

琵琶湖北部域及び全流域の積雪・融雪・流出モデル解析

池淵 周一・竹林 征三・友村 光秀

SNOW ACCUMULATION, MELTING AND RUNOFF ANALYSES IN THE NORTHERN AND THE WHOLE AREAS OF LAKE BIWA WATERSHED

By *Shuichi IKEBUCHI, Seizo TAKEBAYASHI*
and *Mitsuhide TOMOMURA*

Synopsis

The aim of this study is to apply the snow accumulation, melting and runoff models proposed in the previous papers to the Ohura and the Takatoki Rivers located at the northern part of Lake Biwa watershed, in the year 1985 and to improve their models. Those models are mainly improved in the melting process by the radiation and the temperature factors and the set up of liquid water holding capacity. Their results applied to both river basins wave good agreement between the calculated and observed time series of the snowpack depth and the river discharge. And then the simplified form into the daily lump of those models is applied to the whole area of Lake Biwa watershed. The result shows good reproduction in the water level of Lake Biwa.

1. は じ め に

琵琶湖の水循環過程のなかで、積雪およびその融雪流出は春季における湖水位の上昇に大きく寄与しており、融雪流出機構の解明とそのモデル化は、流域の水循環過程を量的、質的にトータルな視野で把握した総合水管理を行ううえで重要な課題である。ところで、前報で¹⁾も述べたように、琵琶湖流域は暖地性積雪地域とも呼ばれ、冬季にも降雨、融雪が生じるため、融雪流出予測の精度向上には積雪・融雪・流出過程を実用上十分な精度で表現できるモデルを構成し、琵琶湖の流域スケールで実況に応じたシステムを開発する必要がある。

こうした観点から、著者らは前報、前々報²⁾で積雪・融雪・流出過程のモデル化および流域への適用方法を検討してきた。すなわち、琵琶湖北部大浦川流域で詳細な気象・水文観測を実施し、得られたデータを利用して積雪・融雪・流出過程のモデル化をはかった。このモデルは、降水量、気温、日射量のみをインプットデータとし、少雪年（昭和57年12月から58年4月まで、以下58年度）、多雪年（昭和58年11月から59年5月まで、以下59年度）あるいは任意の計算時間ステップに対応できる汎用性の高いモデルであることが流出量、積雪深、積雪水量などで検証されてきた。

本研究では、さらに本モデルの琵琶湖全域への適用をはかるため、昭和59年12月から60年4月の期間（以下、60年度）、琵琶湖流域での最多雪地帯である高時川流域でも同様の観測を実施し、モデルの精度向上をはかるとともに、琵琶湖全流域に適用する流域分割とモデル化、さらには琵琶湖水位の再現でトータルな意味でのモデルの検証を試みたので報告する。

2. 流域概況と積雪状況

2.1 大浦川流域と高時川流域の概況

大浦川流域についてはすでに前々報で詳細に論じてあるので、ここでは高時川流域を中心に流域の概況と積雪状況を述べておく。Fig. 1 は高時川流域と観測システムの配置図を示したものである。大浦川流域は流域面積 13.8 km² (庄流域)、標高 92~657 m、中位高度約 250 m の流域であったが、高時川流域は流域面積がダム計画地点で 93.7 km²、水位・流量観測を行ったカソ谷流域は 13.1 km² である。標高は 230~1209 m、中位高度はダム流域で約 640 m、カソ谷流域で約 560 m である。

Fig. 2, 3 に60年度における大浦川、高時川の気象要素、積雪深、流量を示す。大浦川山中牧場では最大積雪深 115 cm (1月7日)、積雪期間12月23日~3月5日と少雪年であった昭和58年度 (最大積雪深 57 cm)、多雪年であった昭和59年度 (最大積雪深 245 cm) の中間の値であった。高時川中河内では、山中牧場より積雪量がかかなり多く、最大積雪深は 250 cm (2月23日)、積雪期間は12月19日~4月5日であった。

積雪深変化の差は流量変化にも現われており、2月中旬の降雨で本格的な融雪が始まり、3月上旬に融雪のピークとなった大浦川に対して高時川流域では、2月中旬の出水のあと、一旦減水し、融雪ピークは3月下旬頃である。なお、日流量の個々のピークは降雨に対応しており、大浦川では2月中旬の降雨、高時川では3月中旬の降雨に最大ピークがみられる。

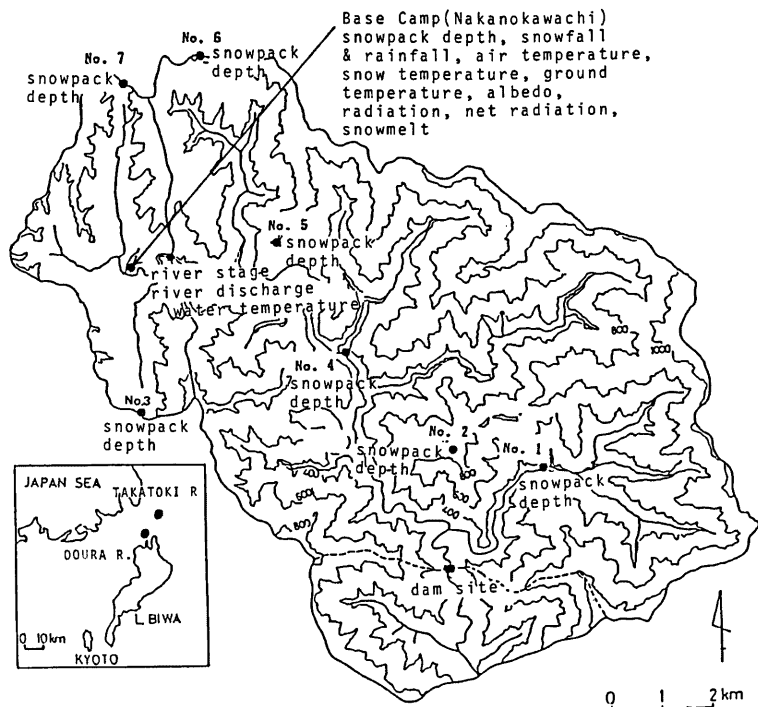


Fig. 1 Map of Takatoki River basin and location of observation stations.

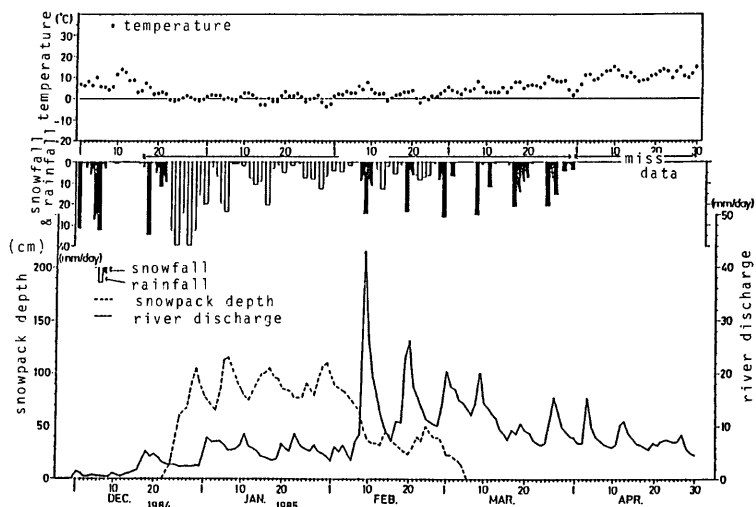


Fig. 2 Observed sequences of temperature, radiation, snow depth and streamflow in the Ohura River basin at 1985.

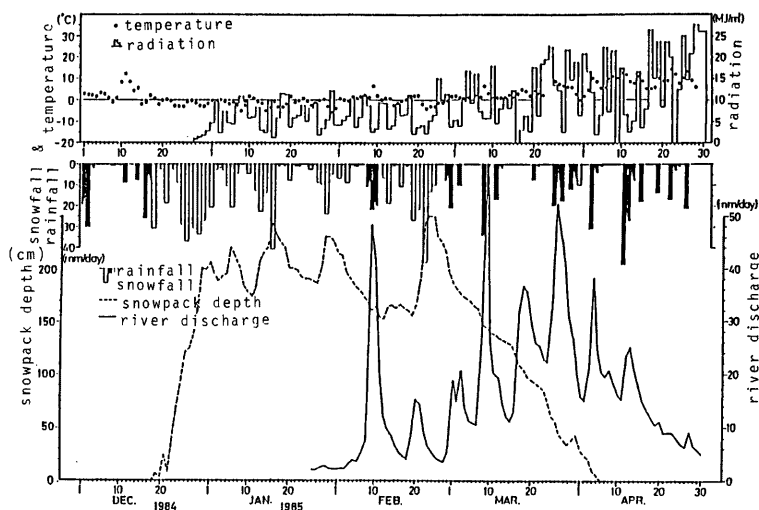


Fig. 3 Observed sequences of temperature, radiation, snow depth and streamflow in the Takatoki River basin, at 1985.

2.2 琵琶湖流域各地の積雪深変化

Fig. 4 に琵琶湖北部の積雪深変化図を示す。琵琶湖東部，西部についても多くの地点で積雪深を測っているが，図が煩雑になるのでここでは各地域の比較ができるように，代表的に伊吹山 No. 1 (東部)，比良山 No. 1 (西部) を併記してある。

北部は東部，西部に比較して積雪が多いが，北部でも南北の差によりかなりの差がみられる。他の地域でも一般に琵琶湖に近づくにつれ，積雪深は減少しており，これは主に標高との関係であろう。なお，高時川 No. 3 (椿坂峠，標高 520 m) と高時川 No. 7 (栃ノ木峠，標高 539 m) は同程度の標高にかかわらず 50 cm 以上の差がみられるが，高時川流域では，左岸 (風上側) と右岸 (風下側) で積雪状況が異なるようで，これは主に季節風方向の日本海からの距離に依存しているのではなかろうか。

60年度の主な降雪は，12月下旬，1月上旬，中旬，1月末，2月中旬，2月下旬の6回であるが，地域差が大きいのは12月下旬と2月中旬の降雪である。12月下旬では，東部，北部では積雪深の増加がみられるのに対して，西部ではほとんど増加していない。2月中旬は，北部に対して西部，東部の増加が大きい。しかし北部でも高時川 No. 2, No. 6 のように標高が高いところでは増加が大きい。このことは，それまで伊吹山 No. 1 と同程度の積雪深であった比良山 No. 1 (標高 975 m) が高時川中河内程度まで増加していることにも現われている。

2.3 積雪の高度分布

2月27日～3月2日に伊吹山，比良山を中心にした全域の積雪調査，3月6日～8日，3月25日～29日には高時川の積雪調査を実施した。**Fig. 5** にこれら調査活動を標高との関係で図示した。バラツキはあるものの，白丸で示した東部，西部は直線で近似できる。高時川流域でも直線関係が認められるが，東部，西部とは傾きは同様でも絶対量の差が大きい。また，右岸から左岸，すなわち南から北へいくにつれて積雪量が増大するようである。これら積雪水量の分布特性には，標高，地域，斜面の向き，などにともなう降雪量，

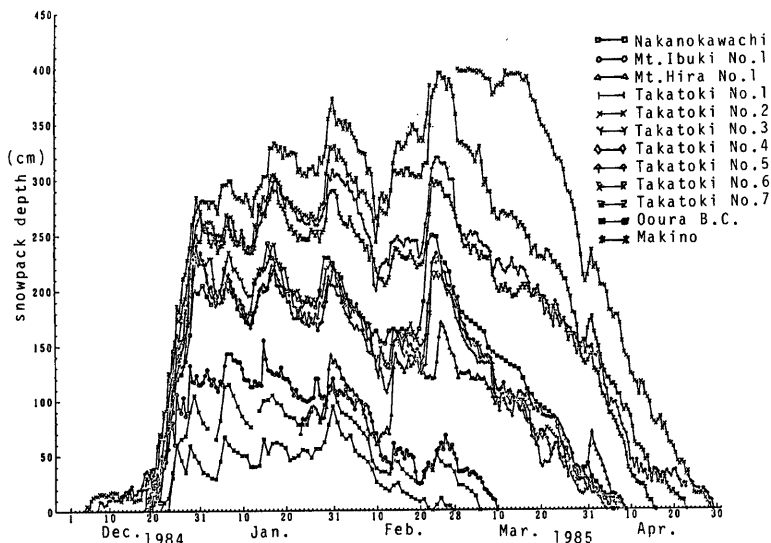


Fig. 4 Variation of snow depth at station points in the northern part of Lake Biwa watershed.

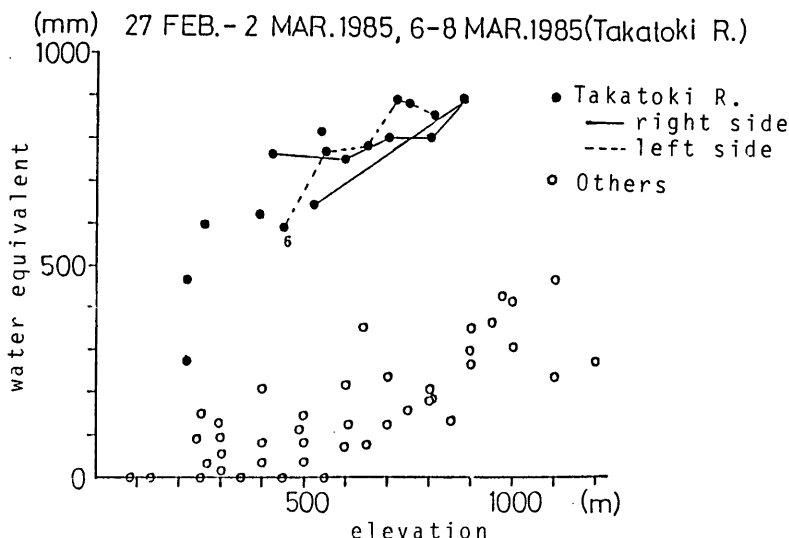


Fig. 5 Variation of water equivalent with elevation.

融雪量の差が影響しているわけで、琵琶湖全流域へ積雪・融雪・流出モデルを適用する際には、流出量の精度とも照らしあわせ、考慮していかなければならないであろう。

3. 積雪・融雪モデルの問題点とその改良

3.1 基本モデルの適用結果

前報で考察した積雪・融雪モデル（以下、基本モデルと呼ぶ。Fig. 6 にモデルのブロックダイアグラムを再記しておく。）および同定パラメータを用いて、60年度の大浦川流域に適用した結果が Fig. 7, 8 である。58, 59年度と同程度のよい再現性を示している。

つぎに、大浦川と同様のパラメータを用いて高時川へ適用した結果を Fig. 9, 10 に示す。積雪深は3月に入ってから減少および消雪日はほぼ再現されているが、それまでの値はかなり小さい。流量再現も試みたが、2月、3月の流量がほとんど増加せず、逆に4月の流量が過大となった。

3.2 モデルの改良

高時川のような多雪地帯で不適合性の原因として、基本モデルの中にてくる下記(1)式における融雪定数 $BDHF$ 、(2)式で表わされる可能保水率 WHC 、(3)式の流出率 PC 、および(1)式の融雪量算定式そのものを考え、各要素の算定方法を変えて適合性を比較した。

$$HTI = BDHF * (RAD/359) * (1 - ALB) * T \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$WHC = 0.136 * \exp(-3.05 * DN) \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$PC = 21 / (21 + 0.039 * DP) \quad \dots\dots\dots(3)$$

ここに、 HTI ：気温融雪量 (mm)、 $BDHF$ ：融雪定数 (mm/°C)、 RAD ：日射量 (ly/day)、359：彦根の4月の平均日射量 (ly/day)、 ALB ：アルベド、 T ：気温 (°C)、 WHC ：積雪内可能保水率、 DN ：積雪密度 (g/cm³)、 PC ：1時間あたりの流出率、 DP ：積雪深 (mm)、である。

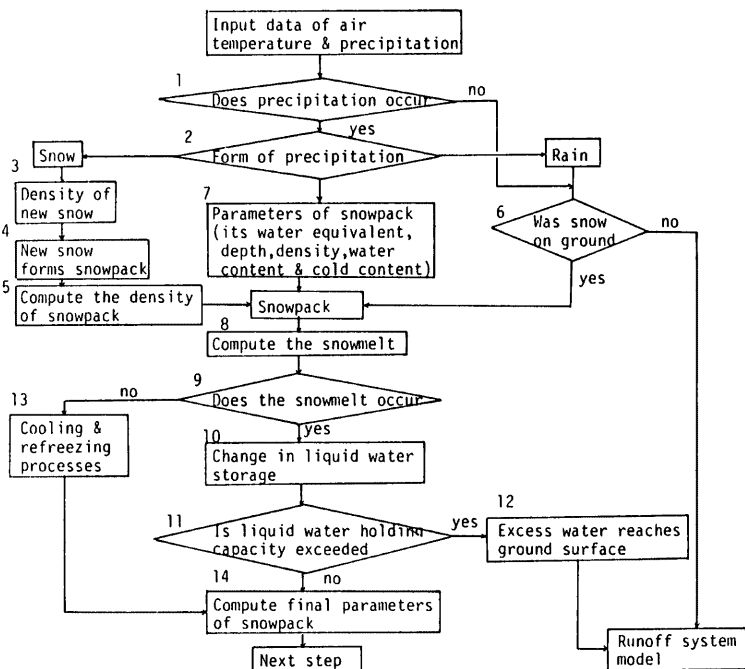


Fig. 6 Block diagram of snowmelt model.

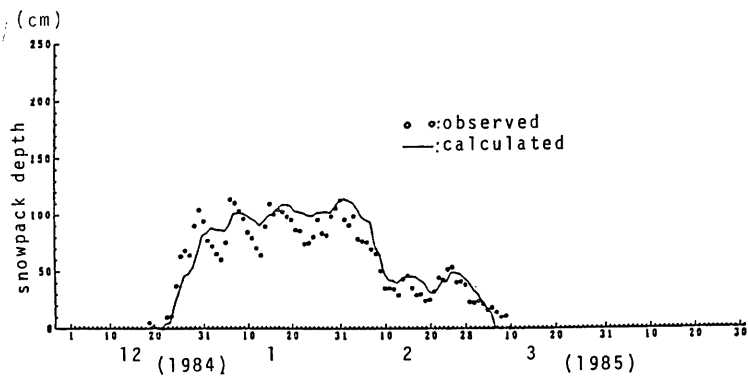


Fig. 7 Observed and calculated snow depths in the Ohura River basin, at 1985 (by the previous model).

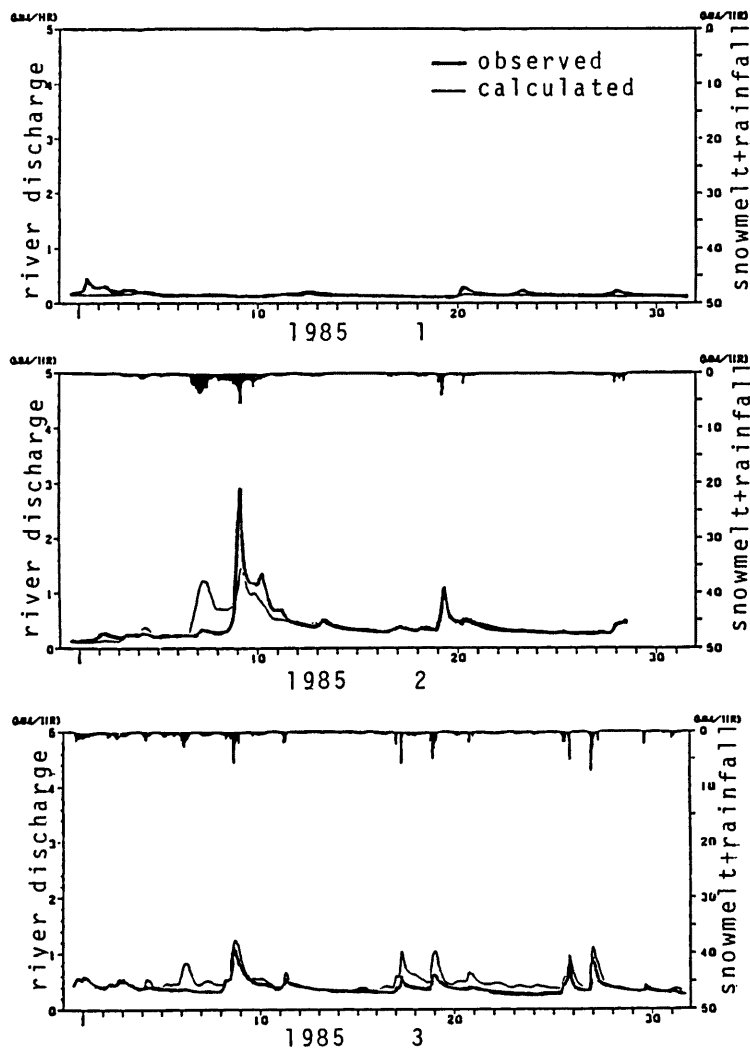


Fig. 8 Observed and calculated hourly streamflows in the Ohura River basin, at 1985 (by the previous model).



Fig. 9 Observed and calculated snow depth in the Takatoki River basin, at 1985 (by the previous model).

なお、(1)式のアルベドについては、従来文献³⁾からの借用であったが、高時川流域でアルベドメータを用いて実測した値と積雪経過日数をプロットした Fig. 11 から、新たに次式を用いることにした。

$$ALB = -0.0065 * NTX + 0.666 \quad (NTX \geq 6) \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$ALB = -0.041 * NTX + 0.873 \quad (NTX < 6) \quad \dots\dots\dots(5)$$

ここに、 NTX ；降雪からの日数 (days)，である。

流出率 PC については、(3)式の形をそのまま用いたが、次式の係数 a を変化させることにした。

$$PC = a / (a + 0.039 * DP) \quad \dots\dots\dots(6)$$

融雪量算定式は、日射量がごく小さく気温が比較的高い時の融雪量を表現することを目的として、(1)式の気温×日射量の積形式に対して、より熱収支的考えに近い、次式の気温+日射量の和形式を検討した。

$$HTI = HRAD + HTEM \quad \dots\dots\dots(7)$$

$$HRAD = RAD * (1 - ALB) / 80 \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$HTEM = CT * T \quad \dots\dots\dots(9)$$

ここに、 $HRAD$ ：日射による融雪熱 (mm)， $HTEM$ ；気温による融雪熱 (mm)， CT ；気温融雪熱係数 (mm/°C)，である。

Table 1 に検討結果を一括して示す。検討ケース1は既往モデル，ケース2，3は融雪係数 $BDHF$ ，ケース4，5は可能保水率 WHC ，ケース6～8は流出率 PC ，ケース9～11は(7)～(9)式の検討ケース，ケース12～16は総合的な検討ケースである。計算値の評価にはタンクモデルに入力すると流量の再現性のよい地表面到達水量の観測値 (高時川中河内でラインメータにより直接、地表面到達水量を測定した。結果は Fig. 12) との比較結果を用いた。また、同表中の評価基準 ER は観測値，計算値ともに 0.1 mm 以上の場合について、次式で与えられるものである。

$$ER = (1/N) * \sum_{i=1}^N |Q_{cal}(i) - Q_{obs}(i)| / \sqrt{Q_{obs}(i)} \quad \dots\dots\dots(10)$$

ここに、 ER ；評価基準， N ；データ数， $Q_{cal}(i)$ ； i 時の地表面到達水量の計算値 (mm/hr)， $Q_{obs}(i)$ ；同じく観測値 (mm/hr)，である。

ER の値，地表面到達水量の再現結果などから最終的にケース16のモデルを採用した。既往モデルよりも可能保水率，流出率ともに小さい。すなわち融雪水が重力水として雪層中を降下する限界値はこれまでよりも小さく，雪層中の移動はより緩慢になる結果になった。

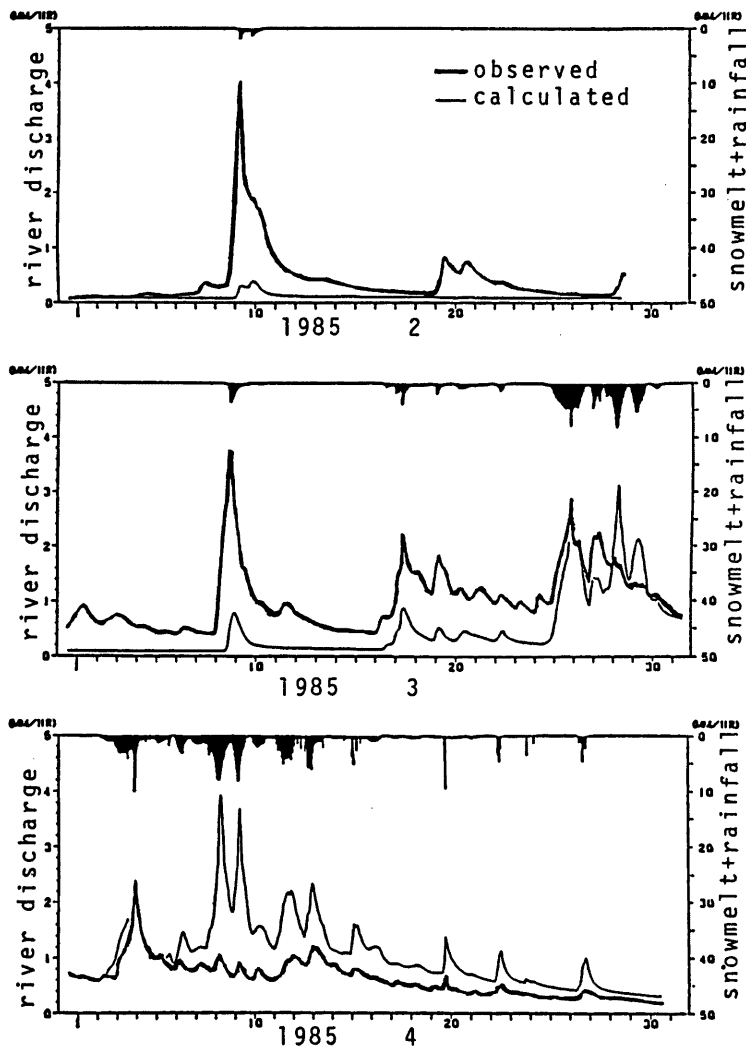


Fig. 10 Observed calculated hourly streamflows in the Takatoki River, at 1985 (by the previous model).

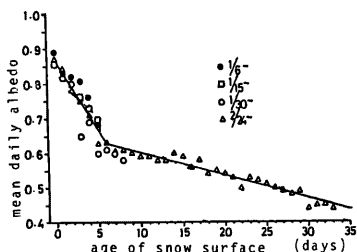


Fig. 11 Time variation in albedo of a snow surface.

4. 改良モデルの適用結果と考察

改良モデルを高時川流域に適用した結果を Fig. 13 に示す。適用に際しては降水の捕捉率を考へ（中河内の積算降水量が積雪水量観測値に比べて小さいことから明らかに高標高地域での降水観測に捕捉率の問題がある）、降雪の場合、降水量を観測値の1.4倍とし、気温減率は Fig. 14 に示す大浦川流域の関係をそのまま用いて日および月変化を与えてある。また、流出モデルとしては大浦川流域と同じ Fig. 15 のタンクモデルを用いている。2月から3月半ばの出水がやや過小、3月末から4月のはじめがやや過大となっているが、既往モデル (Fig. 10) と比較すると大幅な改善がみられる。同じ改良モデルを大浦川の58, 59, 60年度に適用した結果では、少雪年の58年度の適合性は既往モデルとはほぼ同程度で、多雪年であった59年度は3月中旬～4月上旬の融雪初期から全盛期にかけての適合性が大幅に改善された。60年度についても2月の融雪初期の出水が改善されたが、1月には既往モデルの適用性がよく、改良モデルでは過大傾向となった。

Table 2 は60年度について既往モデル(1)式と改良モデル(7)式で算出される雪面融雪量を、無降雨時の13時の値を抽出して示したものである。1月においては既往モデルの方が改良モデルの約20%と小さい。しかし、大浦川、高時川ともに同傾向であり、大浦川での1月の流量の過大評価は融雪量算定式の影響ではなく、雪層内の流下機構の差の影響とも解釈できる。

いずれにしても既往モデルは比較的低い標高の低い、暖地性積雪の傾向の強い地域での有効性を示すのに対して、改良モデルは標高が比較的高く積雪の多い地域や、標高が低くても59年度のような多雪年における融雪期により適合性を示すようである。

Table 1 Contents of modification from the previous model to the improved one.

case	contents of modification	ER
1	no modification	1. 0614
2	BDHF=1.5	1. 1029
3	BDHF=2.0	1. 2367
4	WHC: by eq. (3.2)	1. 0838
5	WHC: 0.01 (constant)	1. 0791
6	PC=(30/30+DP)	1. 1629
7	PC=(10/10+DP)	1. 0062
8	at rainfall: PC=1	1. 6371
9	HTI=HRAD+HTEM CT=0.3	0. 8833
10	HTI=HRAD+HTEM CT=0.4	0. 8530
11	HTI=HRAD+HTEM CT=0.5	0. 8569
12	WHC: by eq. (3.2) PC: 10/(10+DP) at rainfall: PC=0.8 HTI=BDHF*RAD/359*(1-ALB)*T	1. 8408
13	in addition to case 12, WHC=0.01 (constant)	1. 8386
14	WHC: by eq. (3.2) PC: 10/(10+DP) at rainfall: PC=0.8 (CT=0.4) HTI=HRAD+HTEM	0. 9527
15	in addition to case 14, WHC=0.01 (constant)	
16	WHC: 0.01 (constant) PC: 10/(10+DP) at rainfall: PC=0.5 (DP>25 cm) HTI=HRAD+HTEM (CT=0.4)	0. 7616

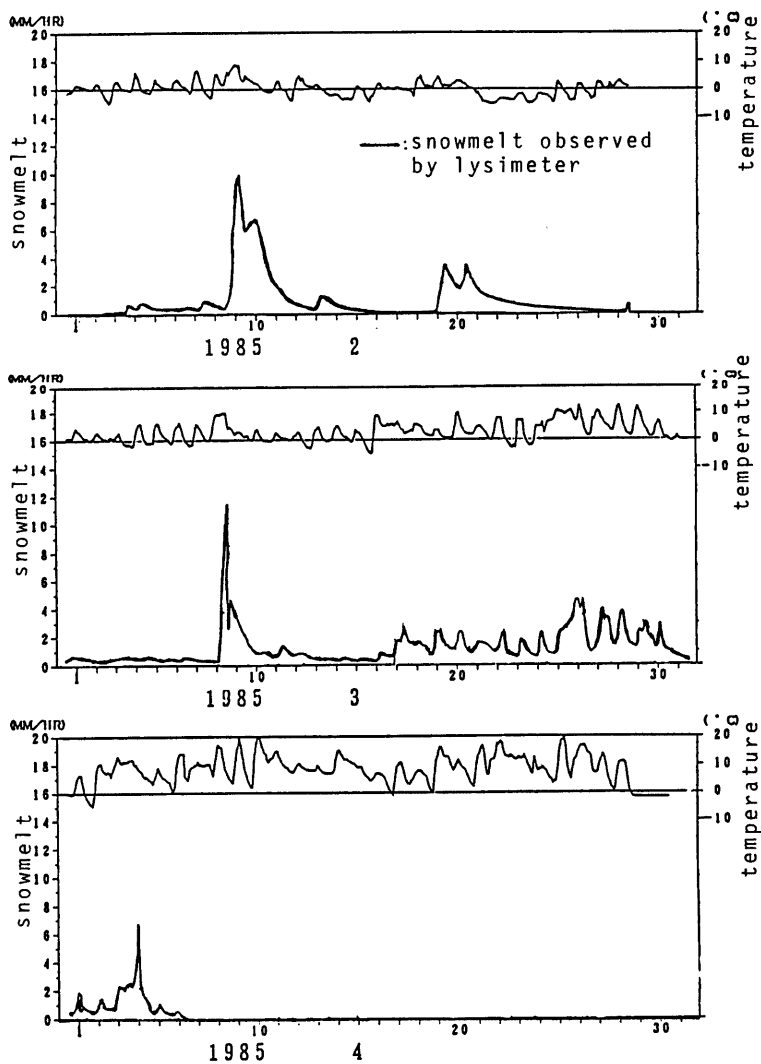


Fig. 12 Snowmelt water reaching the ground surface observed lysimeter set up at the Nakanokawachi base camp.

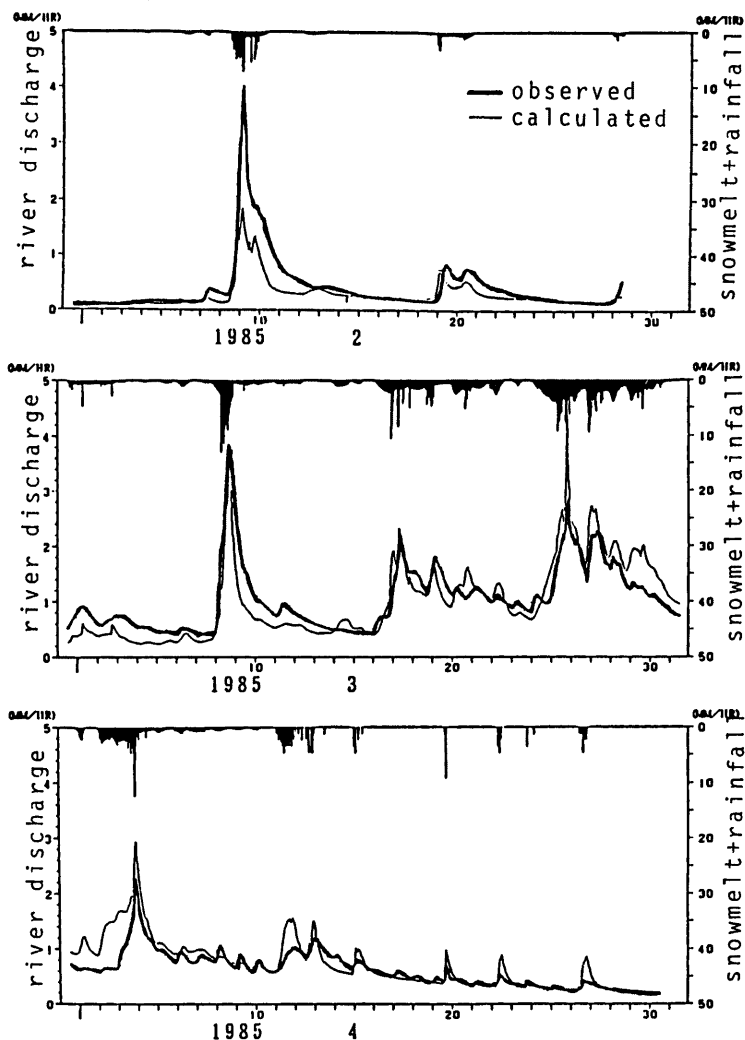


Fig. 13 Observed and calculated hourly streamflows in the Takatoki River basin, at 1985 (by the improved model).

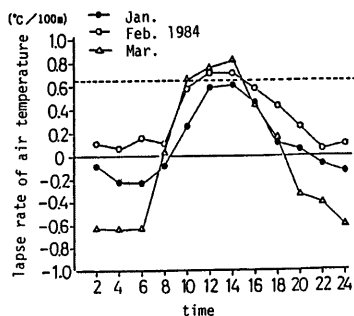


Fig. 14 Diurnal changes in the lapse rate of air temperature with elevation.

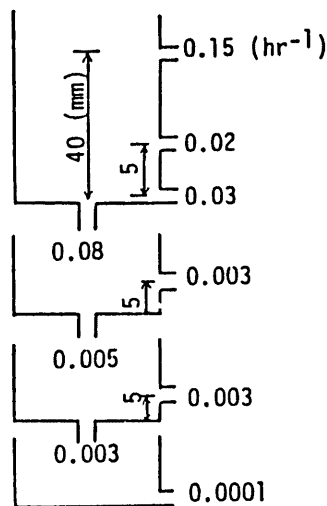


Fig. 15 Parameters of Tank model.

Table 2 Comparison between the snow melt values calculated by the previous and improved models.

date	basin	snowmelt by previous model (1)	snowmelt by improved model (2)	(1)/(2)	HRAD/HTI in improved model
Jan. 12, 1985	Ooura R.	0.34	1.68	0.20	0.21
	Takatoki R.	0.62	1.83	0.34	0.23
Jan. 20, 1985	Ooura R.	0.35	2.17	0.16	0.12
	Takatoki R.	0.30	1.45	0.21	0.21
Feb. 7, 1985	Ooura R.	3.46	3.95	0.88	0.16
	Takatoki R.	1.82	3.14	0.58	0.17
Mar. 28, 1985	Ooura R.	8.39	5.17	1.62	0.16
	Takatori R.	9.39	5.88	1.60	0.16

5. 琵琶湖全流域への適用

大浦川、高時川流域で検討してきた積雪・融雪・流出モデルをベースに、ここでは琵琶湖全流域への適用を試みる。すなわち、Fig. 16 に示すように流域を7ブロックに分割するとともに、各ブロックをさらに標高別に3地帯にわけて計21地帯について既往モデル、改良モデルで融雪量の地表面到達量を算定し、各ブロックの流出モデルを介して琵琶湖への流入量、最終的には琵琶湖水位の再現で評価するものである。なお、既往モデルと改良モデルの標高別の使い分けが各ブロックの地表面到達量の面的評価にとって望ましいが、現段階では各ブロックでの境界標高を検討していないので、ここでは全ブロックに既往モデル、改良モデルを適用した結果について考察する。

5.1 全流域モデルの構成

琵琶湖水位の再現がパーソナルコンピュータで実施できることが実管理上望ましいこと、また現象的にも

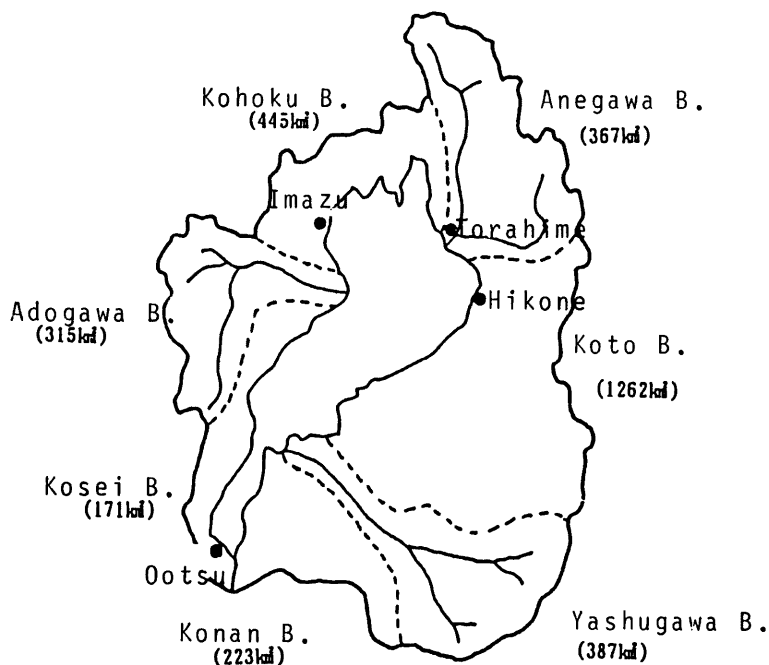


Fig. 16 Division into 7 blocks of Lake Biwa watershed.

琵琶湖全流域という空間スケールに応じた時間スケールで対処できるであろう、との判断から、ここでは計算の時間ステップをすべて日単位で実施している。

用いたデータは Fig. 16 にも併記してある彦根、虎姫、大津および今津の4代表観測所の降水量、気温、日照時間である。Table 3 に全流域を7ブロックに分割したときの各ブロックで用いる観測所と地帯別の面積、代表標高を示す。

(1) 各地帯の気象要素

まず、気温については、日平均気温として最高気温と最低気温の平均値をとり、各地帯での日平均気温は

Table 3 Average elevation and area size for belt zones in the divided 7 blocks.

No.	name of block	key station	average elevation (m)			area size (km ²)			
			1	2	3	1	2	3	total
1	Koto B.	Hikone	100	180	570	428	416	418	1262
2	Yasugawa B.	Ootsu	140	220	430	138	118	131	387
3	Konan B.	Ootsu	90	130	290	72	82	69	223
4	Kosei B.	Imazu	110	260	555	57	57	57	171
5	Adogawa B.	Imazu	240	500	705	104	107	104	315
6	Kohoku B.	Imazu	118	235	465	162	138	145	445
7	Anegawa B.	Torahime	120	450	730	121	123	123	367

次式で推定した。

$$T_h = T_0 - \beta \cdot \{(h - h_0)/100\} \dots\dots\dots (11)$$

ここに、 T_h ；標高 h (m) 地点の気温、 T_0 ；標高 h_0 (m) 地点（観測所）の気温、 β ；気温減率 (0.6°C/100 m)、である。

降水量についても同様に次式で各地帯の値を推定した。

$$P_h = P_0 \cdot \{1 + \alpha \cdot (h - h_0)\} \dots\dots\dots (12)$$

ここに、 P_h ；標高 h (m) 地点の降水量 (mm)、 P_0 ；標高 h_0 (m) 地点の降水量 (mm)、 α ；降水増加率 (0.0009 1/m) である。

日射量については、日照時間を代表観測所の値で代用し、次式を用いて日射量に変換した。

$$\left. \begin{array}{l} 12月: RAD = 3.107 + 0.959 \cdot SSD \\ 1月: RAD = 3.336 + 1.081 \cdot SSD \\ 2月: RAD = 3.747 + 1.360 \cdot SSD \\ 3月: RAD = 4.296 + 1.602 \cdot SSD \\ 4月: RAD = 5.062 + 1.740 \cdot SSD \end{array} \right\} \dots\dots\dots (13)$$

Table 4 Parameters of Tank model for each block area.

Block	First tank		Second tank		Third tank		Fourth tank	
Konan Block	AA	0.2000	BA	0.0600	CA	0.0400	DA	0.0010
	AB	0.1500	BZ	0.1000	CZ	0.0600		
	AC	0.1000						
	AZ	0.2000						
Yasugawa Block	AA	0.1751	BA	0.0600	CA	0.0021	DA	0.0010
	AB	0.1998	BZ	0.1041	CZ	0.0034		
	AC	0.0999						
	AZ	0.1786						
Koto Block	AA	0.2000	BA	0.0600	CA	0.0400	DA	0.0010
	AB	0.1500	BZ	0.1000	CZ	0.0600		
	AC	0.1000						
	AZ	0.2000						
Anegawa Block	AA	0.2000	BA	0.0400	CA	0.0300	DA	0.0010
	AB	0.1700	BZ	0.0700	CZ	0.0400		
	AC	0.0800						
	AZ	0.2000						
Kohoku Block	AA	0.2000	BA	0.0600	CA	0.0400	DA	0.0010
	AB	0.1500	BZ	0.1000	CZ	0.0600		
	AC	0.1000						
	AZ	0.2000						
Adogawa Block	AA	0.2000	BA	0.0400	CA	0.0400	DA	0.0010
	AB	0.1700	BZ	0.0800	CZ	0.0600		
	AC	0.0800						
	AZ	0.2300						
Kosei Block	AA	0.2000	BA	0.0600	CA	0.0400	DA	0.0010
	AB	0.1500	BZ	0.1000	CZ	0.0600		
	AC	0.1000						
	AZ	0.2000						

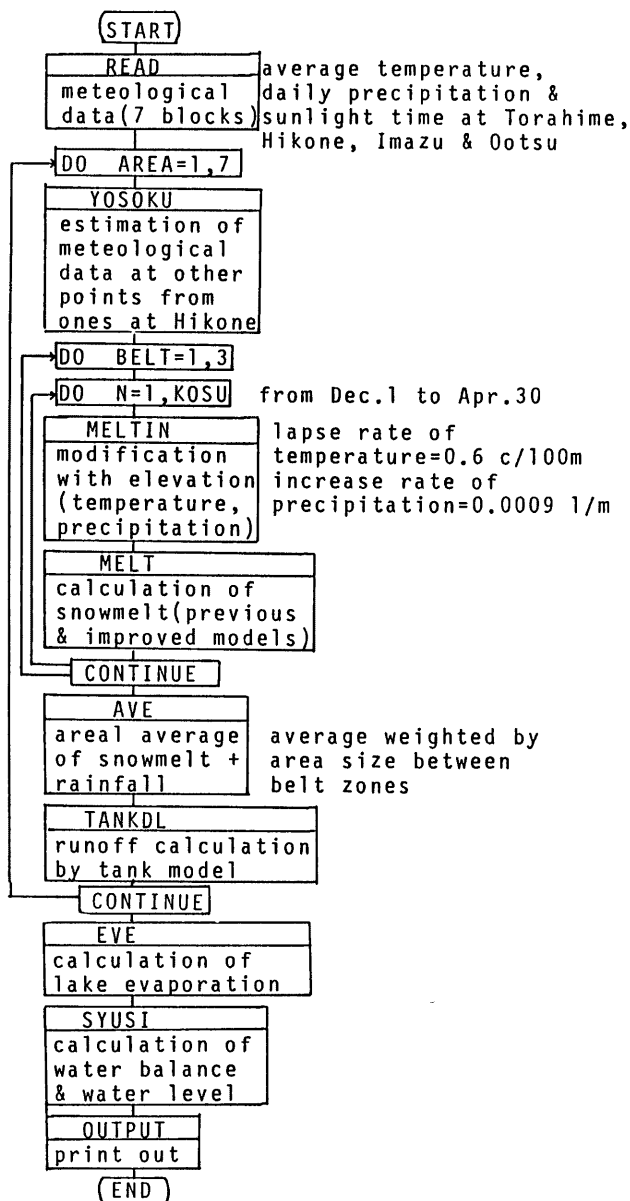


Fig. 17 Flow chart of calculation of water level at Lake Biwa.

ここに、 RAD ；日射量 (MJ/m^2)、 SSD ；日照時間 (hrs)、である。なお、これら気象要素を用いて雪面の融雪量算定をおこなうわけであるが、日単位で計算するので既往モデルでは $BDHF=19$ 、改良モデルでは $CT=5$ を与えている。

(2) 流出モデル

各ブロックの流出モデルとしては、琵琶湖総合水管理で別途検討されている **Table 4** に示すタンクモデルをそのまま用いた。

(3) 琵琶湖水位の計算

$$\left. \begin{aligned} QTOTAL &= Q1 + Q2 + Q3 + Q4 + Q5 + Q6 + Q7 + RBIWA \\ S &= QTOTAL - QARAI - QUJI - QKYOTO \\ DELTA &= S/A - E \\ H_i &= H_{i-1} + DELTA \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(14)$$

ここに、 $QTOTAL$ ；総流入量、 $Q1 \sim Q7$ ；各ブロックからの流入量、 $RBIWA$ ；湖面降水量（代表観測所の平均値）、 S ；琵琶湖の貯留量変化、 $QARAI$ ；洗堰放流量、 $QUJI$ ；宇治発取水、 $QKYOTO$ ；京都疏水取水、 $DELTA$ ；湖水位変化量、 A ；湖水面積 (680 km^2)、 E ；湖面蒸発量、 H_i ； i 日の湖水位（彦根18時）、である。

なお、湖面蒸発量については現在、彦根沖でバルク法による観測を継続中⁴⁾であるが、ここではとりえず古藤田による月毎の蒸発量の推定値⁵⁾に彦根の日射量の平年値と当日の日射量の平均値の比を乗じて算出した。すなわち、

$$\left. \begin{aligned} E_{12} &= 2.63 * RAD / 6.6 \\ E_1 &= 2.37 * RAD / 6.9 \\ E_2 &= 1.92 * RAD / 8.9 \\ E_3 &= 1.38 * RAD / 12.5 \\ E_4 &= 0.37 * RAD / 15.0 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots(15)$$

ここに、2.63、2.37、1.92、1.38、0.37；古藤田による12月～4月の湖面蒸発量 (mm/day)、 RAD ；彦根日射量 (MJ/m^2)、6.6、6.9、8.9、12.5、15.0；彦根の12月～4月の日射量の平均値 (MJ/m^2)、である。

以上の全流域モデルの計算プログラムをフロー図で示したものが **Fig. 17** である。

5.2 全流域モデルの適用結果

全流域モデルを昭和42年度から60年度の19年間にわたって毎年12月から4月までの積雪・融雪期に適用した。**Table 5** は適用結果を琵琶湖水位の再現（標準誤差）でみたものである。ここに、標準誤差 SD は i 日の実測の彦根水位 $H_{obs}(i)$ と計算水位 $H_{cal}(i)$ から次式で与えられるものである。

$$SD = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (H_{obs}(i) - H_{cal}(i))^2} \dots\dots\dots(16)$$

19年間の平均では改良モデルの方が標準誤差は 8.3 cm と 2.0 cm 小さくなっている。改良モデルの標準誤差が既往モデルより大きくなっているのは昭和43、47、48、53、60年と中、少雪年に多く、4. のモデルの改良のところで述べた知見とも一致している。

また、両モデルとも4月は相対的に過大傾向を示すことが多い。この原因としては、1) 4月の降水はほとんど降雨形態であるのに、降雨に対しても標高にともなう降水増加率を $0.00091/\text{m}$ としたこと、2) 雪線の後退にともない雪のない地域では蒸発損失があるのにそれを考慮していないこと、が考えられる。そこで、これらの問題に対処するため、以下のように考えた。1) については、各地帯の気温が 2.1°C （降雪、降雨の判断気温）を越えるときは、降雨と判断し、降水増加率は0とする。2) については、各ブロック各地帯の積雪水量が0になると、そのブロックのその地帯には雪のない状態が出現したと考え、降水日には降水量を、無降水日にはつぎの蒸発損失を与え、雪のある地帯の地表面到達水量と面積荷重平均して流出モデルへのインプットとする。ここに、地域蒸発量としては彦根の30年間にわたる計器蒸発量の平年値にパン係

Table 5 Summary for the comparison between the observed and calculated water levels at Lake Biwa, by the previous and the improved models.

Year	previous model	improved model	improved model with retire of snow line
1967	14.3	5.3	5.2
1968	6.9	9.7	12.1
1969	4.4	2.9	4.3
1970	9.8	7.7	4.2
1971	14.0	10.8	2.8
1972	10.3	10.6	3.5
1973	6.6	10.5	10.8
1974	9.7	7.5	7.7
1975	10.5	7.6	8.3
1976	14.5	10.6	4.9
1977	13.5	12.9	6.1
1978	6.1	6.3	3.3
1979	22.9	10.4	6.0
1980	8.8	4.8	5.3
1981	8.4	7.5	9.9
1982	12.8	7.6	3.8
1983	4.1	3.6	6.2
1984	10.6	10.3	11.3
1985	7.5	11.0	13.9
average	10.3	8.3	6.8

数を乗じた値 (12, 1, 2, 3, 4月についてそれぞれ, 0.8, 0.7, 0.8, 1.4, 2.0 mm/day) を月平均日蒸発量の推定値と考え、(15)式と同様、それに彦根の日射量の平年値と当日の日射量の平均値の比を乗じる形で与えた。

適用結果が前掲の **Table 5** の最後欄に示されている。第2欄の改良モデルより標準誤差が大きくなっている年度もあるが、平均でみると標準誤差は 6.8 cm となっており、モデルの構成程度からみて現段階では

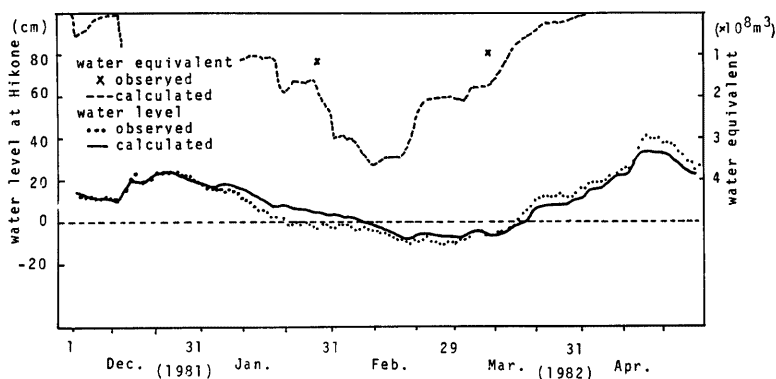


Fig. 18 Observed and calculated water levels at Lake Biwa, in 1982.

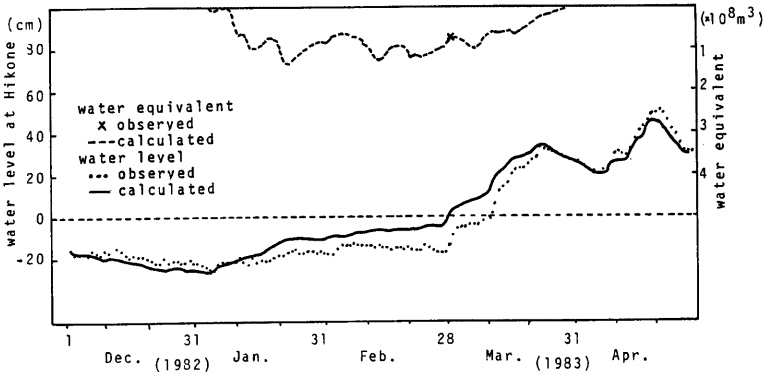


Fig. 19 Observed and calculated water levels at Lake Biwa, in 1983.

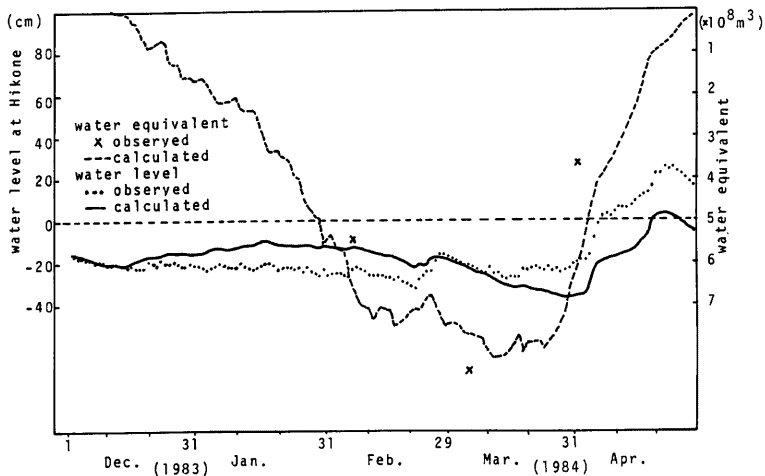


Fig. 20 Observed and calculated water levels at Lake Biwa, in 1984.

ほぼ満足できるものと考えている。

最後に、Table 4 の最後欄に示したモデルの適用結果を琵琶湖水位の時系列変化の再現のみで、最近4年間について積雪量の計算値、観測値とともに図示したのが、Fig. 18, 19, 20, 21 である。水位回復の時期およびその推移状況の再現からみて琵琶湖水管理に有用な情報を提供するものとする。

こうした全流域モデルの他に、琵琶湖流域を国土地理院3次メッシュ（約1km×1km）をベースに2948メッシュに分割し、入力となる気象要素をメッシュデータ化する方法も考え、融雪量算定をきめ細かく実施した。その適用結果では標準誤差の平均でみてもわずかの向上がみられたが、演算に多大の時間を要する割にその改善が小さかったので、ここでは詳細を省略した。ただ、こうしたメッシュモデルの適用結果では積雪調査時の積雪量分布や積雪深分布に計算結果が概ね適合しているの、目的によってはその再現度からみて十分利用可能と思われる。

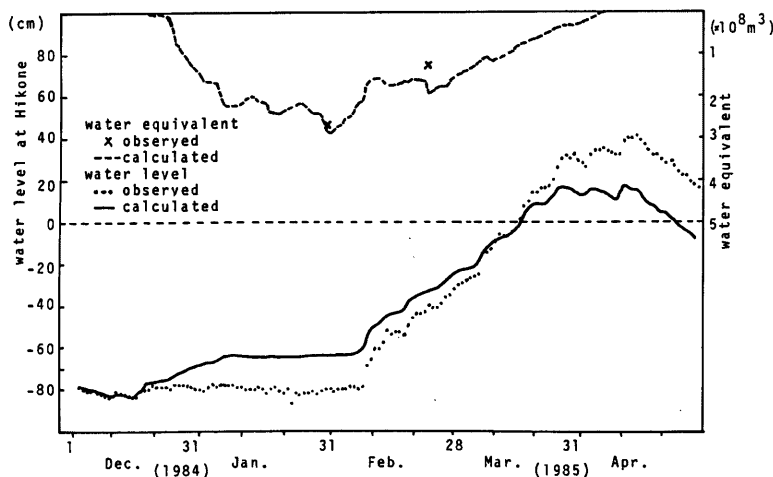


Fig. 21 Observed and calculated water levels at Lake Biwa, in 1985.

6. お わ り に

昭和57年12月にはじまった琵琶湖流域の積雪・融雪・流出調査は、北部大浦川流域で3年、高時川流域で1年の詳細な気象・水文観測をへて、ここに琵琶湖全流域モデルとしてその全貌を現出してきた。琵琶湖流域という広大な場でのこれら現象が3年程度の観測および解析で明らかになるわけではないが、琵琶湖水管理にとって重要な琵琶湖水位の把握・予測という工学的要請には可能な限り現象の物理性を取りこんでいること、演算がパーソナルコンピュータで実施できること、水位の再現精度などを勘案すると、十分とはいえないまでもほぼ満足いくものと確信している。今後は、本年度高時川中河内で実施している雪面表層部と、最下層地表面部に設けた融雪測定のためのラインメータから得られるデータを用いて、雪層内での流出プロセスをさらに考察するとともに、既往モデルと改良モデルの使い分け基準や、本モデルを介しての水位予測をはかるうえで不可欠な気象要素、とりわけ降水量と気温、日照時間の予測方法および予測精度の導入を検討していきたい。

参 考 文 献

- 1) 池淵周一・竹林征三・友村光秀：積雪・融雪・流出モデルとその59年豪雪への適用，京都大学防災研究所年報第28号B-2，1985，pp. 195-211.
- 2) 池淵周一・宮井 宏・友村光秀：琵琶湖北部域の積雪・融雪・流出調査とその解析，京都大学防災研究所年報第27号B-2，1984，pp. 197-220.
- 3) Corps of Engineers, U. S. Army, North Pacific Division, Portland, Oregon: Snow Hydrology, Summary Report of Snow Investigations, 1956.
- 4) 池淵周一・竹林征三・大藤明克：琵琶湖湖面蒸発量の観測と評価，土木学会第30回水理講演会論文集，1986，p. 1-6.
- 5) 古藤田一雄：気象学的資料を用いた湖面蒸発量の推定法，筑波大学水理実験センター報告，No. 1，1977，pp. 53-65.