



Title	カナダ東部、北方針葉樹林地における融雪水の流出 I : 融雪特性と流出応答
Author(s)	石井, 吉之; ISHII, Yoshiyuki; 鈴木, 啓助 他
Citation	低温科学. 物理篇, 51, 77-92
Issue Date	1993-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/18615
Type	departmental bulletin paper
File Information	51_p77-92.pdf



カナダ東部, 北方針葉樹林地における融雪水の流出 I *

— 融雪特性と流出応答 —

石井吉之

(低温科学研究所)

鈴木啓助

(東京都立大学理学部)

兒玉裕二・小林大二

(低温科学研究所)

(平成4年11月受理)

Abstract : Snowmelt heat balance and runoff characteristics of meltwater were examined at a small watershed (1.22 km² in area, 770-970 m in altitude) in a boreal forest, Quebec, eastern Canada. In addition to observations of snowpack and streamflow of the whole watershed, meteorological elements and the meltwater outflow were observed at an open site as well as a site in the forest using the same procedure. The meltwater outflow was measured by means of snow lysimeters (4 m²). The results are summarized as follows: 1) The energy used for snowmelt at the forest site was one half of that at the open site and the solar radiation absorbed was one quarter. This is due to an increase of long wave radiation from the trees and a decrease of albedo. 2) Daily variations in the lag time of meltwater outflow showed a similar tendency at the both sites. At the forest site, however, the lag time was larger because of the smaller meltwater flux. 3) The time lag process of the streamflow was not always in accord with that of the meltwater outflow at the forest site. The former seems to be mainly controlled by throughflow in the organic soil layer in the forest.

要旨: カナダ東部の北方針葉樹林地の小流域(面積 1.22 km², 標高 770~970 m)において, 1991 年の融雪期に, 森林内外における融雪特性と融雪水の流出応答を調べた。積雪と河川の観測のほかに, 近接する林内と林外の観測点で, 気象観測と積雪ライシメータ(4 m²)による融雪水観測を全く同じ手法で行ない, 次の結論を得た: 1) 林内の日射量は林外の 1/4 に減衰するが, 樹木による長波長放射の増加とアルベードの減少により, 融雪熱量の減衰は 1/2 にとどまる; 2) 積雪下面流出の遅れ時間の経日変動は, 林内林外とも同じ傾向であるが, 林内は融雪水量が小さいために遅れ時間がより大きくなる; 3) 河川流出と林内の積雪下面流出の遅れ傾向は必ずしも一致しておらず, 河川流出の遅れは主に林内表層土壌の有機質層内で生じている。

* 北海道大学低温科学研究所業績 第 3629 号

Key words : boreal forest, meltwater outflow, snow lysimeter, snowmelt heat balance, snowmelt runoff

キーワード：積雪下面流出，積雪ライシメータ，北方針葉樹林地，融雪出水，融雪熱収支

I. まえがき

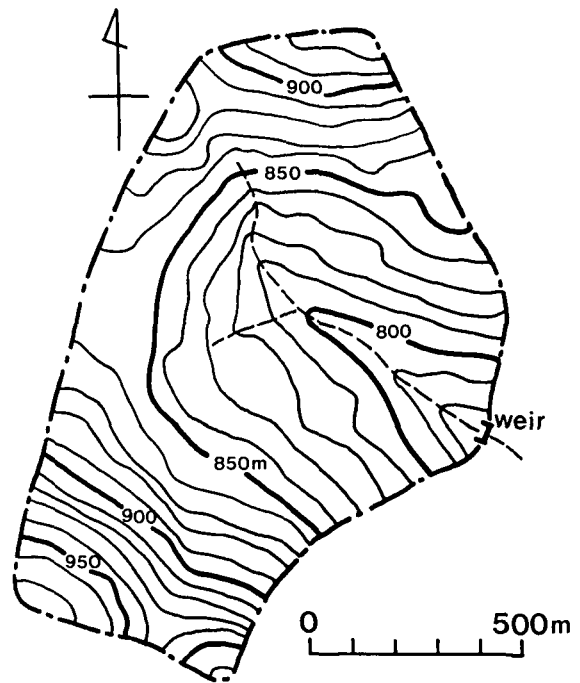
積雪地帯の森林は、樹冠遮断や堆雪効果により冬期の降積雪を再配分する。また、融雪期には日射や風速を減衰させ融雪を遅延させる。融雪期の流域水収支を扱う場合には、森林のこのような機能を適切に評価していく必要がある。これまでも森林内外における積雪特性の比較研究は行われてきたが^{1,2)}、融雪期を対象に森林内外の融雪熱収支、積雪内浸透、河川流出などを比較した例は少ない³⁻⁵⁾。また、森林の役割を化学的側面から評価することも必要である。すなわち、林内積雪の化学成分は樹木からの栄養塩供給によって林外とは異なった特徴を持つようになるが、その影響が融雪流出過程の中にどう現れるかを知ることが重要な問題である。

そこで、密な単層林からなるカナダ東部の北方針葉樹林地を対象に、森林内外における融雪流出応答ならびに融雪水の化学成分変動の比較研究を行ない、融雪流出過程における森林の役割について考察した。この地域では、融雪期初期に酸性の強い融雪水が流出し、小湖沼や河川などの陸水生態系への悪影響が深刻化している。

この論文では融雪特性と流出応答について報告し、化学成分変動については別報⁶⁾で報告する。

II. 観測方法

観測はケベック市の北約 60 km に位置するラバル大学モンモレンシー演習林内の小流域(47°17'N, 71°10'W)で行なった(第1図)。この流域は面積が1.22 km²、標高が770~970 m、平均勾配が14°で、森林は balsam fir の密な極相林からなり、一部に white birch が分布する。表層地質は厚さ10数 m に及ぶ漂礫土で、地表面下 30~50 cm 深には北方針葉樹林地に特有のポドゾル層が存在する⁷⁾。ラバル大学の観測によると当地の年平均

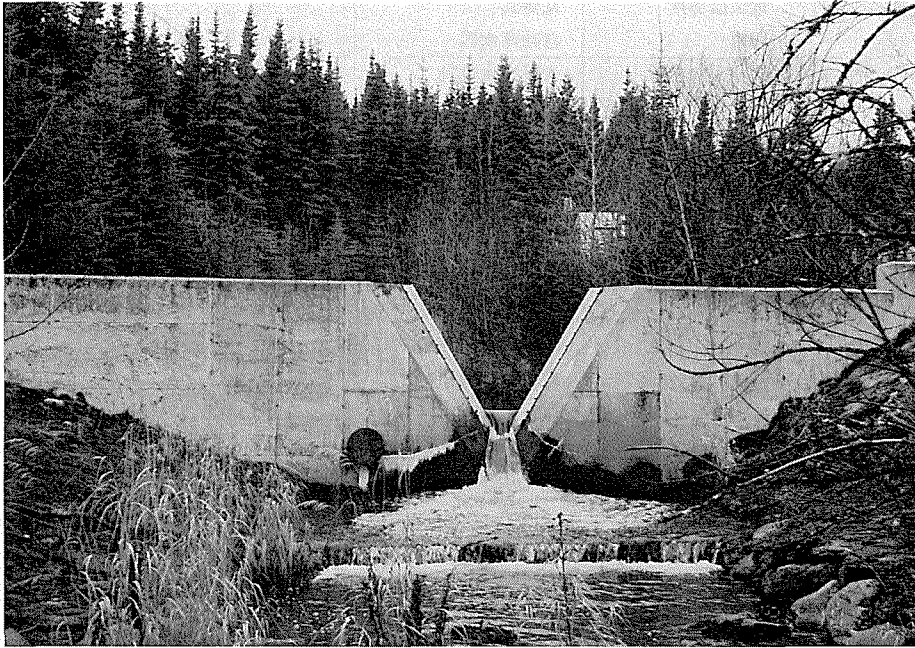


第1図 観測流域の概要

気温は 0.2°C (1月: -15.2°C , 7月: 14.8°C), 年降水量は $1300\sim 1400\text{ mm}$, 最深積雪は $100\sim 150\text{ cm}$ である。年降水量のおよそ $1/3$ が降雪である。

流域末端の河道には第2図のような 60° 三角堰が設置されており、観測は全てこの付近で行なった。測定項目と期間を第1表に示す。気象観測には高さ 6 m のポールを用い、風向風速を地上 6 m , 通風温湿度と全天日射量を 3 m で測定した。また、融雪水観測用に幅 1 m 長さ 4 m の積雪ライシメータを設置し、積雪下面流出水を転倒桁型流量計 ($1\text{ カウント } 500\text{ cm}^3$) で計測できるようにした。森林内外の融雪・流出過程を比較するため、これらの測定器を林内と林外に全く同様に設置した (第3図)。設置は積雪期直前の 1990 年 10 月下旬に行なった。

1991 年 4 月中旬には、河川観測用に水位計、水温計、電気伝導度計、 pH 計を三角堰地点に設置し、これより 5 月 9 日まで現地で観測を行なった。積雪調査は毎朝 1 回行なった。場所による違いを考慮し、林内外とも $5\sim 10$ ヶ所で、雪面低下量 (毎夕刻にも測定)、積雪深、積雪水量



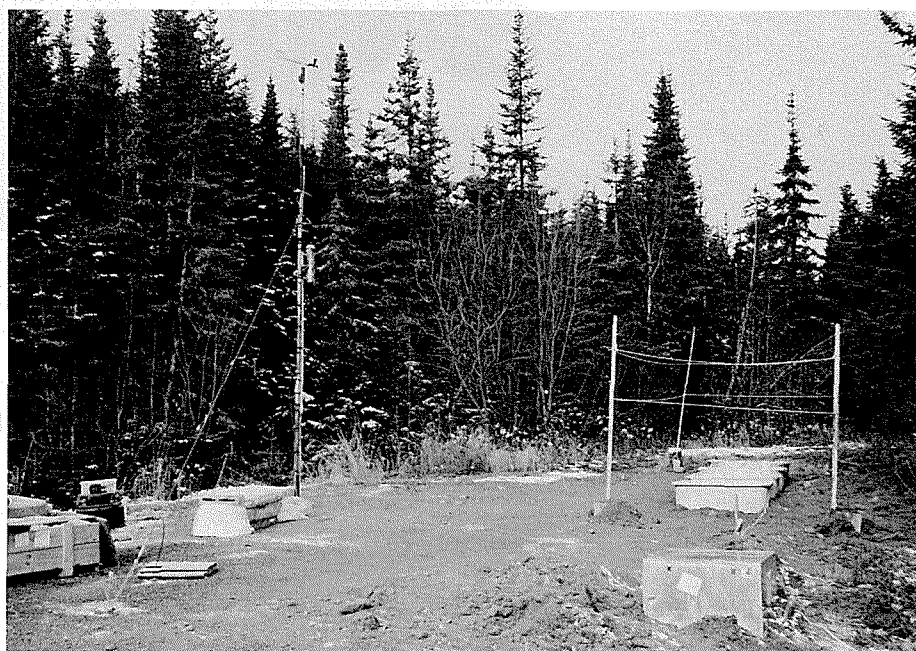
第2図 流域末端の 60° 三角堰

を測定した。また、積雪断面を作成し 10 cm 間隔に密度と含水率を 1 日 $1\sim$ 数回測定した。さらに、積雪水量の標高差を見るため、流域周辺の標高 $650\sim 850\text{ m}$ 地点約 20 ヶ所でも 3 日に 1 回の割合で積雪調査を行なった。

なお、気象観測は冬期から融雪期にかけて連続して行なっているが、ここでは融雪期の結果のみを用いる。

第1表 測定項目と測定方法

測定項目	測定方法	期間	備考
気象 風向 風速 気温 湿度 全天日射量 積雪深 0.3m深地温 1.3m深 //	ポテンショメータ 発信式 白金測温抵抗 静電容量式 フォトダイオード 雪面反射光式 サーミスター // //	1990年10月30日 ~ 1991年 5月 9日	自記
融雪水 積雪下面流出量 pH 電気伝導度 採水	積雪ライシメータ 転倒桁型流量計 ガラス電極式 電極式 自動採水器	1991年 4月21日 ~ 5月 9日	自記
河川 水位・流量 水温 pH 電気伝導度 採水	水圧式水位計 サーミスター ガラス電極式 電極式 自動採水器	1991年 4月21日 ~ 5月 9日	自記
積雪 雪面低下量 積雪深 積雪水量 含水率・密度 採水	雪尺 測深棒 スノーサンプラー 熱容量式 自動採水器	1991年 4月21日 ~ 5月 9日	1日1~ 数回



第3図 林外での観測機器の設置状況

III. 観測結果

この冬の最大積雪深は林外が 149 cm、林内が 168 cm で、いずれも 3 月 8 日に記録された。4 月 3~9 日にかけて日平均気温が +2~5℃ に上昇し顕著な融雪が起きたが、その後は降雪まじりの気温の低い日が続いた。本格的な融雪は 4 月 24 日に始まり、現地観測を打ち切った 5 月 9 日までに、積雪深は林外で 91 cm から 14 cm まで、林内で 121 cm から 82 cm まで減少した。雪質はしもぎらめ雪がぎらめ化した非常に脆い雪で、雪面歩行時に脚が 50~80 cm も埋まるほどであった。

1. 林内と林外の積雪特性

4 月 26 日~5 月 8 日の林内外における積雪深、積雪水量、全層密度の変化を第 4 図に示す。丸印が 5~10ヶ所の平均値、縦棒の長さが分散範囲を示している。林内林外とも第 1 日目に無作為に測定点を選定し、2 日目以降は前日とほぼ同じ地点で測定を行なった。林内の樹間間隔には規則性が無く、1 m も離れると測定値は大きく変動した。

積雪深は分散を考慮しても林内で大きく、日本の常緑針葉樹林地⁹⁾とは逆の傾向となった。自記積雪深計でも同様の結果が得られている⁹⁾。しかし、顕著に融雪が進む以前の積雪水量は林外の方が大きく、少なくとも 10% 程度の樹冠遮断量がある。全層密度は、微小な経日変化はあるが、観測期間を通じほぼ一定と見なすことができ、林外で 0.41 g/cm³、林内で 0.30 g/cm³ が得られた。

また、林内での分散が大きいために、林内積雪水量の標高による差はほとんど認められなかった。

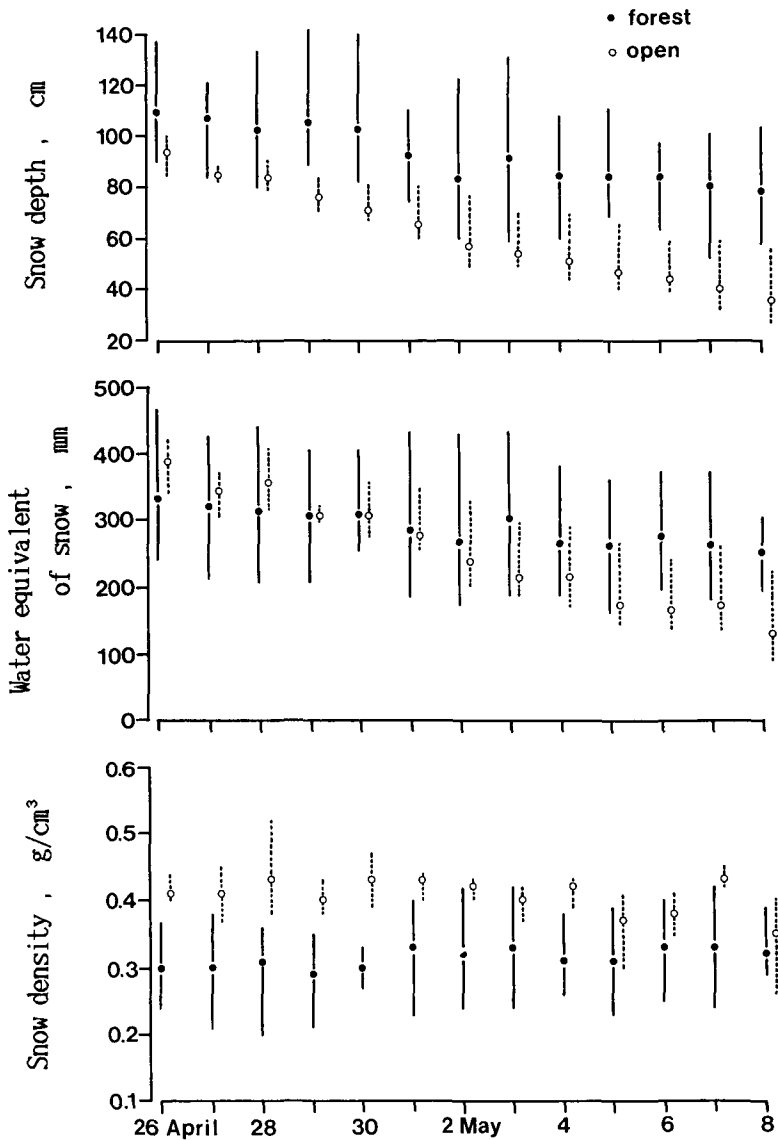
2. 林内と林外の気象要素

晴天が続いた 4 月 24 日から 30 日までの林内外の気象要素の変化を第 5 図に示す。林内気温は林外に比べ日較差が小さく、最低気温が高く最高気温が低い。気温差は最低側より最高側で大きいので、日平均気温は林内が約 1.5℃ 低くなる。林内外の相対湿度は夜間はほぼ等しいが、日中は林内が 10% 程度大きい。

日射量と風速には森林の内外差が明瞭に現れている。日射量の日積算値を比べると、林外の 22~28 MJ m⁻²d⁻¹ に対し林内は 5~7 MJ m⁻²d⁻¹ で、林外の約 1/4 であった。林内では正午付近にセンサー受感部が木の影に入り、前後の時間帯に比べ小さい値になっている。日平均風速は林内外とも小さいが、林外の約 1.0 m/s に対し林内は 0.1~0.2 m/s で、林内の風の弱さが際だっている。

3. 林内と林外の融雪水量

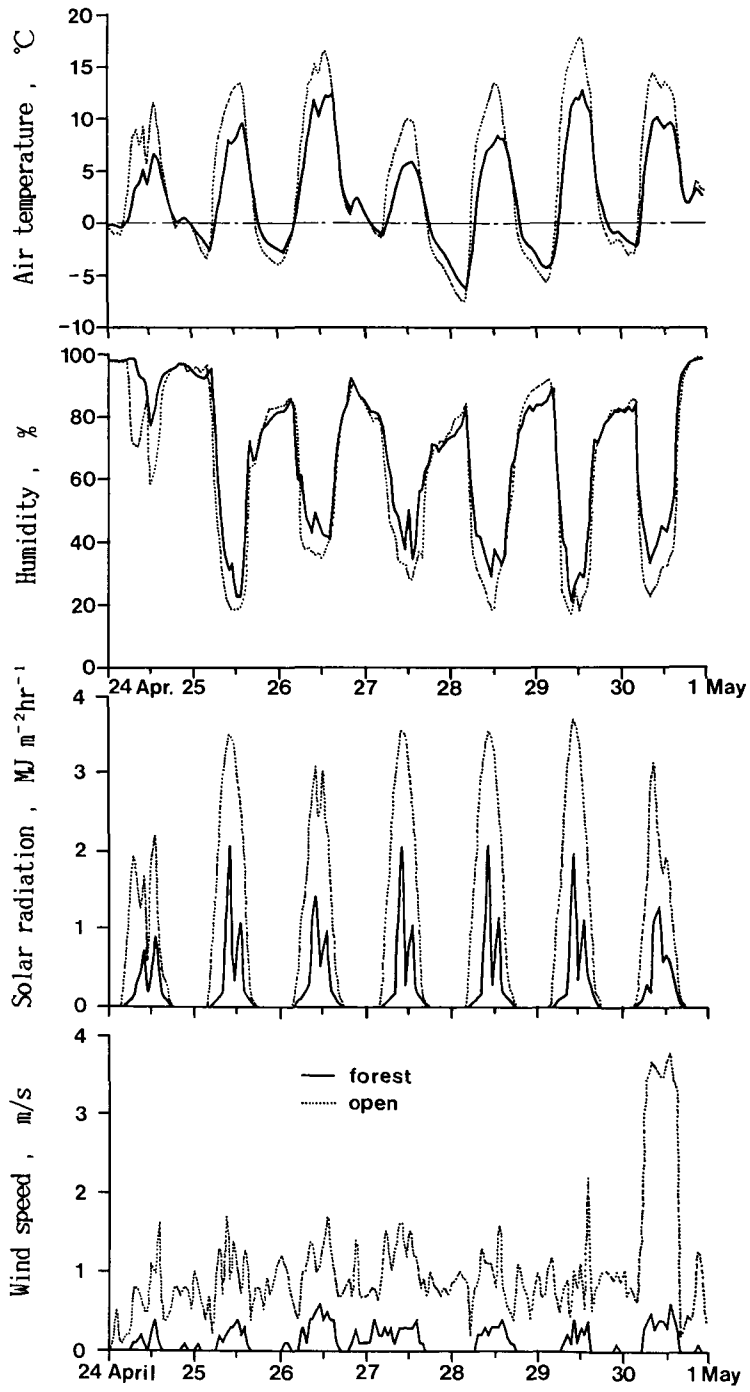
4 月 22 日~5 月 8 日の雪面低下量を第 6 図に示す。積雪断面における濡れ密度の鉛直プロフィールから、密度は深さによらずほぼ一定で、全層平均密度に等しいことが示された。そこ



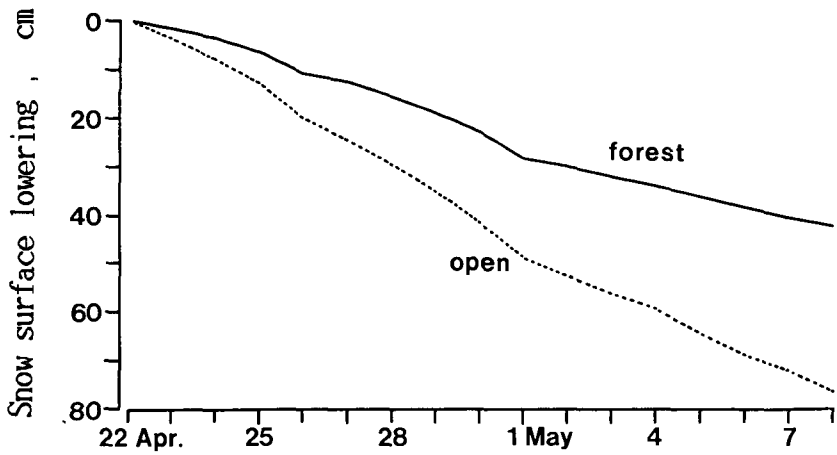
第4図 林内と林外の積雪深，積雪水量，全層密度の経日変化

で，1日の雪面低下量に観測期間中の全層密度の平均値を乗じ，日融雪水量を算出した。4月24～30日における林内融雪水量は5～11mmで，林外の30～45%であった。

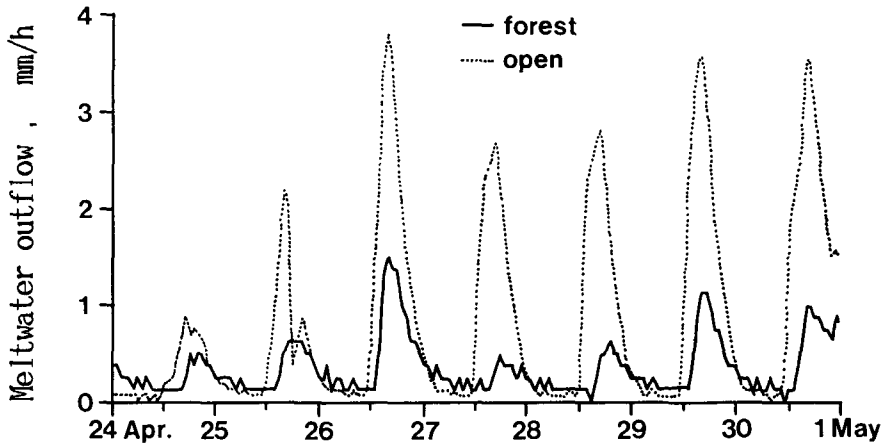
同じ期間における林内外の積雪下面流出量の変化を第7図に示す。日射量は11時頃にピークが現れるが，積雪下面流出のピークはこれより林外で4～6時間，林内で5～8時間遅れて現れる。林内の日流出量を林外と比較して第8図に示す。日流出量の算出は野村ら⁸⁾に従った。ばらつきは大きい，林外で多く流出した日は林内でも多く流出している。その比率(林内/林外)は約40%で，融雪水量についての比率とも調和している。



第5図 晴天日における林内と林外の気象要素の変化



第6図 林内と林外の雪面低下量

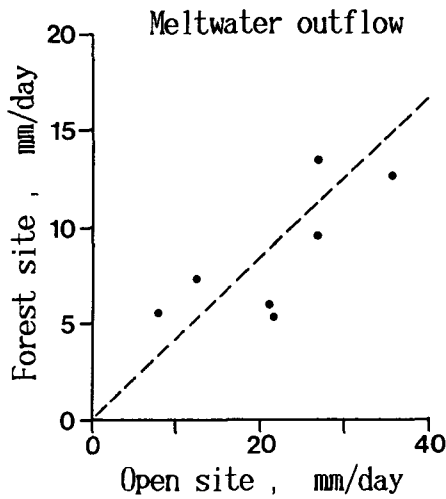


第7図 晴天日における林内と林外の積雪下面流出量の変化

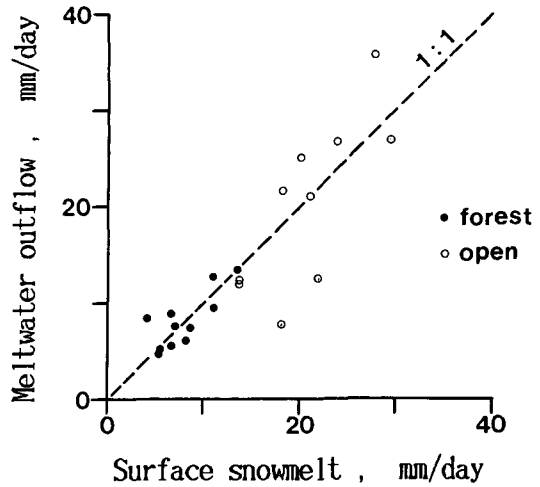
降雨の影響がない4月24～30日及び5月3～5日の10日間について、林内外における融雪水量と積雪下面流出量の関係を第9図に示す。概ね1:1の関係にあり、積雪層内の水収支は1日単位で均衡している。

4. 河川流量の変化

河川流量の規則的な日変化は、4月22日から見られるようになった(第10図a)。特に26日以降は日平均流量も3倍以上に増大し、顕著な融雪流出が起きた。観測期間中の最大流量は $0.31\text{m}^3/\text{s}$ で、5月1～2日の14mmの降雨に融雪が重なって起きた。また、5月6～7日にも12mmの降雨があり河川が増水した。降雨の影響が無い日のピーク流量は、22時から翌日の3時



第 8 図 林内と林外の積雪下面流出量の比較



第 9 図 林内と林外における融雪水量と積雪下面流出量の比較

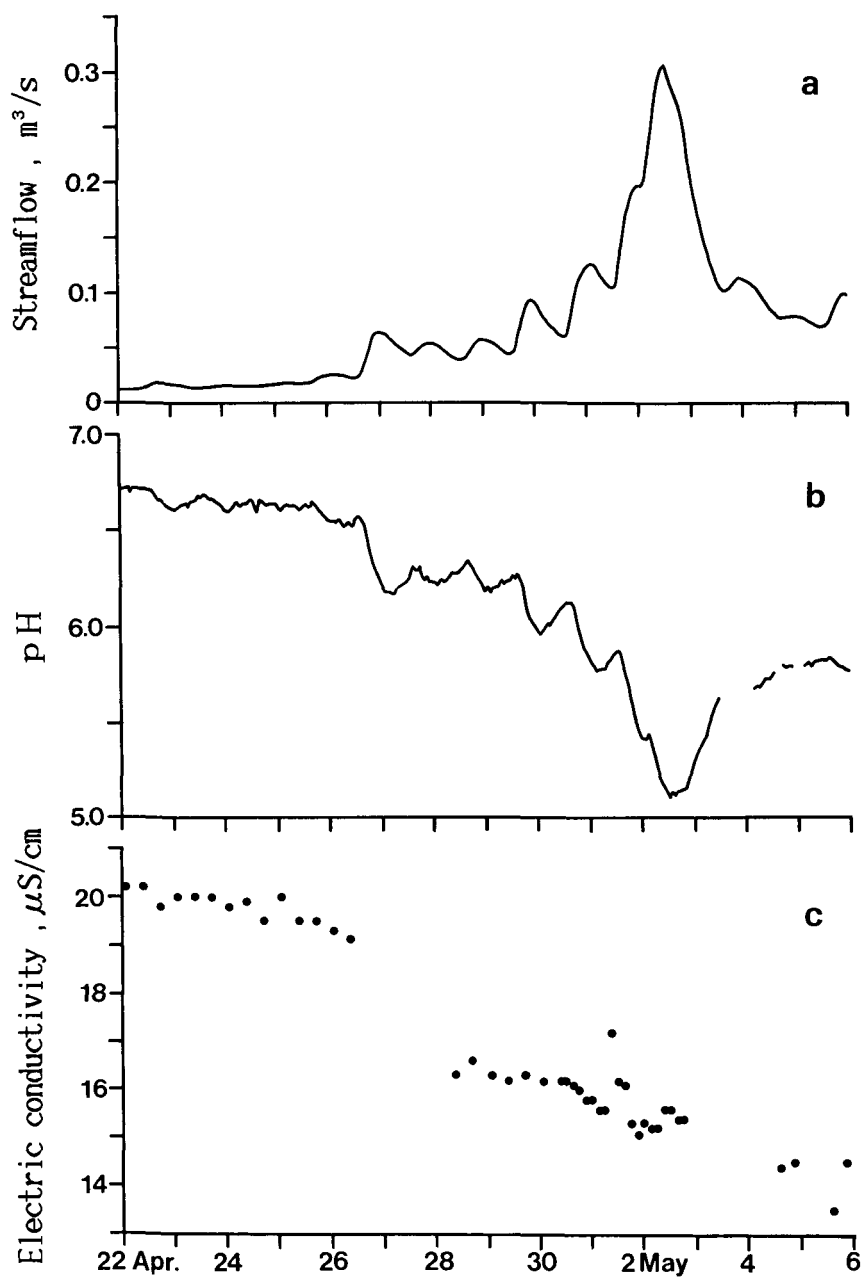
第 2 表 林内の積雪下面流出と河川の日流出量の比較

月 日	林内積雪下面流出量 mm/day	河川流出量 mm/day	流出率
4月24日	5.5	2.8	0.51
25	7.3	1.4	0.19
26	13.4	4.0	0.30
27	5.3	3.5	0.66
28	6.0	4.7	0.78
29	9.5	5.2	0.55
30	12.6	13.6	1.08
5月 3日	8.8	8.8	1.00
4	4.6	4.2	0.92
5	7.5	6.0	0.80

にかけて出現した。林内の積雪下面流出のピークより、短くても4時間以上、長い場合には10時間も遅れて流出する。また、ピーク時刻が日によって大きく変動する点も特徴的である。

第10図 b,c には、水位観測と併せて行なった河川水の pH と電気伝導度の測定結果を示した。電気伝導度は測器不良のため連続記録が取れなかったため、河川水を採水し実験室で再計測した値を示した。pH の変動が流量の変動と非常に良い逆相関を示している。流量増減に伴うヒステリシスも小さい。pH と電気伝導度は、4月26日を境に、ともに著しく小さな値をとるようになった。

第9図と同様に降雨の影響が無い10日間について、林内積雪下面と河川の日流出量を比較し第2表に示す。河川の日流出量の算出は Kobayashi⁹⁾に従った。活発な融雪の進行に伴い日流出



第10図 河川流量, pH, 電気伝導度の日変化

率が著しく増大している。

IV. 考 察

1. 林内と林外の融雪熱量の比較

多くの場合、融雪熱量の中では日射で与えられる熱量の占める割合が大きい。しかし、当流域では、林内の日射量が林外の1/4に減衰しているにもかかわらず、林内の融雪水量は林外の30~45%で、日射量ほどには減衰していない。その理由を林内と林外の熱収支計算を行ない検討した。ただし、アルベード、雲量、表面温度、放射収支量などが測定されておらず、綿密な計算はできない。そこで、北海道と東北地方での解析例を参考に次のように計算を行なった。

地球放射量と林外の大気放射量は、それぞれ Motoyama¹⁰⁾と太田¹¹⁾の方法に従い、現地での気温と日射量を用いて推算した。林内の大気放射量は、曇天日における林内と林外の日射量比から林内開空率0.31を求め、中林ら¹²⁾と同様に計算した。顕熱・潜熱伝達量はバルク法によって計算し、バルク係数には兒玉・竹内¹³⁾と同じ値(顕熱: $2.9 \text{ W m}^{-2} \text{ s m}^{-1} \text{ deg}^{-1}$, 潜熱: $4.6 \text{ W m}^{-2} \text{ s m}^{-1} \text{ hPa}^{-1}$)を用いた。射出率は1.0とした。また、アルベードは、他の熱収支項が算出された後に0.05刻みに可変量として与え、雪面低下量から求まる融雪熱量と最も適合する値を試行錯誤により求めた。最終的に林内では0.35、林外では0.50が得られた。林内の積雪表面には細かい無数の樹皮片・落葉などが密に分布するので、林外とのこの程度のアルベード差は十分妥当な値と言えよう。

4月25~29日の熱収支計算結果を第3表に示す。5日間の平均値で内外比(林内量÷林外量)を見ると、全日射量の内外比は0.24で著しく小さいが、林外のアルベードが大きいため、短波長収支量の内外比は0.31とやや大きくなる。一方、林内では樹木からの長波放射により、長

第3表 林内と林外における融雪熱収支の計算結果

場所	月日	S_{in}	S_{net}	L_{net}	Q_N	Q_S	Q_E	Q_{Mcal}	Q_{Mobs}
林外	4/25	26.5	13.1	-7.5	5.6	1.5	-0.4	6.7	7.1
	4/26	22.0	10.9	-5.8	5.1	2.2	0.1	7.4	9.6
	4/27	27.0	13.4	-8.0	5.4	1.4	-0.6	6.2	5.9
	4/28	27.2	13.5	-7.6	5.9	1.4	-0.4	6.9	6.9
	4/29	27.5	13.6	-7.0	6.7	1.8	-0.3	8.2	7.8
	平均	26.0	12.9	-7.2	5.7	1.7	-0.3	7.1	7.5
林内	4/25	6.2	4.0	-1.2	2.8	0.2	-0.1	2.9	2.9
	4/26	5.8	3.8	-0.2	3.6	0.5	-0.0	4.1	4.5
	4/27	6.2	4.0	-1.6	2.4	0.2	-0.1	2.5	1.8
	4/28	6.2	4.1	-1.2	2.9	0.2	-0.1	3.0	2.7
	4/29	6.5	4.2	-0.7	3.5	0.2	-0.1	3.6	3.7
	平均	6.2	4.0	-1.0	3.0	0.3	-0.1	3.2	3.1

ただし、 S_{in} : 日射量, S_{net} : 短波長収支量, L_{net} : 長波長収支量, Q_N : 放射収支量, Q_S : 顕熱伝達量, Q_E : 潜熱伝達量, Q_{Mcal} : 融雪熱量計算値, Q_{Mobs} : 融雪熱量観測値。単位はいずれも $\text{MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$

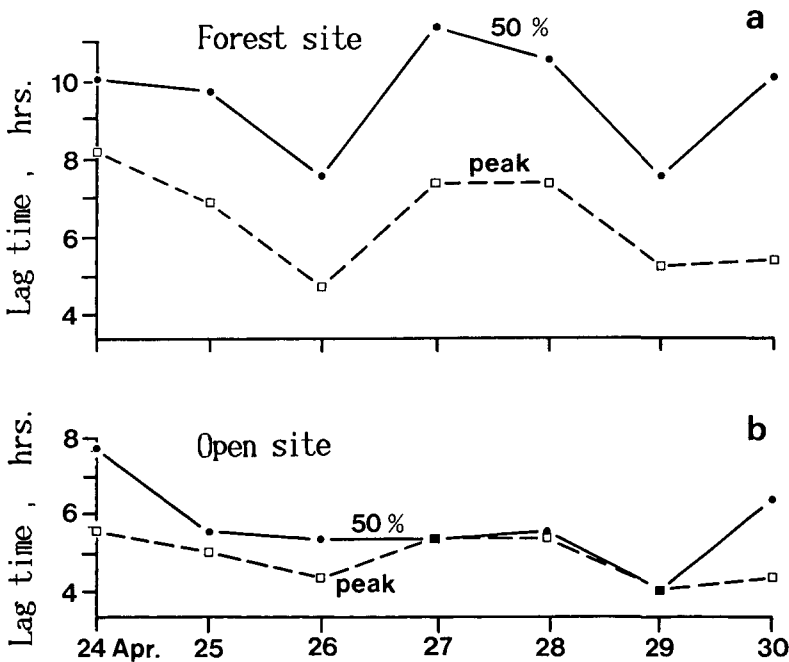
波長収支量のマイナス値が小さく抑えられる。このため放射収支量の内外比は 0.53 まで増大し、内外差が少なくなる。さらに、林外では風がやや強く、顕熱による受熱が加わる。結果として、融雪熱量の内外比は 0.46 となり、林内の融雪水量は林外のおよそ 1/2 になる。

このように林内の融雪熱収支は、林内での日射量の減衰に加え、大気放射による受熱の効果やアルベードの効果によって、林外とは異なったものになっている。また、この流域は林内外とも風速が小さく、乱流伝達量の効果は顕著には現れていない。

2. 積雪下面流出の遅れ

林内の積雪層内には空隙が不連続に存在する。このため、林外に比べ成層状態は悪く密度も小さいが、雪質には明瞭な差異は認められない。こうした森林内外の積雪特性の違いが、融雪水の積雪内浸透特性にどう反映されるかを考える。

4 月 24~30 日におけるピークと重心の流出遅れ時間を第 11 図に示す。重心の生起時刻は日積算流量の 1/2 までが流出した時刻にとった。a は林外積雪、b は林内積雪についての結果で、いずれも日射量が最大となる 11:00 からの経過時間で表している。ピーク・重心ともに類似した変化を示すが、林内は日による変動が激しい。また、ピークと重心の遅れ時間差は林内で大きく (190 分)、林外は小さい (25 分)。積雪深を遅れ時間で除し、期間中の平均の浸透速度を求めた結果が第 4 表である。北海道北部母子里盆地の平地 (標高 290 m) における積雪深 1 m 時の浸透速度は、ピークで 50~70 cm/hr、重心で 25~40 cm/hr であり⁸⁾、これに比べると第 4 表

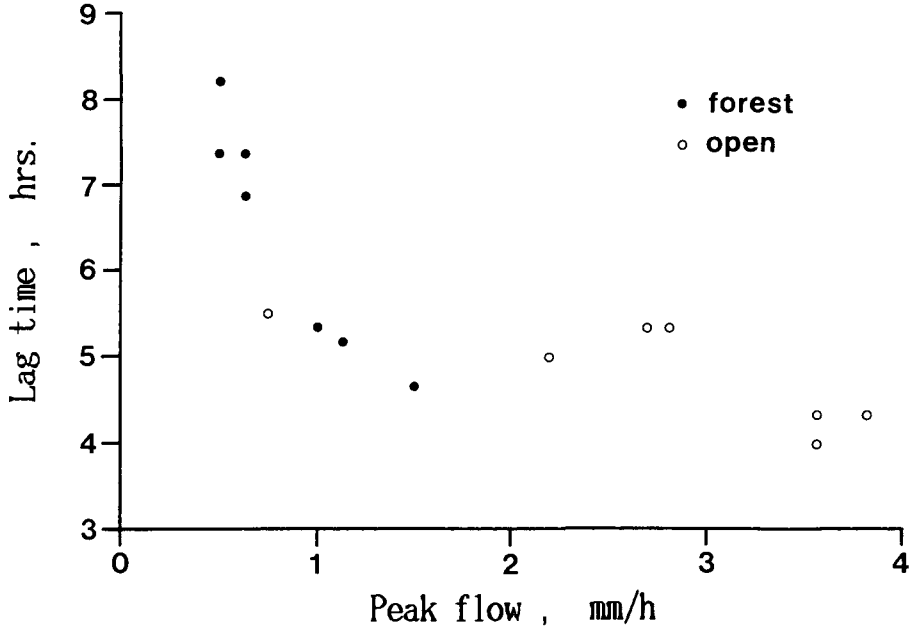


第 11 図 積雪下面でのピークと重心の流出遅れ時間の経日変化

の結果は著しく小さい。ただし、母子里の融雪最盛期の雪質は、しまり雪がざらめ化した濡れ雪である。粗粒なしもざらめ雪がざらめ化した場合、層内に空気が残存し、融雪水が浸透しづらくなることも考えられるが、詳細は今後の課題である。林内と林外の浸透速度を比べると、積雪深や密度が異なっても重心の浸透速度はほぼ等しい。

第4表 積雪内の平均浸透速度

場所	浸透速度 cm/hr		融雪水量 mm/day	積雪深 cm
	ピーク	重心		
林外	12.0	10.2	21.7	57
林内	17.4	11.4	8.5	106



第12図 ピーク流量とピーク遅れ時間の関係

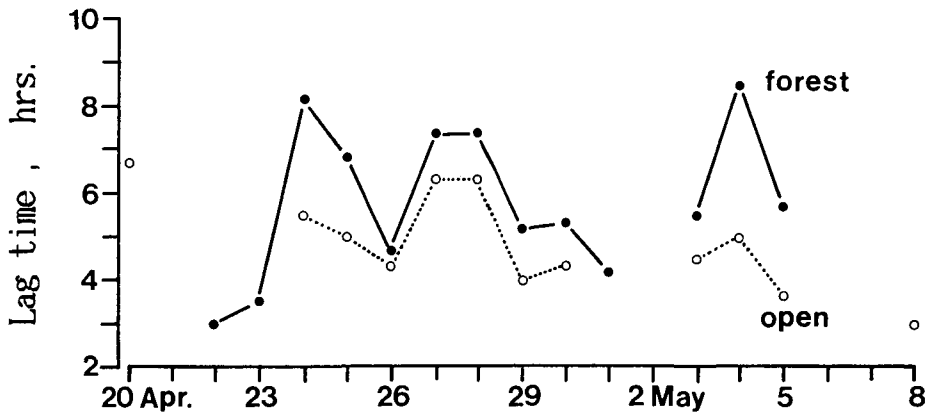
また、ピークの浸透速度は林内の方が大きい。

第12図にピーク流量とピークの遅れ時間の関係を示す。林内林外とも、遅れ時間の流量依存性が明瞭に認められる。ピーク流量が小さい場合、林外では遅れ時間があまり大きくならないが、林内では著しく増大する。

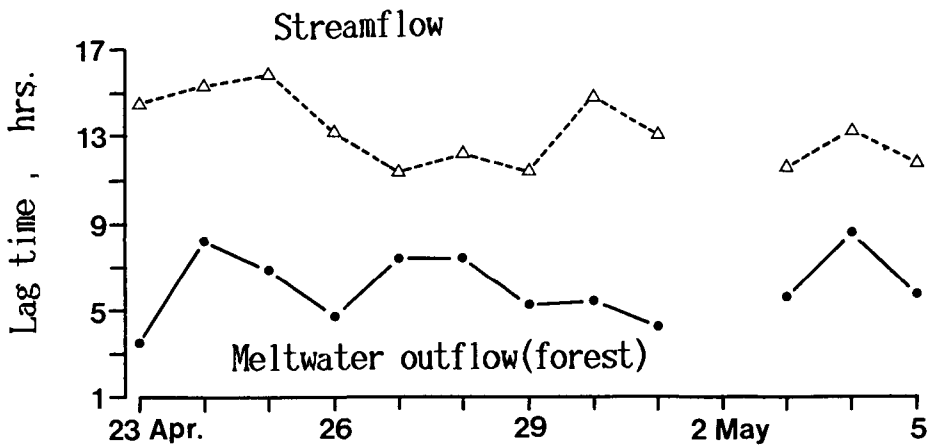
第13図に林内と林外のピーク遅れ時間を比較して示す。成層構造や密度が異なっても、遅れ特性には差が現れていない。しかし、遅れ時間の流量依存性が顕著なために、融雪水量が小さい林内では遅れがより大きくなっている。森林の存在によって融雪水量が小さく抑えられると、積雪内浸透に要する時間が長くなる上、流出遅れ時間の日による変動が激しくなる。

3. 河川流出の遅れ

河川流出の遅れは、積雪下面からの流出水が山腹斜面を流下する過程で生じる。積雪下面流



第13図 林内と林外のピーク遅れ時間の比較



第14図 河川と積雪下面流出の遅れ時間の比較

出の遅れ特性がこの過程でどの程度変質されるかを見るため、河川と積雪下面流出の遅れ時間を比較し第14図に示した。流域全域が balsam fir で覆われているので、積雪下面流出には林内の値を用いた。また、遅れ時間は 11:00 からの経過時間として表してある。両者の遅れ時間の経日変動パターンは必ずしも調和しておらず、遅れ特性の変質が明瞭である。特に、初めのうちほど変動パターンが異なっている。

林内の地表面には落葉や細かい樹枝・樹根が密に分布し、その隙間をコケ類が埋めている。このため、表層土壌はきわめて有機質に富むスポンジ状構造となっており、保水性の良い層が形成されている。融雪初期にはこの有機質層内に多量の融雪水が貯留され、貯水量が十分に大きくなると、層内で河川へ向かう throughflow が生じるようになって考えられる。第2表に示したように、河川の流出率が初めのうちは小さく、融雪が進んだ後に顕著に大きくなるのは、こうした理由によると推察される。また、流出率が大きくなるにつれて河川水の pH が急激に低下することも、有機質層内の pH の低い throughflow の流出¹⁴⁾が増すことを示しており、上の

推察を裏付けている。

河川の日流出率が100%に近づき、有機質層内の throughflow の流出が顕著な5月3~5日になると、河川と積雪下面流出の遅れ時間の経日変動パターンが調和するようになる。

森林の存在は、有機質層の形成を介して、間接的に河川流出の遅れを大きくしている。

V. ま と め

カナダ東部の北方針葉樹林地において、1991年4~5月の融雪期に、林内と林外の融雪および流出過程の比較観測を行なった。その結果、以下の点が明らかとなった。

- 1) 林内の積雪深は林外に比べ20 cm程度大きく、日本の常緑針葉樹林地とは逆の傾向であった。しかし、積雪水量は林内の方が約10%小さい値であった。
- 2) 気象要素の中では日射量と風速に森林内外差が明瞭に現れた。林内の日射量は林外の約1/4に減衰し、また、林内風速は0.1~0.2 m/sと著しく弱かった。
- 3) 林内の融雪熱収支は、林内での日射量の減衰に加え、大気放射による受熱の効果やアルベード減少の効果により、林外とは異なったものになっている。また、この流域は林内外とも風速が弱く、乱流伝達量の効果は顕著には現れていない。
- 4) 林内の融雪水量と積雪下面流出量はそれぞれ林外の約40%で、林内外とも積雪層内の水収支が1日単位で均衡している。
- 5) しもぎらめ雪からざらめ化した濡れ雪内の融雪水の浸透速度は、ピークで10~12 cm/hr、重心で10~17 cm/hrであり、しまり雪からざらめ化した濡れ雪内の浸透速度に比べて著しく小さい。
- 6) 積雪下面流出の遅れ時間の経日変動傾向には林内外の差が現れない。しかし、遅れ時間の流量依存性が顕著なために、融雪水量の小さい林内の遅れ時間はより大きくなっている。
- 7) 河川流出と林内積雪下面流出の遅れ傾向は必ずしも調和しておらず、河川流出の遅れは主に林内表層土壌の有機質層内で生じていると推察される。

森林の存在により、雪面融雪、積雪内浸透、河川流出の各過程で遅延効果が直接・間接的に表れている。今後は、しもぎらめ雪地帯における積雪内浸透や融雪流出機構を調べ、遅れ特性の変動要因を観測に基づき明らかにしていく必要がある。

この研究には1990~91年度文部省国際学術研究費(学術調査)の一部を使用した。種々の便宜をはかって頂いたケベック大学 H.G.Jones 教授、現地調査に協力して頂いた都立大大学院の五十嵐誠氏、熱収支解析に際し助言頂いた当研究所の石川信敬助教授に感謝いたします。

文 献

- 1) 保坂良悦・他 1990 壮齡スギ林内の積雪水量. 日本林学会東北支部会誌, **42**, 252-253.
- 2) 北原曜・中井裕一郎・坂本知己・斉藤武史 1991 森林内における積雪分布. 北海道の雪氷, **10**, 14-17.
- 3) 志水俊夫 1990 森林伐採が融雪流出に及ぼす影響. 雪氷, **52**, 29-34.

- 4) 太田岳史・橋本哲・石橋秀弘 1990 表層融雪量に及ぼす森林の影響に関する基礎的検討. 雪氷, **52**, 289-296.
- 5) 橋本哲・太田岳史・石橋秀弘 1992 落葉樹林が表層融雪量に与える影響に関する熱収支的検討. 雪氷, **54**, 131-143.
- 6) 鈴木啓助・石井吉之・兒玉裕二・小林大二・H.G.Jones 1992 カナダ東部, 北方針葉樹林地における融雪水の流出II—化学物質の流出過程—. 低温科学, 物理篇, **51**, 93-108.
- 7) Plamondon, A.P. 1988 The Ruisseau des Eaux-Volees forest experimental watershed, Quebec. *Can. Hydrol.Symp.*, **88**, 87-98.
- 8) 野村睦・石井吉之・兒玉裕二・小林大二 1990 融雪流出の遅れ過程I—融雪水の積雪内伝播—. 低温科学, 物理篇, **49**, 1-14.
- 9) Kobayashi, D. 1985 Separation of snowmelt hydrograph by stream temperature. *J.Hydrol.*, **76**, 155-162.
- 10) Motoyama, H. 1986 Studies of heat balance and snowmelt runoff models. *Contrib. Inst. Low Temp. Sci.*, **A**, **35**, 1-53.
- 11) 太田岳史 1992 熱収支法を用いた分布型融雪モデルによる山岳地域での積雪域変動の推定と融雪流出解析. 平成4年度日本雪水学会全国大会講演予稿集, 362.
- 12) 中林宏典・石川信敬・兒玉裕二 1992 林内の融雪熱収支特性. 平成2~3年度文部省特定研究経費報告書「寒冷積雪地域の森林が水文・気象・植物生態に与える影響の研究」(代表 小林大二), 17-43.
- 13) 兒玉裕二・竹内由香里 1991 大雪山ヒサゴ雪溪の融雪(1990). 平成元~2年度文部省科研費(一般研究B)報告書「雪溪の水循環に関する水文学的研究」(代表 山田知充・兒玉裕二), 17-30.
- 14) Roberge, J. and Plamondon, A.P. 1987 Snowmelt runoff pathways in a boreal forest hillslope, the role of pipe throughflow. *J.Hydrol.*, **95**, 39-54.