

白川ダム集水域の融雪出水の評価

EVALUATION OF SNOWMELT RUNOFF IN THE SHIRAKAWA DAM BASIN

小川かおり¹・真野明²・前川勝朗³

Kaori OGAWA, Akira MANO and Katsuro MAEKAWA

¹学生会員 東北大学大学院工学研究科 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉06)

²正会員 工博 東北大学大学院工学研究科 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉06)

³正会員 農博 山形大学農学部 (〒997-0037 鶴岡市若葉町1-23)

The Shirakawa dam basin, the upper reach of the Mogami River, is one of the heaviest snowfall areas in Japan. The snowpack is very important water resource, but it sometimes brings about snowmelt flood. In this study, therefore, a method using satellite data and ground data on snow depth is developed to evaluate the snowmelt runoff. Snow covered area is obtained by comparing NOAA/AVHRR data with the ground data that also gives snowmelt rate. Addition of snowmelt discharge calculated from the area, melt rate, and the density and the rainfall discharge is compared with the observed discharge flowing into the dam.

Key Words : snowmelt, NOAA/AVHRR data, Shirakawa dam basin

1. はじめに

我が国には日本海側を中心として、冬期に積雪に覆われる地域が存在し、その積雪がもたらす春期の融雪水は重要な水資源となっている。一方で、融雪出水は洪水となり大被害を発生させる可能性がある。従って融雪出水の制御は、利水・治水両面から必要なことである。そのため、融雪流出機構の解明が重要な課題となる。しかし、解析対象となる広範囲に及ぶ積雪域を現地観測することは非常に困難であり、これまでそれに変わる数々の手段が取られてきた。

本研究では山形県の最上川上流に位置する白川ダム集水域を対象流域とし、使用するデータ数を最小限に、かつ簡便な方法で融雪流量、融雪期の白川ダム流入量を算定する方法を提案する。用いるデータは、NOAA/AVHRRデータ、及び気象データである。白川ダム流入量について、計算値と実測値とを比較することによって、本研究で提案する方法の妥当性の検討を行う。

2. 解析対象

最上川は、図1にあるように朝日山地、飯豊山地、奥羽山脈等に囲まれ、流域面積7040km²、流路延長229kmを

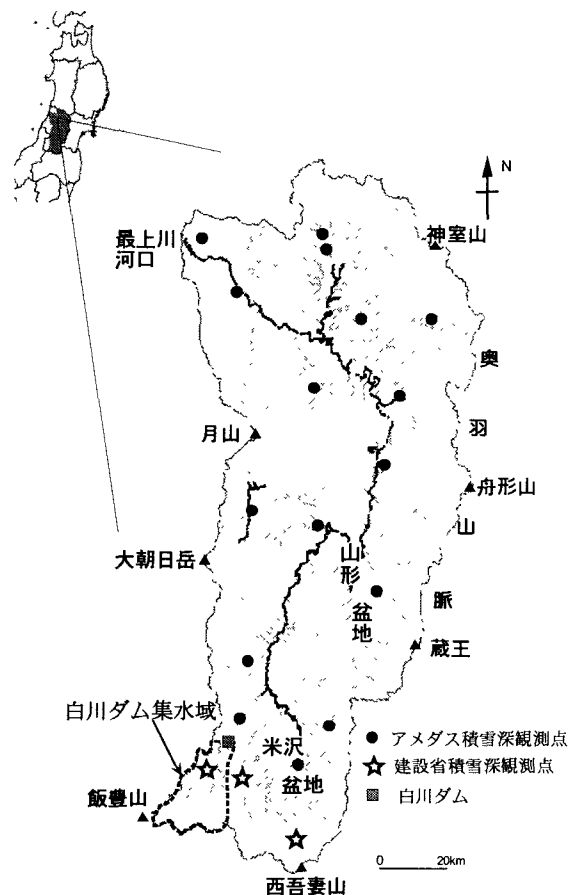


図1 最上川流域概要

有する一級河川である。境界の山地は標高1000～2000mが大部分であり、冬期には多量の降雪がもたらされる。積雪は3月中旬より融けだし、約2ヶ月に及ぶ融雪出水をもたらす。融雪期の流出量は年間流出量の約40%をも占めている。

対象としたのは図1の点線で囲ってある、上流部の支川、白川にある白川ダム集水域であり、集水面積は235km²である。この地域が日本有数の豪雪地帯であるということ、及び白川ダム流入量のデータがそろっていることから今回の対象流域とした。最終的には最上川流域全体を対象とする予定である。

解析対象期間は1996、1997年の3月から5月の融雪期とした。

3. 解析方法

(1) 解析方法概要

本研究では、国土地理院によって作成された国土数値情報を用いて格子サイズ1km×1kmの擬河道網を作成した。擬河道網は流出解析で用いるものとして作成したが、今回は流出解析を行っていないので、集水域内の位置、標高を知る手段として用いた。次に、アメダス・建設省で現地観測されている気象データを用いて白川ダム集水域の残雪面積を求め、衛星データと擬河道網の重ね合わせから求めた残雪面積との比較を行う。最後に残雪面積、積雪深、積雪水換算係数から算出した融雪流量と降水量、そして白川ダムにおいて観測された流入量とを比較する。降水量は、流域降水流量として流量換算した。

(2) 擬河道網の作成

作成は市毛ら¹⁾の方法に倣って行った。使用したデータは、国土数値情報の流域界位置データ、標高データ、流路位置データである。まず流域界データより最上川の流域を決定する。次に標高データおよび流路位置データを用いて流域内の各格子交点において最急勾配の方向に水が流れるとしてすべての流路が河口までつながるようにした。完成した擬河道網を図2に示す。

(3) 衛星データの利用

本研究では衛星データとしてJAIDAS（日本画像データベース）のデータを用いた。JAIDASとはNOAA衛星のAVHRRデータを用いて作成した画像データベースで、東北大学の大型計算機センターが公開しているものである。AVHRRセンサには1～5チャンネルがあるが、JAIDASで公開されているのはアルベドを表示しているch. 2と、輝度温度値を表示しているch. 4のみである。

1996、1997年の可視画像から、最上川流域全体に雲のかかっていない、比較的快晴に近い日のものを選ぶ。積雪域は無雪域に比べてアルベドが大きいので、全く雲が

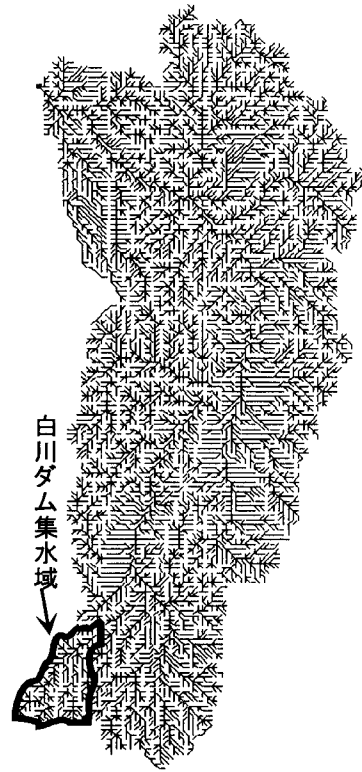


図 2 最上川流域の擬河道網

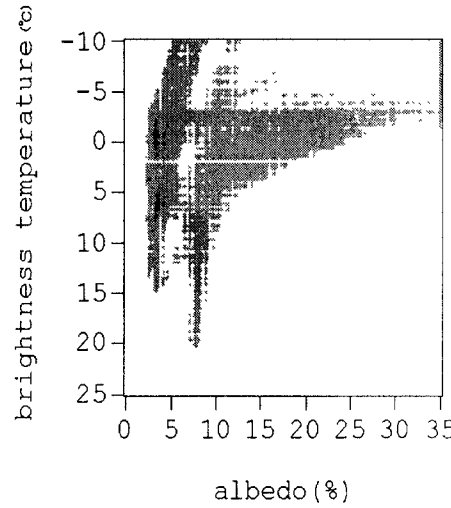


図 3 アルベドと輝度温度値の散布図

無い場合ch. 2で雪域は簡単に見分けられる。しかし流域全体が快晴である状態の画像は希であり、雲の存在を考慮しなければならない。高層の雲であるなら、その温度が極端に低いために赤外(ch. 4)画像で分離することができるのだが、低層の雲を可視と赤外の情報のみで分離することは難しい。風間ら²⁾はch. 3の波長帯が水粒の雲に強い反射を示す性質を用いて低層の雲の分離を行った。しかし、現在ch. 3のデータは解析用として一般公開されていないため、入手が困難であるだけでなく、処理作業が複雑となる。また、雲域、積雪域、無雪域の判別にはNOAA/AVHRRデータをGTD (Ground Truth Data) と比較する

作業が重要となる。従って本研究では、NOAA/AVHRRデータのうちJAIDASで公開されているch. 2とch. 4のみを利用し、GTDと比較することにより残雪域の推定を行った。

方法は以下の通りである。選んだ画像全てについて図2に示すようにアルベドと輝度温度値を両軸にとった散布図を作成する。この散布図から、アルベドが極端に低く頻度が高い部分が海域、アルベドが低く温度が高い部分が無雪状態の陸地、アルベドが高く温度が極端に低いものが雲、と考えられ、雪域決定の閾値となるアルベドと輝度温度値の目安が決定される。次に積雪深観測点でのアルベド及び輝度温度値を調べ、閾値をもとに擬河道網上に描いた雪域において無雪域（雪域）であるのに雪域（無雪域）となっている部分がないかどうかを確かめ、さらに衛星画像と見比べることによって閾値の補正を行う。最終的に決定された閾値をもとに再び擬河道網上に雪を描き、白川ダム集水域の残雪面積を調べる。

(4) 融雪流量の算出

融雪流量の算出には、以下の式を用いた。

$$Q_s = -\frac{d(Amh)}{dt} = -\left(hm\frac{dA}{dt} + Am\frac{dh}{dt} + Ah\frac{dm}{dt}\right) \quad (1)$$

Q_s : 白川ダムに流入する融雪流量 (m^3/s)

A : 残雪面積 (m^2)

h : 積雪深 (m)

m : 積雪水換算係数

各パラメータの考え方を以下に示す。

a) 積雪深

白川ダム集水域内で得られた積雪深データは1点（下屋地観測所）において観測されたものに限られる。集水域内の積雪深分布を求めるためには、最上川全体で得られた積雪深データ（17観測点）を用いる。図4に1996年における最上川流域全体についての積雪深と標高の関係を示す。各標高（各格子交点）の積雪深は線形回帰直線から求めることとした。回帰直線の傾きはいずれの日も0.40~0.43となっており、このことは積雪深の減少速度が標高に依存しないことを表している。

積雪深の変化率は、図5を見てわかるように気温と良い相関がある。よって積雪深の変化率は、気温の関数で表した。

b) 残雪面積

残雪面積を推定する際に利用できる衛星画像、すなわち最上川流域全体がほぼ快晴となっている画像は1ヶ月に1、2枚の場合が多く、残雪面積の日変化を推定することが難しい。変化のパターンとしては、流域内の全体が雪で覆われていて変化しない時期と、無雪域が広がり始めて減少する時期に分けられることが考えられる。そこで、上述の方法で求めた積雪深分布を利用する。図6に衛星データと積雪深分布、それぞれの方法で求めた残雪

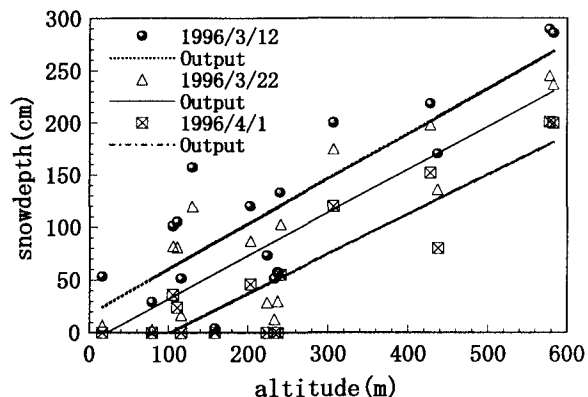


図4 積雪深と標高の関係（1996年）

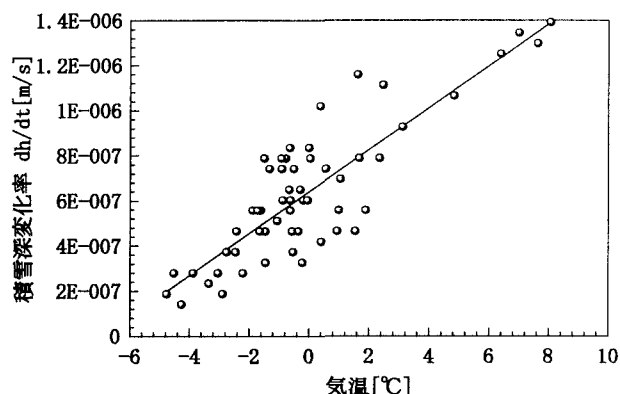


図5 最上川流域全体における積雪深観測点での気温と積雪深変化率の関係（1996年）

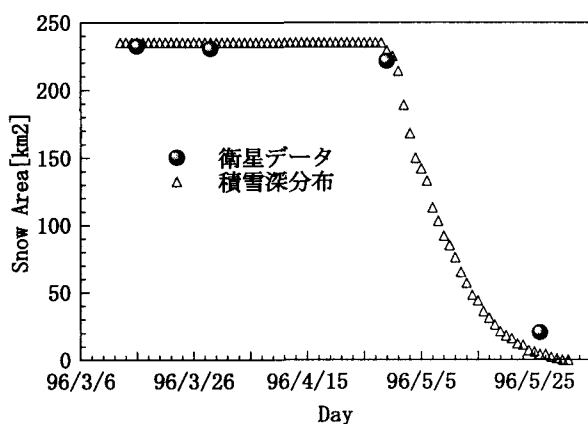


図6 残雪面積の変化（1996年）

面積の比較を示す。このような比較を行うことにより、両方法での残雪面積推定が妥当なものであるといえる。

c) 平均積雪水換算係数

積雪水換算係数は積雪密度と同じ値であり、風間³⁾によれば、最大積雪深が50cm以上である地域の場合、積雪密度は融雪初期には0.2から0.3g/cm³、融雪後期には0.4g/cm³以上になることがわかっている。本研究では解析対象期間としている1996、1997年の3月1日から5月31日の期間に0.2から0.6g/cm³に線形変化するとし、白川ダム集水域内では一定と仮定した。

(5) 降水量データの作成

白川ダム集水域内の降水量を作成するには、各格子交点における降水量データが必要である。本研究では、最上川流域内および流域周辺の、75のアメダス観測所によって観測された日合計降水量データを用いて各格子交点の日合計降水量を求め、白川ダム集水域内について調べた。補間の方法は風間⁴⁾にならい、重み付き距離平均法を用いた。求めるべき格子交点*i*における日合計降水量は以下の式で表される。

$$P_i = \frac{\sum_{k=1}^n a_{ik} z_k}{\sum_{k=1}^n a_{ik}} \tag{2}$$

$$a_{ik} = \left(\frac{1}{d_{ik}} \right)^m \tag{3}$$

- p_i : 格子交点*i*における日降水量 (mm/day)
- n : 対象観測数
- a_{ik} : 算定する点*i*と観測所*k*との距離による重み係数
- z_k : 観測所*k*で観測された日合計降水量
- d_{ik} : 算定する点*i*から観測所*k*までの距離
- m : 距離の重みを決定する指数

問題となるのは対象観測点数 n と重み係数を決定する m の値である。福岡⁵⁾は降雨量観測所が密に配置され雨量データがそろっている場合には、等雨量線法による面積雨量が最も精度が高いとし、重み付き平均法では $m=2$ のときに等雨量線法の結果に近づくことを報告している。また、風間⁴⁾は局所性、連続性が失われぬ最適値として、 $m=4$ を採用している。よって本研究では、 $(m, n)=(2, 4)$ として補間を行った。以上の方法で求めた降水量は流量換算し、流域降水流量とする。

(6) 白川ダム流入量との比較

白川ダムへの流入は融雪水と降水であると考え、融雪流量と流域降水量の和、ダム流入流量とを比較する。流域降水流量とは、降水量を流量換算したものである。こ

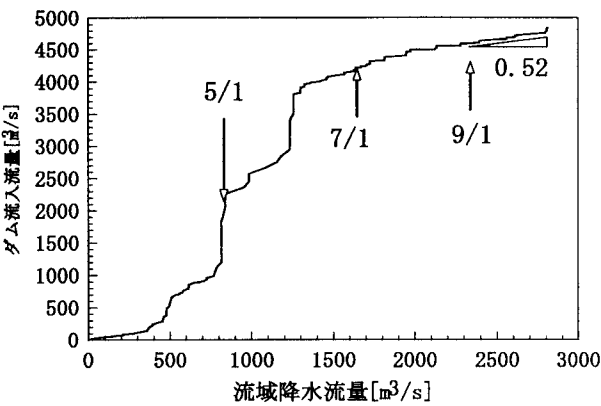


図 7 白川ダム集水域における降水と流出 (1996 年)

表 1 アルベドの閾値

		アルベドの閾値(%)
1996年	3/16	9.3
	3/29	12.3
	4/29	12.6
	5/26	17.2
1997年	3/13	10.7
	3/28	9.3
	4/17	13.1
	5/5	9.2

の際、流域降水流量には融雪水に影響を受けない流出率を乗ずる。図7に1996年の3月1日を起点としたダム流入流量、流域降水流量の累積の関係を示す。9月以降は雪の影響がないと考えられ、その期間の曲線の傾きを流出係数とし、図から求めると0.52となる。

4. 解析結果

(1) 衛星データを用いた残雪面積の推定

前章の方法により最終的に決定したアルベドの閾値を表1に示す。1996年は上昇する一方だが、1997年にそのような傾向はない。AVHRR センサの可視チャンネル (ch. 2) の画素値であるアルベドは、実際の反射率ではなく地面からの可視反射量であるため、太陽高度によって閾値は変わる。雪域が無雪域に対して大きいときは、太陽高度によって閾値も上昇する。しかし無雪域が大きい割合を占めるとアルベドの低い無雪域の影響が大きく、閾値は低くなる。また、流域全体に薄い雲がかかっている場合に閾値は高くなる。以上のように閾値は様々な条件によって変化する値であり、一定の傾向を示すもので

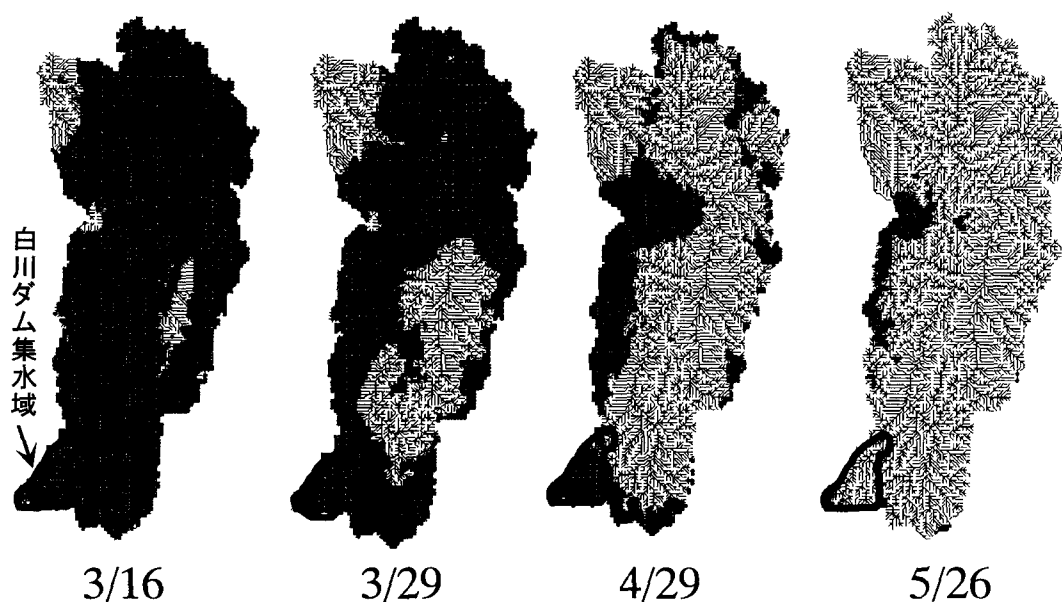


図 8 最上川流域における残雪面積の変化（1996 年）

はないと考えられる。

図8に1996年における最上川流域の残雪域の変化を示す。色の濃い部分が残雪域である。3月中旬には流域全体が雪で覆われているが、3月下旬には山形盆地、米沢盆地を中心に、無雪域が広がっていく様子が見られる。また、4月下旬の奥羽山脈では、残雪域が標高の高い領域にしか存在せず、月山、大朝日岳周辺では初夏に至っても残雪域が存在することがわかった。

(2) 融雪流量の評価

図9に融雪流量と流域降水流量の和、ダム流入量との比較の結果を示す。前述したように、流域降水流量には流出率0.52を乗じている。1996、1997年とも、流出の時期を良く表すことができた。しかし、1996年の5月中旬以降、1997年の4月中旬～下旬は過小評価となった。これは、融雪後期の積雪密度の過小評価が1つの原因であると考えられる。また、1996年は多雪年、1997年は暖冬で少雪年であった。よって、1997年は1996年よりも、融雪の始まり・終わりがいずれも早い時期となっている。積雪の密度は融雪の進行の度合によって変化すると考えられ、積雪密度の時間変化は1996、1997年各々について考える必要がある。もう1つの原因としては、基底流量なるものを考慮していないことが考えられる。更なる定量的解析を行うには、積雪層、地中での貯留を考慮することが必要である。また、融雪流量の算出に最も影響があるのは積雪深の変化率である。本研究では積雪深変化を気温のみの関数として与えたが、気温以外の要因について検討する必要がある。

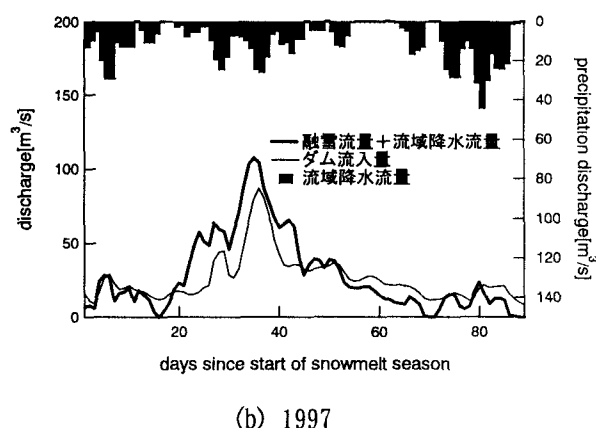
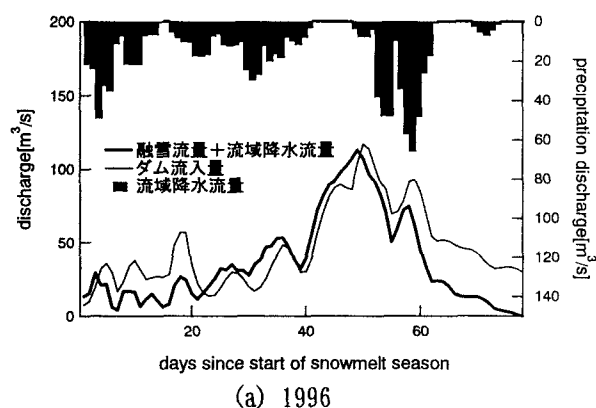


図 9 融雪流量と流域降水流量の和、ダム流入量との関係

5. おわりに

本研究では、NOAA/AVHRRデータと擬河道網を重ね合わせるにより白川ダム集水域における残雪面積の推定を行った。試行錯誤の作業が多いが、現地調査の手間がかからないという利点がある。時間変化を追うには、現地観測された積雪深データと組み合わせる必要がある。

また、残雪面積、積雪深、積雪水換算係数を用いて融雪流量を求め、更に流域降水流量を用いて白川ダム流入量を計算した。出水の時期、及びピーク流量は比較的良く表せたと言える。更なる定量的解析を行うには、出水に影響を与える要因の再検討、また、比較的簡単にできる現地調査を行うことを、今後の課題としている。

謝辞：建設省東北地方建設局山形工事事務所には貴重なデータを提供して頂いた。また、河川整備基金より研究

費の助成を受けた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 市毛輝和，八代義信，真野明：阿武隈川における1996年17号台風の出水解析，第5回地球環境シンポジウム講演集，pp.203-208, 1997.
- 2) 風間聡，川村宏，枝松芳枝，沢本正樹：AVHRR/NOAAデータによる積雪域抽出パラメータの経時変化，日本リモートセンシング学会誌，Vol.12, No.4, pp.59-69, 1992.
- 3) 風間聡：広域における積雪全層密度推定に関する研究，水工学論文集第41巻，pp. 245-250, 1997.
- 4) 風間聡，多田毅，沢本正樹：衛星データを用いた東北地方の年水収支解析，水工学論文集第40巻，pp. 81-86, 1996.
- 5) 福岡捷二，谷岡康，高本正彦：都市中小河川流域における雨量観測所の密度が面積雨量精度に与える影響，水工学論文集第37巻，pp. 27-32, 1993.

(1998. 9. 30受付)