2層モデルによる積雪と蒸発散の包括的な再現について

1. はじめに

積雪寒冷地流域の効率的な水管理のため、積雪量および融雪 量の的確な把握が不可欠である。また、流域の全体的な水収支 を考える上で、蒸発散量についても的確に推定する必要がある。 蒸発散は地被や植被の状態によって動的に変化する。また、積 雪寒冷地においては、積雪の有無によって水・熱フラックスが 大きく変化するため、降水、積雪、融雪、蒸発散を包括的に推 定していく必要がある。本研究では、近藤ら¹⁾によって提案さ れている2層モデルを積雪寒冷地のダム流域に適用し、植被の 影響を考慮した積雪と蒸発散の再現を試みた。また、これらの 結果について、既存の可能蒸発散量および実蒸発散量の推定手 法との比較検証をおこなった。

2. 検討対象流域の概要

北海道開発局のダム管理所においては各種観測を毎正時に実 施している。これらは大気・地表面間の熱フラックスの推定に 生かすことができる。本報告では、札幌市南部にある定山渓ダ ム流域を対象とした検討事例を紹介する。解析にはダム管理所 地点で計測されているデータ(降水量、風向・風速、日射量、 日照時間、湿度、気温、積雪深)を用いた。また、ダムの流木 処理施設内の微気象観測結果も参考とした。

3. 2層モデル法による推定手法の概略

蒸発散量は地被や植被の状態によって動的に変化する。そこ で、より高い精度で熱フラックスを推定するために、地表面と 植被層各々の熱収支を近藤ら¹⁾によって提案されている2層モ デルによって定式化する。基礎式は表-1に示す。各層の熱収支 は表の式(1)と(2)で表わされるが、簡便化のため式(8)と(9)を式 (1)と(2)に代入し、連立1次方程式に帰着させて地表面温度 T。 および植被層温度 T_vを求める。これによって式(4)と(6)に示す バルク法から潜熱フラックスが求められ、蒸発散量が推定でき る。また、融雪量は式(11)および(12)の積雪の熱収支式で推定さ れる。なお、上記の計算においては地中伝達熱量(G)と積雪の蓄 熱効果(Q)は無視している。いずれにしても、ここで計算され る融雪量と観測から与えられる降雪量で積雪量が推算できる。



キーワート: :蒸発散、融雪、2層モデル、植被、積雪寒冷地流域

連絡先:〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3丁目1番34号 TEL(011)841-1696 FAX(011)818-7036

(株) 福田水文センター 正会員 口澤 寿 開発土木研究所 正会員 中津川 誠

表-1 2層モデルによる蒸発散・融雪量の 計算基礎式

2層モデルの基礎式

地表面; $f_{V}R$ +(1- f_{V}) $\sigma T_{V}^{4}-G = \sigma T_{g}^{4}+H_{g}+\ell E_{g}$	(1)
植	(2) (3)
$\ell E_g = \ell \rho \beta_g C_{Hg} u \Big\{ e_{sat}(T_g) - e \Big\} \frac{0.622}{n}$	(4)
$H_{v} = C_{p} \rho C_{Hv} u(T_{v} - T)$	(5)
$\ell E_v = \ell \rho \beta_v C_{Hv} u \{ e_{sat}(T_v) - e \} \frac{0.622}{p}$	(6)
$f_v = \exp(-F \cdot LAI)$	(7)
$\sigma T_v^4 = \sigma T^4 + 4\sigma T^4 (T_v - T)$	(8)
$\sigma T_g^{\ 4} = \sigma T^4 + 4\sigma T^4 (T_g - T)$	(9)
$E = E_v + E_g$	(10)
H_{s}, H_{v} ;各々地表面および植被層からの顕熱フラックス(W $\ell E_{s}, \ell E_{v}$;各々地表面および植被層からの潜熱フラックス(W $E_{s}, \ell E_{v}$;各々地表面および植被層からの潜熱フラックス(W E_{s}, E_{v} ;各々地表面および植被層からの蒸発散量(mm/s) E; 全蒸発散量(mm/s) T_{s}, T_{v} ;各々地表面および植被層の代表温度(°C) $R \downarrow$;下向き正味放射量(W/m ²) G;地中伝達熱量(W/m ²) G;地中伝達熱量(W/m ²) G;元テファン・ボルツマン係数(=5.67×10 ⁻⁸ W/m ² /K ⁴) ℓ ;蒸発潜熱(=2.50×10 ⁶ J/kg) ρ ;空気密度(=1.2kg/m ³) C_{p} ;空気の定圧比熱(=1,004J/kg/K) p;大気圧(hPa) C_{hs}, C_{hr} ;各々地表面や大気間および植被層〜大気間のバル β_{s}, β_{s} ;各々地表面および植被層の蒸発効率 u;代表高度での風速(m/s) T;代表高度での気温() e, e_{sat} ;各々代表高度での水蒸気圧(hPa)および飽和水蒸気圧 f_{v} ;放射に対する植被層の透過率 F, LAI;各々葉面積指数および放射に対する傾きを表すフ	/m ²) //m ²) ~ク係数 E(hPa) アクター
<u>融雪計算の基礎式</u>	
$Q_S + Q_M = Q_G \tag{(1)}$	11)
$Q_G = R \downarrow -\varepsilon \sigma T_s^4 - H - lE + Q_B + Q_R \tag{(4)}$	12)
$R \downarrow = (1 - \alpha)S \downarrow + \varepsilon L \downarrow \tag{(1)}$	13)
$M = 86,400 \frac{Q_s}{\ell_f} $	(14)
Q_S ; 積雪の温度を上昇させるエネルギー(W/m ²) Q_M ;融雪に使われるエネルギー(W/m ²) Q_G ; 積雪層が表面と底面から得る正味のエネルギー(W/m ²) T_S ; 積雪面温度() R; 下向き正味放射量(W/m ²) ε ; 積雪面射出率 (=0.97) S; 下向き日射量(W/m ²) L; 下向き長波放射量(W/m ²) Q_B ; 土壌から供給される熱量(W/m ²) Q_B ; 評降雨から供給される熱量(W/m ²)	2)
M;融雪量 (mm/d)	
ℓ_f ; 氷の融解潜熱 (= 0.334×10°J/kg)	

すなわち、地表面の積雪の有無が判定できるため、その違いに応じて熱フラックスと蒸発散量が計算できることと なる。このなかで、積雪の有無によって地表面のアルベドが大きく変わるため、その変化を推定することが必要と

なる。図-1 は定山渓流域で観測され たアルベドを気温等によってパラメ タライズ²⁾した結果を示す。なお、 積雪がない場合のアルベドは観測結 果に基づき 0.2 に固定した。

4. 蒸発散量の推定結果と評価

最初に2層モデル法より求められ た各層の顕熱・潜熱フラックスの計

算結果を図-2 に示す。冬期間は地表面が積雪に覆われていて大気・地表面間の顕熱は負(大気から地表面に向かうフラックス)であり、積雪が無くなった時点でその傾向が逆転することがわかる。したがって、積雪がある時期には下向き正味放射に加えてこの分の顕熱が融雪に利用されることになる。一方、大気・植被層の温度が気温より低く保たれていることが再現されている。次に、潜熱は大気・地表面間あるいは大気・植被層間の温度差が大きいときに増加するが、その傾向は気温も地表面温度も大きい盛夏より

も相対的な温度差の大きい春から 初夏にかけての時期に顕著に現れ ている。また、冬期間は地表面温 度が小さいことで潜熱が負、すな

100 替熱量(植被層) 潜熱量(地表面) 輻熱量(植被層) ເ_E 75 熱フラックス(M/ 50 25 0 -25 1月 3月 5月 7月 9月 11月 図-2 各熱フラックスの計算結果 (定山渓ダム管理所地点 1999,上向きを正) 4.0 植被菌蒸発散量 3.5 総発散量 地表面蒸発散量 3.0 (p/mm) 25 2.0 1.5 蒸発散量 1.0

 0.5 0.0 -0.5 -1.0
1月 3月 5月 7月 9月 11月
図-3 2層モデルによる蒸発散量の推定結果 (定山渓ダム管理所地点 1999)

表-2 蒸発散量の推定結果 (定山渓ダム管理所地点 1998~1999)

年	Thorntwaite式	Hamon式	Penman式	Penman-Monteith式	補完法	単層モデル法	2層モデル法
1998	565	552	416	199	261	156	195
1999	563	569	426	213	270	159	198

わち凝結が起きやすくなっている。以上のようなことから、蒸発散量は図-3に示すように推算される。

次に蒸発散量の比較検証を行う。これまで、水収支法などとの比較により、定山渓ダム流域の蒸発散量はほぼ可 能蒸発散量に近いという見解が示されてきた³⁾。そのことを念頭に置き、2 層モデルの結果を可能蒸発散量、実蒸 発散量の各推定手法の結果と比較した。各手法による年間蒸発散量の推定結果を表-2 に示す。結果として2 層モデ ルの結果は可能蒸発散量よりかなり小さくなっている。熱フラックスを細かくパラメタライズした場合、バルク輸 送係数や蒸発効率、アルベドといったパラメータの設定に結果が左右されることになる。これらを現実的な値にす るには流域全体の水収支とのクロスチェックなどにより、チューニングしていくことも必要と考えられる。ただし、 積雪の有無など地表面の状態変化を考慮できない方法では、冬期間に凝結量を過大に推定するといった問題もあり、 その解消のために今回提案した手法は有効と考える。

5. 積雪量・融雪量の推定結果

ダム管理所で計測されている積雪深を2層モデルを基本とした融雪モデル で再現した結果を図-4に示す。積雪深は、降雪があった場合の累加される一 方、融雪を差し引いて求める。この際、積雪水量を積雪深に変換するため積 雪密度が必要となるが、これは雪質によって変化するとして、融雪時の積雪 密度調査を元に積算温度の関数として与える²⁾などした。とくに消雪のタイ ミングなど、結果については概ね妥当に再現されているが、流域全体でこの ようなモデルを適用する場合は降雪量、積雪密度の設定が課題と言える。



6. まとめ

積雪寒冷地のダム流域で2層モデルによる蒸発散量と融雪量の包括的な推定を試みた。バルク輸送係数等のパラ メータの設定、とくに流域全体にモデルを適用する場合にそれらをどのように設定するかが今後の課題となる。 参考文献

1)近藤純正, 1994; 水環境気象学, 朝倉書店, pp.208-239. 2)中津川誠, 星清, 1995; 熱収支を考慮した流域スケールの時間融雪流出量の推定, 開発土木研究所月報, No 506, pp. 2-9. 3)口澤寿, 中津川誠, 2001; 積雪寒冷地流域における水収支と蒸発散量の評価, 平成 12 年度土木学会北海道支部論文報告集, pp.422-425.