の各月融雪率の1936~1965年の30年間の平均値を例示した図



Fig. 6 Relation between mean altitude of catchments and average extra coefficients for monthly precipitations of catchment in each district (Jan. and Feb., Mar., Apr.)









図8 流域平均標高と融雪率との関係

Fig. 8 Relation between mean altitudes and monthly snowmelt rations of catchments

であるが,融雪率の年間のパターンの同じ流域を異なる地域間で求めると,阿武隈川岩沼, 利根川栗橋,木曽川鵜沼の3流域,紀の川船戸,吉井川岩戸,吉野川池田の3流域,最上川 高屋と阿賀野川馬下の2流域,淀川枚方と江の川都賀の2流域等を挙げることができ,降積 雪の気候的共通性と云う観点からみて非常に興味深い.

図8は流域の平均標高と1,3,4月の融雪率との関係を全国24流域についてプロットした ものであるが、北海道と東北北部の流域及び信濃川小千谷のような寒冷地流域を除けば、融 雪率は流域平均標高に反比例の関係が良く出ており、標高の低い近畿、中国の流域は他地域 の流域に比して、融雪率が冬期でも高いことがわかり、冬期流量が多いとみられる。これに 対して、北海道等寒冷地の流域は、1,2月の融雪率が極端に小となるので、冬期に渇水が定 常的に発生している。

## 3.4 流域蒸発散量の評価が水収支モデルに及ぼす影響

流域蒸発散量は前述した方法で、地域毎月別蒸発量  $E_j$ として固定したが、この  $E_j$ の評価 が水収支モデルにどの様に影響するかをみるために、一定の係数 a を  $E_j$ に掛けに蒸発量を 使って、最適水収支モデルを CRE を基準に判定して確定し、 $E_j$ により確定した結果と比較 した. a は、0.5、0.7、0.8、0.9、1.1、1.2、1.3、1.5 とし、全国 13 流域を選定して解析した結 果は次のとおりであった。

(1) CM の  $\alpha$  による変化は少ない. 一般に  $\alpha$  が増加するに従って CM は減少するが,  $\alpha = 0.5$  及び 1.5 の最小・最大値を採ったときの CM の変化は, 最大 25%程度である.

(2) 流出モデルの変化は  $\alpha = 0.5 \sim 1.5$  の間に殆んど変化しない場合と、可成り変化する場合 があるが、一般に保水機能の大きい(後述する I、II、III型)流出モデルの変化は少なく、 保水機能の小さい(IV、V型)流出モデルの変化は大で、 $\alpha$ の増大に伴って段階的に保水機能 の大きい流出モデルへと変化する.

(3) CRE の変化は、 $\alpha$ の増大につれて増加するもの、減少するもの、 $\alpha = 1.0$  附近で最小と なるものと様々であるが、その変化率は非常に小さく、最小、最大の CRE を比較しても、数% 以下の変化に過ぎない。

以上のことから,流域蒸発散量の推定評価が,本研究の手法により決定した水収支モデル の評価に及ぼす影響はあまり大きなものではなく,流況変動の激しい流域を除けば,得られ た結果は相当信頼性の高いものとみることができる.特に CRE が,多くの場合 α = 1.0 附近 で最小値を与えていることは,逆に採用した流域蒸発散量の値が妥当なものであったとみて もよいと思われる.

#### 3.5 月流出モデルの分類とその地域的特性等の比較

各流域について月単位水収支モデルを解析して決定した月流出モデルを,その保水機能に よって5種類に分類し,各分類に属する流域を整理して,その地域的特性等を比較した.

月流出モデルの保水機能は、一定の降水パターンをモデルへの入力として与え、モデルの



Fig. 9 Classification of monthly runoff models based on their water holding capacity

国立防災科学技術センター研究報告 第30号 1983年3月

	101	102	103	104	105	106	107	
	450 50 0.25	450 0.25	350 50 0.25	350 0.40 50 0.30	350 0.40 50 0.25	350 50 0.30	350 50 0.20	
	200 0.20	200-0.30	100-0.10	500	200 0.20	300 0.20	0.30	
	0.20	0.15	0.20	0.20	0.20	0.20	0.15	
上编道	83/0 ( <b>386</b> )*		1.通用(四单案) 二通目(四執) 二成目(四執) (回来日(把根平)	人里( ( # Y )	0.03	(標為)	4,按4 (中愛)別)	7
<b>\$</b> 0.						に上川(武神寺) 脇を石川(田庵)		2
1. PR	11歳(11)(11)(11)(11)	「由川 (装置下)	19次載((長)))	阿賀特川(山谷)	标题的 (今千谷)	魚戸川(बご内) 神通川(神通大街)	濕部河 (養本)	8
19. a	行走((約1)		鬼怒川(水海道) 高工川(古大端) 相検川(相枝ダム)		第四日(桃林橋)		素河川(野印)	ő
中都					行99100 (後裔)	$\{f_1,f_2^{(i)},f_1^{(i)},f_2^{(i)},f_3^{(i)}$		2
<b>3 2</b>		\$ (((())))						2
ι‡i JK								0
194 16								0
<i>t</i> L #4		1019月1日(小社) 人気1日(天天山間、柏田) モケ適用(和24)	川内川(下穀) 市属川(宍雞)			f:)) (f(執稿)	た(オ)(作用(タム、日) 遺稿)	10
成域数	3	8	Э	2	3	7	5	32

\* 印は適合成利止係数CRE が1,500 以上で適合性の利用が振動な観測点



図10 全国河川流域月流出モデルの各カテゴリー別分類 (1)I型 (2)II型

Fig. 10 Classification of monthly runoff models analysed for 187 river basins in Japan (1)Type I  $\$  (2)Type II



図10 全国河川流域月流出モデルの各カテゴリー別分類 (3)III型 (4)IV型

Fig. 10 Classification of monthly runoff models analysed for 187 river basins in Japan (3) TypeIII (4)TypeIV





Fig. 10 Classification of monthly runoff models analysed for 187 river basins in Japan (5)TypeV

### 表6 全国主要河川流域の月流出モデル分類地域分布

 Table. 6
 Number of monthly runoff model classified to each category in each district

流出モデル 地域		I 型		II型		Ⅲ型		IV型		V型		合	計	
			個	所(%)										
北	海	道	7	(29)	9	(38)	3	(13)	2	(7)	3	(13)	24	(100)
東		北	2	(8)	2	(8)	12	(50)	4	(17)	4	(17)	24	(100)
北		陸	8	(57)	2	(14)	3	(21)	1	(8)	0	(0)	14	(100)
関		東	6	(32)	3	(16)	8	(42)	2	(10)	0	(0)	19	(110)
中		部	2	(11)	9	(50)	3	(17)	2	(11)	2	(11)	18	(100)
近		畿	2	(10)	3	(15)	5	(25)	4	(20)	6	(30)	20	(100)
中		围	0	(0)	3	(18)	7	(41)	4	(23)	3	(18)	17	(105)
匹		国	0	(0)	2	(13)	5	(33)	8	(54)	0	(0)	15	(100)
九		州	10	(31)	12	(38)	6	(19)	2	(6)	2	(6)	32	(100)
	計		37	(20)	45	(25)	52	(28)	29	(16)	20	(11)	183	(100)

出力である流出量の変動性を最大流出量  $Q_{max}$  と最小流出量  $Q_{min}$ の比  $\epsilon$  で表わし,  $\epsilon$ の小なる程流出モデルの保水機能が大であるとした。具体的には、降水パターンは mm/月単位で、100,50,100,500,000,50 の繰り返しパターンを用いた。 $\epsilon$ は、定常的な最大・最小流出量の比 ( $\epsilon = Q_{max}/Q_{min}$ )をとった。計算結果は図9に示す如くであり、分類は一応  $\epsilon$ の区切の良い数値で、I型は2  $\leq \epsilon < 3$ 、II型は3  $\leq \epsilon < 4$ 、III型は4  $\leq \epsilon < 5$ , IV型は5  $\leq \epsilon < 6$ , V型は $\epsilon \geq 6$ とした。各型の中に含まれるモデルは、 $\epsilon$ の小さい順にI型は101から107、II型は201~205と云うように番号を付した。

次に各流出モデル毎に地域別該当流域を示したのが図10である。表6には、地域別、類型別の集計を示す。以上の結果を総合して以下のことが明らかとなった。

(1) 保水機能の大きい I, II型に属する月流出モデルは,北海道,北陸,関東,中部及び九州に多く,保水機能の小さいIV型V型は,近畿,中国,四国地方に多く分布している。即ち 第四紀火山噴出物の分布する地域と,花崗岩類及び中・古生代の地質分布の地域に, I・II 型及びIV・V型がおおよそ対応していることから,地域の地質条件により月流出モデルの型 をある程度推定することができるとみられる。

(2) しかしながら、上記に反した事例もいくつかみられる.例えば淀川のように、地質条件 としては保水性の小さい地域でありながら、琵琶湖の貯水機能によってI型に属しており、 富士川は地質条件からみればI型に属するのは不自然の感もあり、盆地構造が何らかの貯水 機能を有しているのかも知れない等、更に詳細な検討の要がある.

(3) 河川別に流域の地質条件と月流出モデルの対応が明瞭に現われている事例は多いが、その典型的なものとして、川内川と大淀川の例を掲げることができる。川内川は、上流吉松の流域から下殿、斧淵と下流に行くに従って火山性の地質の割合が減少するが、それに伴って、月流出モデルは102、103、203と変化している。大淀川は本川流域と支川本庄川の流域は、地質条件が全く異なり、本川は火山性地質でモデルは102であり、本庄川は、古第三紀の砂岩泥岩等の地質が主体で、綾南ダム302、嵐田303、綾北ダム501であるが、合流後は柏田で102となり、流域面積の大きい本川に流況は支配されている。

以上から,地質条件と月流出モデルの対応は,かなり定量的に求めることができるのでは ないかと期待されるので,更にこの点を明確にした上で,特殊条件の場合を考察することを 考えている.

4. おわりに

本報告の範囲は,流域の月単位水収支モデルを解析し,その最適モデルを確定することに より,流域の水文特性を明らかにすることにあったが,融雪モデルの詳細な吟味,月流出モ

-63 -

デルと流域の地質条件等の対応については、今後に課題を残している.しかし、全国的な規 模でマクロ的に流域の水文特性を明らかにすることでは、かなりの成果を得たと考える.

今後は上述の課題を解析すると同時に,確定した水収支モデルを使って,各河川流域の水 収支,及びその変動性等に関する解析の進め,我国の水資源の賦存量と問題点のマクロ的価 評を行うこととしている.

#### 5.謝辞

本研究は、菅原正巳前国立防災科学技術センター所長が、科学技術庁資源調査会水資源部 会に報告された研究論文を主体に取りまとめられた、資源調査会報告第34号水資源の変動様 相に関する調査報告(1965)及び第47号水資源の循環機構に関する調査報告(1969)等の報 告作成に、事務局の立場からお手伝した時学んだ知識・経験等から出発したもので、長年に 亘る菅原前所長の御教示に深い感謝の意を表します。また本報告の予備的計算の段階では、 菅原前所長の御好意のもと、第4研究部計測研究室尾崎睿子技官に解析計算で多大の御協力 を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 資源調査会報告第34号水資源の変動様相に関する調査報告(1965):科学技術庁資源調査会
- 2) 資源調査会報告第47号水資源の循環機構に関する調査報告(1969):科学技術庁資源調査会
- 3) 菅原正巳・渡辺一郎・尾崎蓉子・勝山ヨシ子(1977):タンク・モデルの構造を自動的に定める 計算機プログラムの開発(第1報)国立防災科学技術センター研究報告, No17,41-86.
- 4) 虫明功臣・高橋 裕・安藤義久(1981):日本の山地河川の流況に及ぼす流域の地質の効果,土 木学会論文報告集第 309 号,51-62.
- 5) 阪口 豊(1965); 流域の発達と日本島流域の特性, 地理評論, 38, 74-91.
- 6) 地上観測法(1971):日本気象協会 89-102, 163-165.
- 7) 櫻谷哲夫(1982):蒸発の測定法,農業気象37(4),337-338.
- 8) 井上力太, 安斉正直(1959):雪量計の試作, 雪氷 21 巻 6 号 8-11.
- 9) 吉田作松(1961):雪の観測について,雪氷23巻6号20-25.
- 10 菅原正巳・渡辺一郎・尾崎睿子・勝山ヨシ子(1978):タンク・モデルの構造を自動的に定める 計算機プログラムの開発(第2報)国立防災科学技術センター研究報告第20号,157-216.

(1982年12月10日 原稿受理)