

分布型融雪流出モデルを用いた長期分布型融雪流出解析による降水量補正の検討

水文気象研究室 澤田章太

指導教員 陸旻皎

1. 背景と目的

積雪は春以降の融雪期に徐々に融け出して、河川や貯水池へ豊富な水量をゆっくりと供給するというきわめて良質で貴重な水資源である。しかし、その一方で積雪は融雪洪水や地すべり等の災害を引き起こす要因ともなるため、積雪を把握することは有効的な水利用や防災のために大変重要である。

一般的に流出計算に使用する降雨流出モデルは、入力値として雨量計で観測された降水量を使用するが、雨量計には風や地形等の影響による捕捉損失が生じる。本研究の対象流域でもある三国川ダム流域は、日本でも有数の豪雪地帯であり、気象観測を行うのは大変困難であるため水収支を正確には把握できていない。

本研究では、分布型融雪流出モデルを用いて降水量を降雨と降雪に分けて補正をし、長期の融雪流出解析を行う。解析結果より降水量補正の必要性を検討し、対象流域の正確な水収支を把握することを目的とする。

2. 対象流域

対象流域は群馬県北西部と新潟県の県境に位置する三国川流域である。三国川の流域面積は 153.4 km^2 で、解析の対象となる三国川流域ダム上流部の流域面積は 76.21 km^2 である。図1に対象流域を示す。

3. 使用データ

データの期間は1996年11月1日～2007年10月31日までの11年間で、11月1日～翌年の10月31日を1水文年とする。モデルに入力するデータは、降水量、気温、全天日射量である。全天日射量は島崎(1996)の方法を用いて日照時間より推定する。降水量データは国土交通省が管轄する



図1 三国川流域

流域内の三国川ダム管理所と内膳落合雨量観測所のデータを用いる。気温と日照時間データは対象流域に最も近い湯沢 (AMeDAS) のデータを用いる。また、五十沢・六日町・塩沢雨量観測所の降水量データは近隣雨量との相関による補正の際に用いる。

地理情報としては国土地理院の数値地図 50mメッシュ (標高) を使用している。

4. 分布型融雪流出モデル

本研究で用いる分布型融雪流出モデルは、陸ら(1989)により開発された分布型水文モデルと小池ら(1985)による融雪流出モデルを組み合わせたものである。計算の過程は各メッシュにおいて気温 (T) が 2°C 以上であれば降雨、未満であれば降雪と判断し、積雪過程・融雪過程・流出過程を経て、各メッシュからの流出量は擬河道網を介し、*Kinematic Wave* 法により追跡計算し、流域出口の流出量を出力する。図2に分布型融雪流出モデルのフローチャートを示す。

5. 降水量データの品質チェック

本研究において、モデル計算で使用している降水量データは仮値であるため、観測機器の故障、通信異常、雪の影響などによる欠測や異常値を含

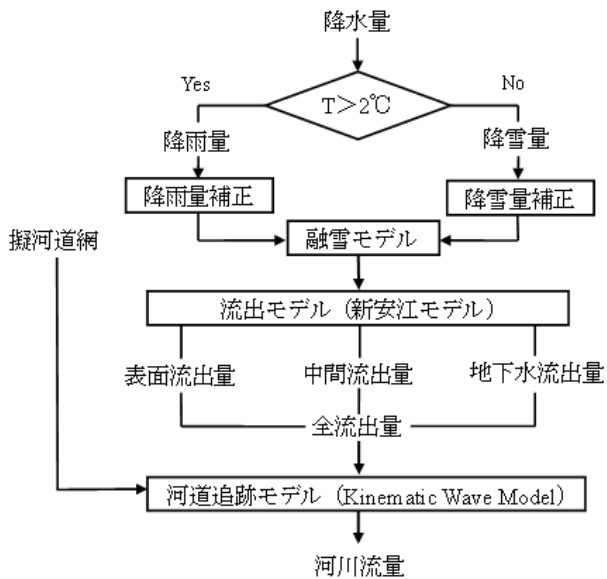


図2 分布型融雪流出モデルのフローチャート

んでいる可能性がある。そこで、国土交通省の地方整備局で行われている高度照査の項目にある近隣雨量の相関（日降水量）の手法を参考に、本研究でモデル計算の対象流域内にある三国川ダム管理所と内膳落合雨量観測所の降水量データの照査を行い、異常値と考えられるデータについて補完し、補完前後のデータを比較することでデータの有効性を検証する。対象観測点は三国川ダム管理所と内膳落合雨量観測所であり、図3に各雨量観測所の降水量データの流域に占める割合を示す。近隣雨量の相関（日降水量）の条件を以下に示す。

- ①対象観測点から15km以内にある観測所を近隣観測所とする。三国川ダム管理所は内膳落合・五十沢・六日町・塩沢雨量観測所、内膳落合雨量観測所は三国川ダム管理所・五十沢雨量観測所を近隣観測所として選択し、その近隣観測所の降水量データを異常値の補完の際に使用する。
- ②対象観測点と各近隣観測所との間で、月毎に日降水量データの相関係数を算出し、相関係数が0.8未満の月を検出し、補完を検討する。
- ③補完対象である対象観測点の降水量データを

表1 各観測所の距離関係

	三国川ダム	内膳落合	五十沢	六日町	塩沢
三国川ダム		5.44km	1.26km	10.80km	14.72km
内膳落合	5.44km		6.34km	16.14km	19.82km

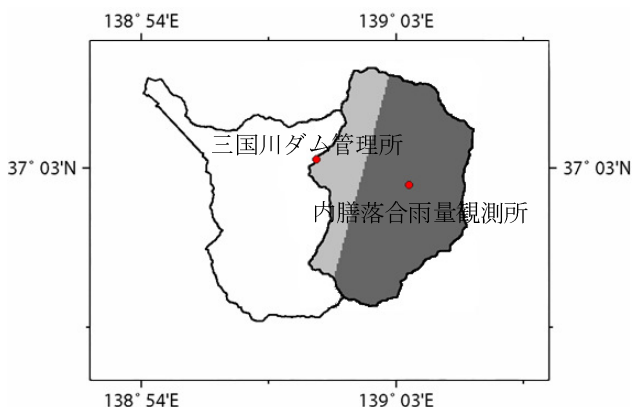


図3 降水量配分図

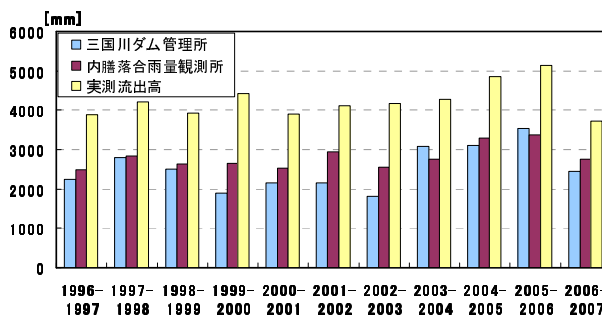


図4 水文年毎の年間降水量と実測流出高

近隣観測所の降水量データを用いて距離に応じて重み付けして補完する。(式(1))

$$P = \sum_{i=1}^n \frac{1}{k_i^2} \times P_{(i)} / \sum_{i=1}^n \frac{1}{k_i^2} \quad (1)$$

P : 補正降水量 $P_{(i)}$: 観測所(i)の降水量

$K_{(i)}$: 対象観測地点から観測所(i)までの距離(km)
各観測所の距離関係を表1に示す。

6. ダム上流域の水収支

対象流域の水文年毎の降水量と実測流出高を図4に示す。図4より三国川ダム流域の年間降水量と年間実測流出高を比較すると、年間実測流出高は1000~2500[mm]ほど、年間降水量より多く観測されていることが分かる。

図4を期間別にまとめたものが図5、図6、図7である。図5、図6、図7はそれぞれ、通年の降

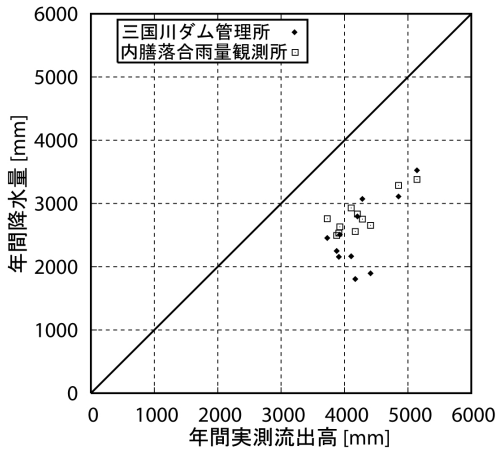


図5 通年の降水量と実測流出高の関係

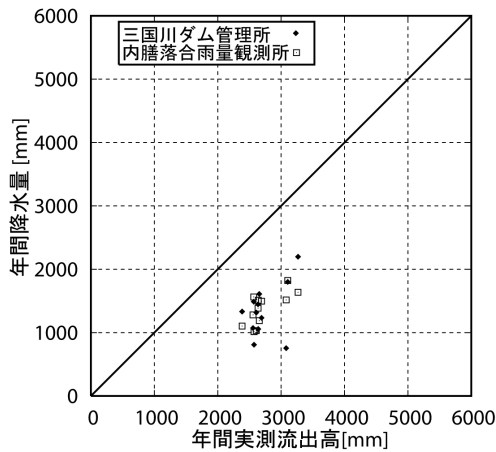


図6 12-6月の降水量と実測流出高の関係

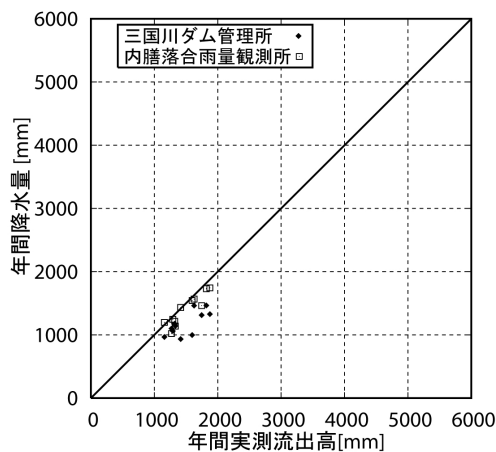


図7 7-11月の降水量と実測流出高の関係

水量と実測流出高の関係、12-6月（降雪や融雪出水等による雪の影響がある季節）の降水量と実測流出高の関係、7-11月（雪の影響が無い季節）の降水量と実測流出高の関係を示している。図5より、三国川ダム流域の年間降水量と年間実測流出高を比較すると、年間実測流出高の方が20～55%程多く観測されている。図6においても年間実測流出高の方が25～75%程多く観測されており図3と同様の傾向が見られる。図7は全体的には水収支がとれているが、図5や図6同様の傾向が見られる。以上のことより、雪の影響がある季節はもとより、雪の影響が無い季節でさえ水収支が取れていないことから、モデルへの入力値である降水量を計算に使用する際には補正する必要があると考えられる。

7. 降水量補正

雨量計による降水量の測定は、風などの影響による捕捉損失が生じる。横山ら(2003)によれば雪の捕捉損失は降水量の10～50%、雨の捕捉損失は2～10%であるため、降水量を補正する必要がある。

本研究では、降水量を降雪と降雨に分けて補正を行う。降雪量の補正には式(2)を用いる。式

(2)は観測点における気温 T_{gauge} が 2°C を下回った場合に、降雪量補正係数 A_S によって雨量計 $P(h_{\text{gauge}})$ の補正を行い、標高 h における降水量 $P(h)$ を観測点における補正降水量 $_{\text{new}} P(h_{\text{gauge}})$ と降雪量標高補正係数 B によって降水量の補正を行う。降雨量の補正には式(3)を用いる。式(3)は観測点における気温が 2°C 以上の場合に、降雨量補正係数 A_R によって雨量計 $P(h_{\text{gauge}})$ の補正を行う。本来、降雨についても標高補正を行った方がいいのだが、雨量計の補正が全体に与える影響がかなり大きいと考えられるため、標高の補正は行っていない。

$$\begin{cases} \text{new } P(h_{\text{gauge}}) = A_S P(h_{\text{gauge}}) & T_{\text{gauge}} < 2 \\ P(h) = (1 + B(h - h_{\text{gauge}})) \text{new } P(h_{\text{gauge}}) \end{cases} \quad (2)$$

$$\text{new } P(h_{\text{gauge}}) = A_R P(h_{\text{gauge}}) \quad T_{\text{gauge}} \geq 2 \quad (3)$$

7.1. 降雪量補正パラメータ A_S と B の推定

降雪量補正のパラメータ推定方法として、表 2 に示す 2 つのパラメータ降雪量補正係数 A_S と降雪量標高補正係数 B を変化させ、モデル実験により推定を行う。パラメータ A_S と B の最適組合せ条件として、モデルによる計算結果の水収支が合うことを優先する。パラメータの評価方法としては、式(4)の水収支誤差 Q_{err} によって降水量補正のパラメータの評価を行い、推定されたパラメータを用いた解析結果を式(5)の Nash 効率係数 E によって評価を行う。図 8 に A_S と B の組合せによる水収支誤差のコンター図を示す。

$$Q_{err} = 1 - \frac{\sum_{i=0}^n Q_{c(i)}}{\sum_{i=0}^n Q_{o(i)}} \quad (4)$$

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=0}^n (Q_{o(i)} - Q_{c(i)})^2}{\sum_{i=0}^n (Q_{o(i)} - \bar{Q}_o)^2} \quad (5)$$

Q_{err} : 水収支誤差 Q_c : 計算流量

Q_o : 実測流量 \bar{Q}_o : 平均実測流量

E : Nash 効率係数

7.2. 降雨量補正係数 A_R の推定

7.1 で決定したパラメータ A_S と B をもとに、雪の影響が無く、降雨量補正の影響を大きく受けると考えられる期間を 7~10 月, 8~10 月, 7~11 月, 8~11 月の 4 つの期間に分けて A_R の推定を行う。 A_R の推定は、表 3 に示す 1.0~1.3 の範囲の A_R の値をモデルに入力値として与え、7.1 で決定した水収支誤差が小さくなる最適なパラメータの組合せの中の $A_S=2.9$ と $B=0.0010$, $A_S=2.6$ と $B=0.0025$, $A_S=2.4$ と $B=0.0045$ の 3 つのケースで融雪流出解析を行い、水収支誤差 Q_{err} が 0 に近くなる時の A_R をパラメータとして用いる。図 9, 図 10, 図 11 に示す各ケースの解析結果より、 A_R が

表 2 モデル実験の係数範囲

モデルパラメータ	範囲	刻み
降雪量補正係数 A_S	1.5 - 3.5	0.1
降雪量標高補正係数 B	0.0005 - 0.0050	0.0005

表 3 パラメータ推定の係数範囲

モデルパラメータ	範囲	刻み
降雨量補正係数 A_R	1.0 - 1.3	0.05

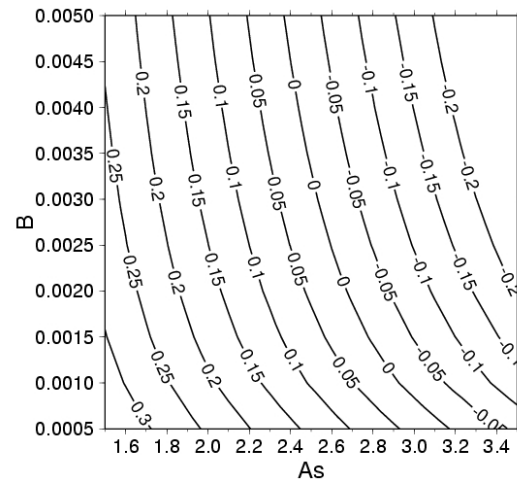


図 8 A_S と B のコンター図

1.0~1.1 の間で水収支誤差 Q_{err} が 0 になっていることが分かる。どのケースにおいても同様の傾向を示しているおり、 $A_R=1.05$ の時に水収支誤差が一番小さくなるため、 $A_R=1.05$ をパラメータとして決定した。

8. 結果・考察

図 12 は融雪流出解析の結果である。CASE1 は $A_S=2.6$ $B=0.0025$ (降雪補正のみ), CASE2 は $A_S=2.6$ $B=0.0025$ $A_R=1.05$ (降雪・降雨補正), CASE3 は近隣雨量の相関によって補完された降水量データに降雪補正 ($A_S=2.6$ $B=0.0025$) をして融雪流出解析を行ったものである。図 12 より、降水量補正なしのケースを見ると、明らかに融雪期の流量が足りていないことが分かる。CASE1 と CASE2 は同じような挙動を示しており、降雨

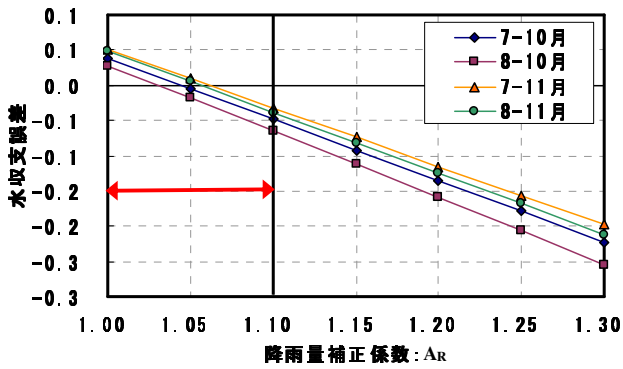


図9 $A_S=2.9$ $B=0.0010$

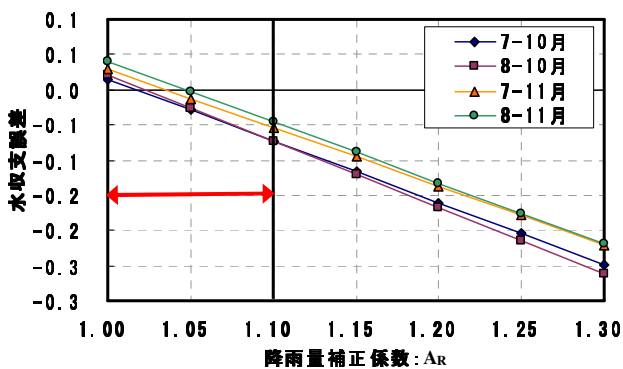


図10 $A_S=2.6$ $B=0.0025$

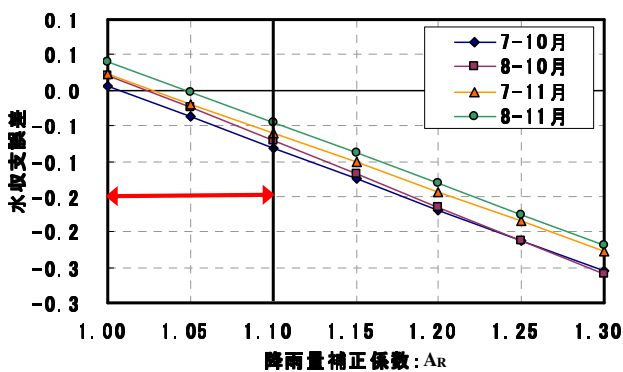


図11 $A_S=2.4$ $B=0.0045$

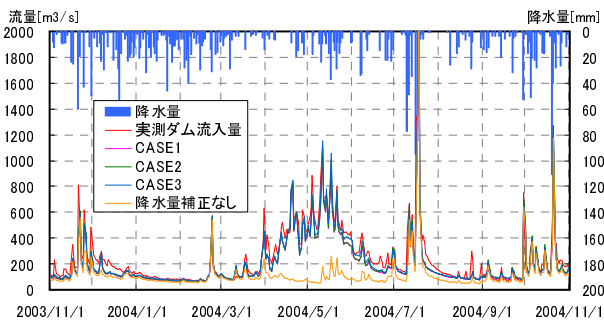


図12 融雪流出解析結果

補正の影響は小さいと考えられる。CASE3 は CASE1 と CASE2 と比較すると、融雪期に若干ではあるが違う挙動を示していることから、異常値の補完は解析に影響があることが分かる。表4 は図12 に示す解析結果のケースごとの Nash 効率係数の値である。パラメータの組合せを11年間一定にして解析を行った場合でも Nash 効率係数は0.7以上という良好な結果を得ることが出来た。図13, 図14, 図15 は各ケースの水文年毎の水収支を示したもので、表5 は図13, 図14, 図15 で示した水収支の年間平均をまとめたものである。表5より、実測の流出高との水収支を合わせるためには、補正前の降水量に対して約40%程度降水量を増加させる必要があることが分かった。また、降水量補正を行うことにより、年間降水量の約60%程度が降雪であるという結果を得た。蒸発散量(mm)は佐藤(2004)らにより推定された係数を用いて計算している。

表4 Nash 効率係数

	E (2003-2004)	E (1996-2007)
CASE1	0.874	0.764
CASE2	0.870	0.751
CASE3	0.879	0.728

表5 水収支の年間平均

単位(mm)	補正前降水量	CASE1	CASE2	CASE3
年間平均降水量	2751	4800	4900	4958
年間平均流出高	4237	4243	4342	4400
年間平均蒸発散量	534	534	535	535
補正率	-	42%	43%	44%
降雪割合	34%	61%	60%	63%

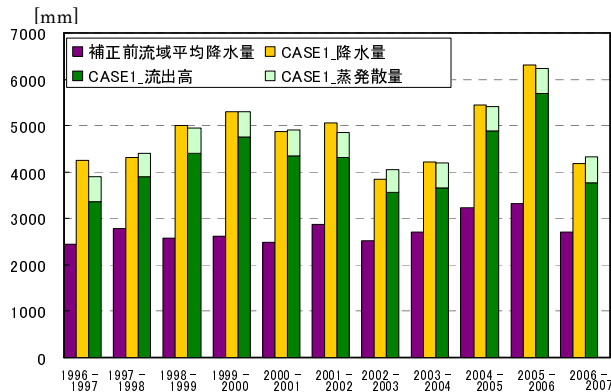


図 13 CASE1 の水収支

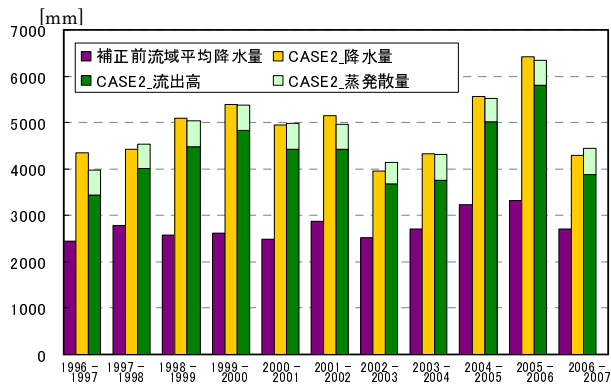


図 14 CASE2 の水収支

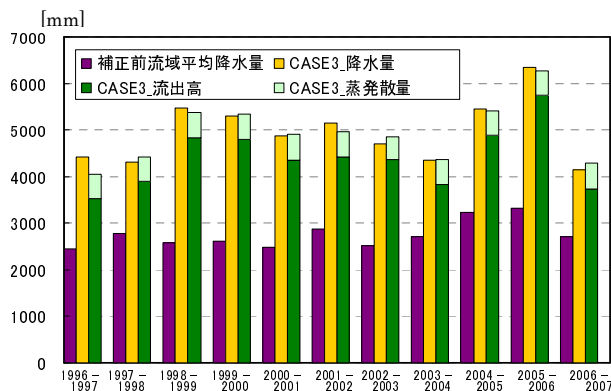


図 15 CASE3 の水収支

9. まとめ

本研究では、降水量を降雪と降雨に分けて補正を行い、長期（11年間）の融雪流出解析を行うことで、長期間でも適用できるパラメータを推定し、対象流域の水収支を把握することができた。

補正前の降水量データを近隣雨量の相関によって照査し、異常値の補完を行った。補完を行った降水量データと補正前の降水量データとでは、1%異なるという結果を得た。

11年間を通して水収支を合わせた上で、尚且つダムへの流入量の高い再現性を得ることが出来た。

実測のダム流入量との水収支を合わせるためには、補正前の降水量データに対して約40%程度補正して増やす必要があるという結果を得た。

降水量データの補正を行うことにより、三国川流域ダム上流部において、年間の降水量のうち60%が降雪であるという結果を得た。

参考文献

- 1) 本間俊行: 分布型融雪流出解析による広域積雪深の評価に関する研究, 長岡技術科学大学修士論文, 2006.
- 2) 佐藤健太: ダム調節を含んだ上下流一貫の分布型水文モデルの開発に関する研究, 長岡技術科学大学修士論文, 2005.
- 3) 横山宏太郎・大野宏之・小南靖弘・井上聡・川方俊和: 冬期における降水量計の捕捉特性, 日本雪氷学会誌, 65 巻 3 号 pp.303-316, 2003.
- 4) 木下武雄・中尾忠彦・島田健一・今井聡・坂本淳一: 水文観測データ高度照査システムの開発とその効果, 平成 16 年度河川情報シンポジウム講演集
- 5) 島崎彦人: AMeDAS データと衛星データを用いた時空間的に連続な日射量推定手法の検討, 長岡技術科学大学修士論文, 2001.