

平地雪処理技術の改善に関する研究

大沼匡之・小林一雄・高橋久三郎・村松謙生

農林省北陸農業試験場

Study on the Improvement in Techniques of Snow Disposal on Level Land

By

Tadayuki Onuma, Kazuo Kobayashi, Kyuzaburo Takahashi and Kensei Muramatsu
Hokuriku National Agricultural Experimental Station, Takada

Abstract

The input heat from the natural heat source to the snow surface in the snow thawing season is measured by separating it into the heat of net radiation and that of transfer in the atmosphere, and the distribution of the input heat flux at various places is investigated; the result shows clearly that in Japan the higher the latitude is, the larger is the distributed quantity of daily mean heat of net radiation, but as to the heat of transfer in the atmosphere, no change due to the latitude is recognized. This fact is considered to be caused by the time lag of snow thawing season owing to the latitude. From the above-mentioned it has been ascertained that the promotion of snow melting is more advantageous in high latitudes.

In the case where it is necessary to disperse a large quantity of powdered chemicals such as GA by a blackening method, the combination of a snow mobile and a lime sower is very effective, and 1 ton of the powder could be dispersed at a rate of 30 min/ha.

Comparative tests of various powdered chemicals in respect to their ability of promotion of snow thawing were done by using carbon black as a standard powdered chemical, and the results of the tests were, together with other conditions, taken into consideration for discussion of the practicability of chemicals, and a few promising powdered chemicals were examined.

The snow surface furrowing method, which increases the input heat of transfer in the atmosphere, could not accelerate the melting of snow, because the period of disposal was too early, but a snow plow which will increase the efficiency of the furrowing method was devised, and by letting a snow mobile haul this plow the experiments of elevating the efficiency of the task were carried out, and finally it could be proved that the furrowing of 1 ha was completed in a little less than an hour.

The results of investigations into the green yield in early spring on grassland by accelerating disposal of snow melting proved positively that the yield could be doubled by the acceleration of snow melting only, and also be nearly doubled by top dressing of manure.

要 旨

融雪期における雪面の自然熱源による受熱を、放射熱と伝達熱とに分離して観測し、各地の受熱配分を調べた結果、日本では高緯度（北方）ほど日平均放射熱の配分量が大きい値を示すことが明らかとなったが、伝達熱は緯度による差は認められなかった。このことは緯度による融雪期のずれによるものと考え

られる。上記から雪面黒化による融雪方法は高緯度ほど有利であることが確かめられた。

黒化法で粉材散布の方法として、GA など大量散布を要する粉材の散布には軽雪上車とライムソウの組合せによる方法が能率的で、1 ton の粉を 30 min/ha で散布し得た。

各種の粉材の融雪促進性能の比較試験を、カーボンブラックを規準粉材として行ない、その結果と他の条件を勘案して実用性を検討し、二、三の有望な粉材を探索した。

大気伝達熱の受熱を増加させる雪面ウネ立て法は処理時期が早過ぎて消雪を早め得なかったが、ウネ立て法の能率をあげるスノーブラウを考案し、これを軽雪上車で引かせて作業能率をあげる実験を行ない、1 ha のウネ立ては約 1 時間弱で済むことを実証し得た。

融雪促進処理による牧草地の早春の生草生産を調査した結果、消雪を早めただけで倍増し得、また追肥により更に約倍増しうることを確かめた。

目 次

まえがき.....	75	Ⅲ-3. 雪面ウネ立て法.....	110
I. 研究目的.....	75	Ⅲ-3-(1) 1969年山形県新庄における実験.....	110
II. 研究内容(方法).....	75	Ⅲ-3-(2) 1970年青森県弘前における実験.....	111
Ⅲ. 研究経過と結果.....	76	Ⅲ-3-(3) 1971年青森県弘前における実験.....	111
Ⅲ-1. 雪面熱収支と融雪熱源.....	76	Ⅲ-4. 新融雪粉材の探索 — 粉材の融雪促進性能試験.....	113
Ⅲ-1-(1) 1969年山形県新庄における観測.....	78	Ⅲ-4-(1) 1969年新潟県高田および妙高における実験.....	113
Ⅲ-1-(2) 1969年新潟県高田の実験.....	83	Ⅲ-4-(2) 1970年青森県弘前における実験.....	117
Ⅲ-1-(3) 1969年の融雪時の熱配分.....	84	Ⅲ-4-(3) 各粉材の融雪性能の概括.....	117
Ⅲ-1-(4) 1970年青森県弘前市外嶽農場の実験.....	84	Ⅲ-5. 融雪促進による越冬作物(牧草)の増収.....	119
Ⅲ-1-(5) 1970年新潟県高田の実験.....	85	Ⅲ-5-(1) 1970年春の実験.....	119
Ⅲ-1-(6) 1970年の融雪時の熱配分.....	87	Ⅲ-5-(2) 1971年春の実験.....	120
Ⅲ-1-(7) 1971年青森県弘前市外嶽農場の観測.....	88	Ⅲ-5-(3) 消雪後の気象が融雪促進効果におよぼす影響.....	121
Ⅲ-1-(8) 1971年新潟県高田北陸農試の観測.....	89	Ⅳ. 研究結果の要約.....	122
Ⅲ-1-(9) 1971年鳥取県大山浦山農場の観測.....	89	Ⅳ-1. 雪面熱収支と融雪促進方法.....	122
Ⅲ-1-10 1971年の融雪時の熱配分.....	90	Ⅳ-2. 散布方法の検討.....	122
Ⅲ-1-11 雪面熱収支観測の総括.....	90	Ⅳ-3. 各種粉材の融雪性能.....	123
Ⅲ-2. 散布方法に関する実験.....	91	Ⅳ-4. 雪面ウネ立て法.....	123
Ⅲ-2-(1) 1969年山形県新庄における実験.....	91	Ⅳ-5. 融雪促進による牧草の増収.....	123
Ⅲ-2-(2) 1970年青森県弘前における実験.....	98	V. 今後の問題点.....	124
Ⅲ-2-(3) 1971年鳥取県大山および青森県弘前における実験.....	103	あ と が き.....	124
Ⅲ-2-(4) 散布方法について.....	110	参 考 文 献.....	124

まえがき

農耕地や草地の融雪促進処理は雪下の越冬作物の雪害軽減，生産増強に必要であるばかりでなく，夏作物の春期作業の計画の阻害要因となる雪を早期に除去することとつながり，多雪地の安定生産を維持する必要条件である。

農地の融雪処理は大面積が対象であり，また投資効率より見て，融雪熱源は自然熱源を利用する方法を採らざるを得ない。すなわち，太陽熱の利用効率を高める方法を基礎とする融雪技術の開発となる。

自然熱源としては太陽からの直接熱源である放射熱，間接的には大気からの伝達熱がその大半を占めるもので，放射熱の雪面吸収を増すためには，雪面の反射率を低下させるために雪面に黒色系粉材などを散布（雪面黒化法）することになる。大気伝達熱の増強のためには大気と雪との接触面の拡大（雪面凹凸，雪面ウネ立て法）となる。そこでこの両方法による融雪処理技術の改善のために，この研究を行なった。

I. 研究目的

(1) 融雪促進処理は雪面における熱獲得の増進を目的として行なわれるが，自然雪面における熱収支と処理雪面における熱収支と処理雪面での獲得熱量の変化を観測し，熱獲得の実態を分析し，熱獲得の形態と気象条件の関連を検討し，地域に応じた処理技術を確立する研究を要する。

(2) 従来の研究（古川，1966；Onuma，1967）により，カーボンブラック系の粉材の融雪効率（融雪量／散布量）が高いことが知られてきたが，散布の際に作業員，器材の汚染がはなはだしいので敬遠され，これに代わる粉材を探索した結果，一応土壌改良剤が取り上げられた。しかし，カーボンに比較すれば黒さが薄いのでカーボンと同等の融雪効果を期待するには大量散布の要がある。そうすると大量散布の方法が問題となり，これが一つの研究課題となる。

(3) 雪面凹凸法におけるウネ立て作業の能率化のためにウネ立て機（スノーブラウ）を考察し，この作業の機械化を図ることも一つの研究課題となる。

(4) 雪面黒化法で使用される散布粉材は，各種

各様のものがあるが，より効果的な新しい粉材の探索もこのたびの研究の目的である。

(5) 融雪促進により早期消雪と越冬作物の生産の増加は融雪処理の最終目標の一つであるが，この点の実験的研究も課題として加えた。

II. 研究内容（方法）

各研究目的に対しておのおの次の内容の研究と実験を行なった。

(1) 寒冷，温暖積雪地における雪面受熱の相異を放射熱と伝達熱に分離して求めて，融雪受熱配分の傾向を知り，これよりそれぞれの地域に適合した融雪方法を推察し，雪処理技術を確立する基礎とする。この研究のために実験地の雪上気象要素の観測を実施する。同時にこの計算融雪量をチェックするため，日々の減雪深と積雪表層密度より融雪量を算出して比較する。

(2) 大量散布を要する融雪粉材の散布は雪上よりの機械力散布が有利であることが明らかになったので，雪上散布方式の中で効率的方法を求めめるために，軽雪上車3種，雪上車1種と，散粉機としてケイハンドスター，雪上用ライムソフワの組合せ作業について，散布所要時間，人件，経費について検討を加えて最適方法を求める。

(3) 雪面における大気伝達熱獲得には雪面と大気との接触の機会を多くすることで風速を与えることも一つの方法であるが，一般的には積雪の表面に凹凸を作る雪面ウネ立て法がよい。ウネ立て機（スノーブラウ）については馬耕用のものは研究されてきたが，軽雪上車に適したものがないのでこれを開発し，作業の能率化を計る。

(4) 雪面黒化の方法としては薄炭片，繊維，粉体，粒体などを使用することが考えられるが，作業面よりすれば粉体，粒体の散布が容易である。価格，副作用，色などを考慮すれば，土壌改良剤的な肥料が主たる散布粉材候補となる。これらの粉材数種の融雪性能をカーボンブラックと比較実験によって求め，新融雪粉材の適性を検討する。

(5) 早期消雪は越冬作物の春期生育期間延長に役立ち，生育を助長し，その生産増強に影響を与えるが，これを量的にはあくし，消雪後の気象，施肥条件との関連を求める。

以上の実験研究のために，表1のように実験場

Table 1. Experimental site and test item.

	Experimental site
First year 1969 winter	First area; Yamagata Agric. Training Center, Shinjo, Yamagata Pref.
	Second area: Yamagata Prison Mogami Farm, Yamagata Pref.
	Third area: Izumigaoka Reclaimed Farm, Shinjo, Yamagata Pref.
	Hokuriku National Agric. Experimental Station, obs. field, Takada, Niigata Pref.
	Daidohara Reclaimed Farm, Sekiyama, Myoko, Niigata Pref.
Second year 1970 winter	Dake Reclaimed Farm, Iwaki, Hirosaki, Aomori Pref.
	Hokuriku National Agric. Experimental Station, obs. field, Takada, Niigata Pref.
Third year 1971 winter	Daisen Urayama Farm, Mizoguchi, Tottori Pref.
	Dake Reclaimed Farm, Iwaki, Hirosaki, Aomori Pref.
	Hokuriku National Agric. Experimental Station, obs. field, Takada, Niigata Pref.

所と実験項目を選定した。

Ⅲ. 研究経過と結果

Ⅲ-1. 雪面熱収支と融雪熱源

雪面に融雪促進処理を行なって、自然熱の雪面における増加獲得熱を熱源として融雪を早める技

術の改善がこの研究のねらいである。それで、自然雪面における熱収支の実態を明らかにし、処理による熱収支の変化を調べる必要がある。そのために気象環境を異にする下記の地区でそれぞれの実験観測を行なった。

Test item	Geographical features	Altitude	Geog. position
(2) Dispersion	Shinjo basin, flat field	95 m	38°45'N 140°17'E
(2) Dispersion (3) Furrowing	ditto	ditto	ditto
(1) Heat balance (2) Dispersion	ditto	ditto	ditto
(1) Heat balance (4) New powder	Kubiki plains, flat field	10 m	37°06'N 138°17'E
(4) New Powder	Mt. Myoko, piedmont, slight sloping, grass land to east	480 m	36°54'N 138°13'E
(1) Heat balance (2) Dispersion (4) New powder (5) Grass increased yield	Mt. Iwaki, piedmont, slight sloping, grass land to south	400 m	40°37'N 140°15'E
(1) Heat balance (snow surface temp.)	Kubiki plains, flat field	10 m	37°06'N 138°17'E
(1) Heat balance (2) Dispersion (3) Furrowing	Mt. Daisen, piedmont, slight sloping, grass land to S. W.	450 m to 600 m	35°22'N 133°20'E
(1) Heat balance (2) Dispersion (3) Furrowing (5) Grass increased yield	Mt. Iwaki, piedmont, slight sloping, grass land to south	400 m	40°37'N 140°15'E
(1) Heat balance	Kubiki plains, flat field	10 m	37°06'N 138°17'E

年 次	期 間	場 所
第1年(1969年)	3月7日~3月28日	新潟県高田市北陸農試
	3月20日~4月10日	山形県新庄市泉ヶ丘
第2年(1970年)	3月20日~4月13日	新潟県高田市北陸農試
	4月2日~5月2日	青森県岩木町嶽農場
第3年(1971年)	2月13日~3月21日	新潟県高田市北陸農試
	2月27日~3月2日	鳥取県大山山ろく溝口町浦山農場
	3月20日~4月17日	青森県弘前市外岩木町嶽農場

Ⅲ-1-(1) 1969年山形県新庄における観測

1969年冬実験時の気象的背景は次のようにあげられる。図1の積雪、気温の経過図に見られ

るように、気温経過は平年値に対して、12月下旬(43年)に低温で以後2月中旬まで平年並かやや高目に過ぎ、実験を始めた2月下旬には特異的低温となり、3月、4月と低温気味で経過した

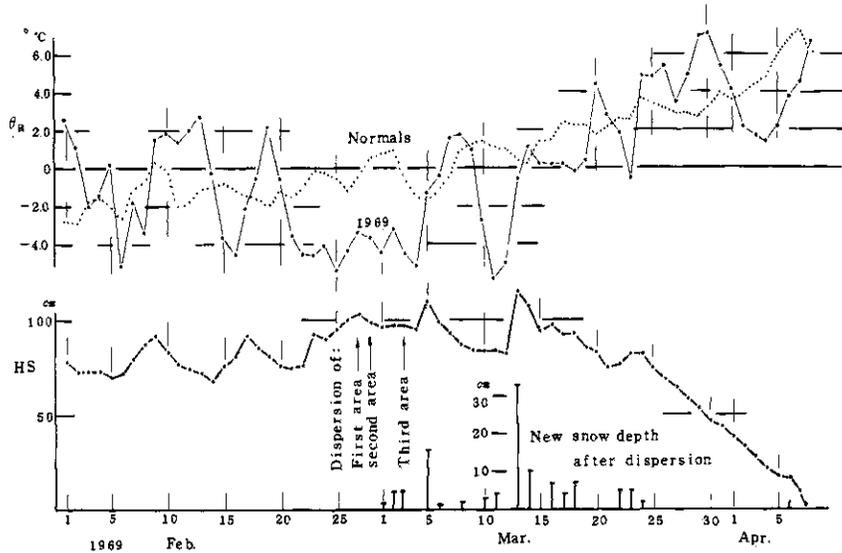


Fig. 1. Change of the depth of snow cover HS and the air temperature θ_a , 1969, Shinjo (Shinjo Weather Station).

積雪は1月中旬に最深を示し、2月下旬に向かって次第に低下し、2月下旬より3月上旬の気温低下時に再び降雪があり、第2の山を作るという異常年であった。このために散布処理後に20、30 cmの降雪を見たため融雪促進効果は著しく阻害された。

(A) 気象観測の項目とその方法

1969年冬は測器の都合上、自然雪面の熱収支を観測するだけにとどめ、散布面の観測を割愛した。観測場所は泉ヶ丘(第3地区)であり、第1、第2地区に7~6 km 離れ、標高(95 m)、地形がほとんど同じ場所である。(図2参照) 観測項目は下記で、自記記録とした。

- 気温 (θ_a) : Ni 抵抗式;
- 水蒸気圧 (e_a) : デュセル露点温度方式;
- 風速 (U_a) : 三杯式;
- 降水 (P) : 電熱転倒型;
- 日射 (R_s) : 農試電試型;
- 純放射 (S_s) : Funk 示差放射型。

気温、湿度(露点温度)は地上1.75 mの百葉

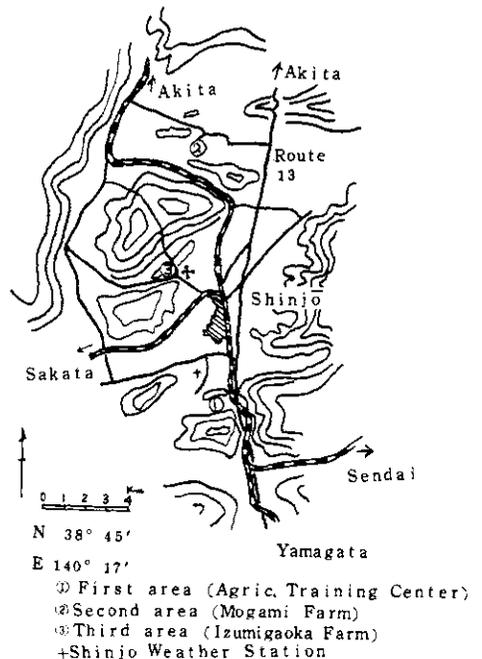


Fig. 2. Experimental fields, 1969, Shinjo, Yamagata Pref.

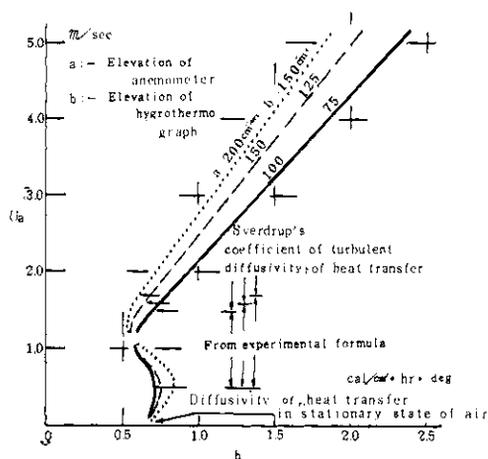


Fig. 3. The relation between the wind speed (U_a) and the coefficient of sensible heat transfer on the snow surface (h).

箱内、風速は地上 2 m の支柱上で観測した。しかし、雪面の上下により雪面上の観測位置（高さ）を下表のように修正した。

雪面上の観測位置 (m)

項目	期間	3月3～25日	3月26～31日	4月1～10日
気温・湿度		0.75	1.25	1.75
風速		1.00	1.50	2.00

日射量は地上 2.3 m、純放射量は雪面上 1.2～1.5 m に適宜調整して観測した。

(B) 自然雪面の熱収支

雪面に出入する熱量を次の項目に分離して、全実験期間にわたって、1 時間ごとまたは R_s, S_s は 30 分ごとに算出した。

大気伝達熱 $\left\{ \begin{array}{l} \text{顕熱伝達熱量 } L, \\ \text{潜熱伝達熱量 } lE, \end{array} \right.$
放射熱 $\left\{ \begin{array}{l} \text{日射量 } R_s, \\ \text{純放射量 } S_s. \end{array} \right.$

(a) 大気伝達熱の算出

大気の安定が中立状態として、風速が小さくない条件では Sverdrup の雪面上の乱流熱輸送の

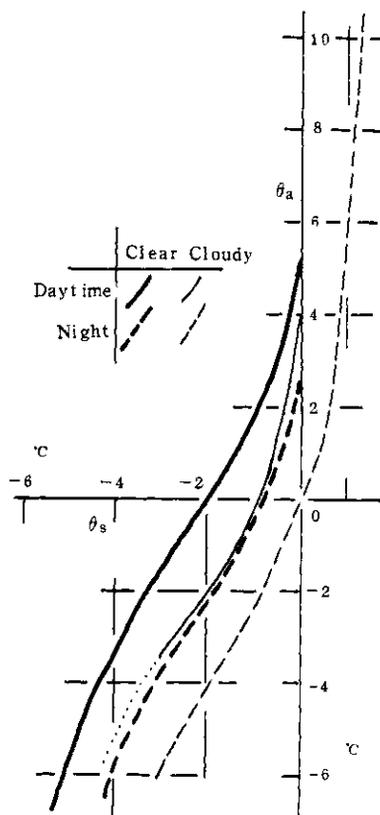


Fig. 4. The relation between the air temperature (θ_a) and the snow surface temperature (θ_s). The surface snow was "zarameyuki (granular snow)," observed in 1970 at Takada.

理論式 (Sverdrup, 1934) が野外実験でも成立することが明らかになり、また弱風の場合は下記のように風速の関数によって示される係数を用い、無風の場合は熱拡散による伝達として熱輸送を取扱うのが妥当である (Onuma, 1967) とされているので、この場合も前記の方法を採用して大気伝達熱量の算出を下記の方法で行なった。

$$L = h(\theta_a - \theta_s),$$

$$lE = k(e_a - e_s);$$

h : 顕熱伝達係数; θ_s : 雪面温度; k : 潜熱伝達係数; e_s : θ_s の飽和水蒸気圧. h は Sverdrup によって下式で示されるので、限界風速 $U_l = 1.5 \text{ m/sec}$ (3月3日～25日), 1.6 m/sec (3月26日～31日), 1.7 m/sec (4月1日～10日) 以上の場合にこの h を用い

た。

$$h = c_p \cdot \rho \cdot k_0^2 U_a / \{ \ln(a/z_0) \cdot \ln(b/z_0) \} \times 10^{-4} \text{ cal cm}^{-2} \text{ sec}^{-1} \text{ deg}^{-1};$$

c_p : 空気の定圧比熱………0.24 cal·g⁻¹;
 ρ : 空気の密度………0.00129 g·cm⁻³;
 k_0 : カルマン定数………0.38;
 z_0 : 雪面の粗度………0.25 cm;
 U_a : 雪面上 a の高さの風速……m·sec⁻¹;
 a, b : 風速計と温度、露点温度計の雪面上の高さ………cm.

なお、水蒸気輸送も熱輸送と同じ形で行なわれる (Sverdrup, 1934; Geiger, 1965) 昇華過程では、 $k_s = 1.53h$ 。ただし、0℃の氷の昇華潜熱を677 cal·g⁻¹。凝結過程では、 $k_c = 1.74h$ 。ただし、0℃の水蒸気の凝結潜熱を597 cal·g⁻¹として計算した。

風速が弱く、上記の限界風速 (U_L) 以下で0.5 m/sec 以上の場合、文献 (Onuma, 1967) による手法を用い、下記の h を使用した。

$$h = 0.85 \{ 1 + 2.03 (U_L - U_a)^2 \} U_a \times 10^{-4} \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1} \cdot \text{deg}^{-1}.$$

ただし、 U_L は3月3日～25日には1.5 m/sec、3月26日～31日には1.6 m/sec、4月1日～10日には1.7 m/secとする。風速が0.5 m/sec 以下の場合は無風の場合の拡散熱輸送量 $1.78 \times 10^{-4} \text{ cal} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{sec}^{-1} \cdot \text{deg}^{-1}$ (小口, 1954) に移行する h を採用した。

上記の各風速段階における風速 U_a と h の関係を図3に示した。

雪面温度の観測は実施しなかったため、高田で行なった赤外線温度計による雪面温度と気温との関係より、雪面温度の推定値を用いた。

雪面温度は気温だけに支配されるものでないが、気温との相関が強いだろうということは前からいわれてきた (Wilson, 1940)。また、朝夕の気温0℃以上の際の雪面凍結より見て、雪面温度は放射の影響を強く受けることが予想される。われわれは予備的実験として、高田市北陸農業試験場で、赤外線温度計によって雪面温度を測定して、気温との関係を調べてみた。その結果、気温との相関がめいりょうであるが、天候、昼夜にグループ分けをすればさらに相関性が高まることが認められた。これは明らかに放射との相関を意味するものである。雪面温度を規制する要素は気温 (百葉箱)、放射以外に風、水蒸気圧、雪面状況

なども考えられるが、昼夜、晴曇をパラメータとして、雪面温度と気温の関係図を作ればプロットはバラックが、図4に示す関係曲線となる。プロット60%がこの曲線の±0.5℃の範囲におさまるので、雪面温度推定曲線として一応満足すべきものとして採用したものである。

雪面温度測定にはBarnes社のIT-3S型を使用した。この測器の感度は0.5℃で応答速度は0.1秒として測定したものである。従来、融けつつある雪面は0℃と見なしてきたが、曇天の夜は+1℃まで観測され、晴天の昼は気温0℃で-2℃、気温5℃で0℃に達することが図示されている。

(b) 雪面熱収支の日変化

上記の観測とそれより算出された自然雪面の熱収支の各項の変化を図示したものが図5(a)(b)(c)である。各図には参考のために、日射量 (R_s) と気温 (θ_a) を書き込んである。図5(a)は晴の日の3月8日の場合を示したもので、この日は夜半の晴天が早朝にかけて曇となり、10時ごろまでにわか雪、その後11時より晴天が続くという天候であった。0～6時までは気温が-2～-3℃であったが、大気伝達熱量 Q_s は、雪面温度が低かったため正の値を採り、6～9時にかけて雪面温度の上昇とともに Q_s は負となり、9時以降は図で見られるように正となり、夜に入るとともにほとんど0になった。放射熱 S_s は夜中は常に負で、日中は10 cal/cm²·h 台となった。特徴的なことは早朝と夕刻に S_s の負の値が大きく -6 cal/cm²·h 台となっていることである。

0～24時までの合計値では Q が2.4.3、 S_s が1.6.8で、融雪熱の合計は4.1.1 cal/cm² となり、水量にして約5 mm の融雪が行なわれたことになる。

上の例に反して、図5(b)に3月12日の降雪日の Q_s 、 S_s の日変化を示したが、前夜からの冷却がはなはだしく-10℃より1日かかって-1℃まで上昇し、その間 Q_s は少ないながら雪面受熱の形で示された。雪降りのため日射量は3.5.1 cal/cm² という少ないもので、もっぱら長波の逆放射により S_s は終日負となり、1日の合計では、 Q_s は9.2、 S_s は-2.0.4 差引き-1.1.2 cal/cm² となり、融雪はなかったものと見られる。

図5(c)の例は3月26日快晴の日で、図に見られるように日射量 R_s は493.5 cal/cm² と大

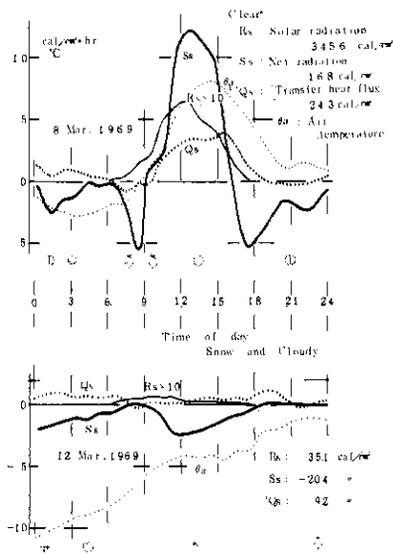


Fig. 5(a,b). Diurnal change of heat balance on snow surface.

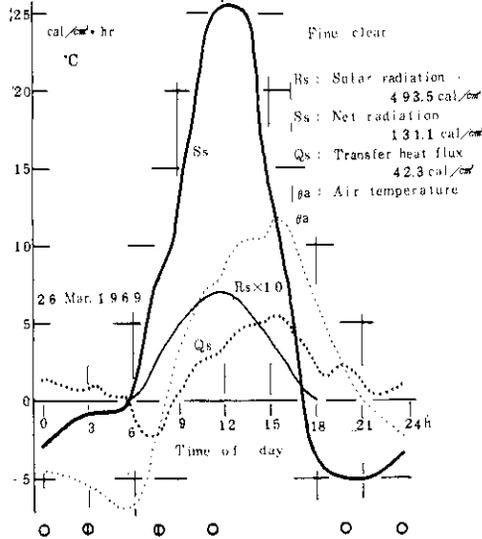


Fig. 5(c). Diurnal change of heat balance on snow surface.

きな値をとっているか、それにもまして、 S_s が 131.1 cal/cm^2 と大きく、3月8日の R_s が 345.6 に対して S_s が 24.3 と比較して、極端に大きくなっている。これは雪面アルベド α_s が、残雪期に入り小さくなったためである。日合計量は、 Q_s では 42.3 、 S_s は 131.1 、総受熱量は 173.4 cal/cm^2 で融雪量として(水量とし

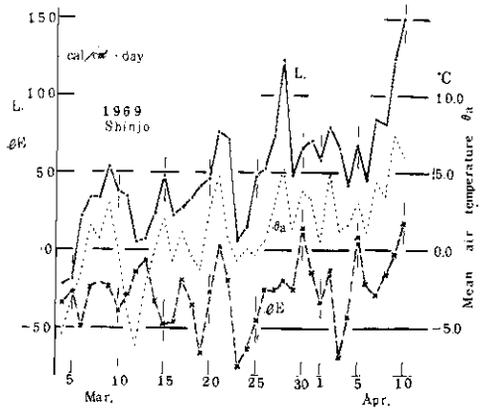


Fig. 6. Change of the input sensible heat flux (L) and the latent heat flux (LE) on the snow surface in a day (from 9 h of a day to 9 h of next day).

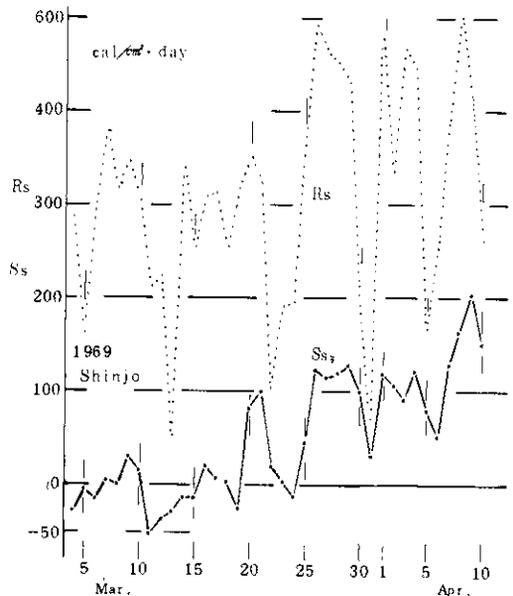


Fig. 7. Change of the input net radiation heat flux (S_s) on the snow surface and the solar radiation heat flux (R_s) in a day (from 9 h of a day to 9 h of next day).

て) 20 mm 以上あったものと見られる。

(c) 大気伝達受熱量の変化

顕熱伝達熱量 (L) の日量(前日9時~当日9時)を図6に示したが、3月始めよりほぼ1週間ぐらいの周期で波打って上昇し、観測日の翌々日の3月5日までは負の値を示し、以降は日量に

して常に正(雪面受熱)の値を示した。参考のために24回平均の日気温を点線で書き入れてあるが、気温変化と相似の形を保って経過している。(成瀬, 1970)。これに対して潜熱伝達熱量(LE)は期間中ほとんど負の値を示し、雪面は昇華・蒸発の過程が多いことを意味している。このため雪面は失熱して LE は融雪を制限し、積雪はこのために差引き約16mm消失したことになる。

期間中の L の総量 $\Sigma L = 1892 \text{ cal/cm}^2$,
 期間中の LE の総量 $\Sigma(LE) = -1024 \text{ cal/cm}^2$,
 期間中の $L + LE = Q_s$ の総量 $\Sigma Q_s = 868 \text{ cal/cm}^2$.

(d) 放射受熱量の変化

図7に日射量(R_s)と純放射量(S_s)の日量変化を示したが、日射量は3月20日ごろまで $300 \text{ cal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{day})$ 付近を上下し、3月25日以降は $400 \text{ cal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{day})$ 前後に上昇した。これに対して S_s は3月25日まで負か、あるいは0の上下を浮動してきたが、25日より次第に昇り、 $150 \text{ cal}/(\text{cm}^2 \cdot \text{day})$ 台になっている。

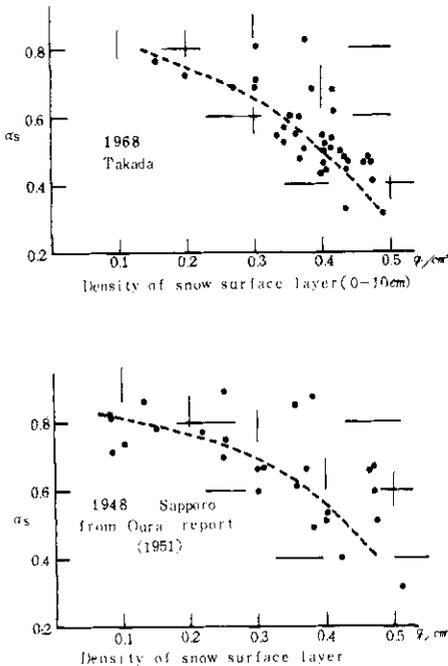


Fig. 8. The relation between the density of snow surface layer and the albedo on snow surface (α_s).

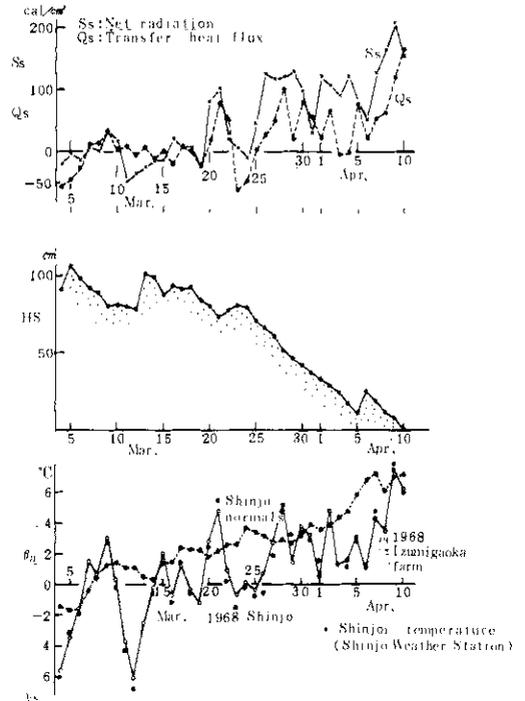


Fig. 9. Change of the input heat flux on the snow surface in a day (from 9 h of a day to 9 h of next day), the snow depth (HS) and the air temperature (θ_a) at Izumigaoka Farm, Shinjo, Yamagata Pref., 1969.

S_s は

$$S_s = R_s(1 - \alpha_s) - R_e$$

で表わされるが、 S_s が増大するには、 α_s 、または R_e が減少しなければならない。ここでは α_s は自然雪面のアルベド(短波反射率)で、 R_e は長波の有効放射である。 α_s の測定は行なわなかったのでその変化はわからないが、時期が進むにつれて雪面密度の増大とともに粒子構造が大きくなるので α_s が小さくなる(大浦, 1951)ことと雪面の汚れが考えられる。(図8参照)

R_e は一般に雪面から放熱として作用するが、昼夜ともに晴天に増大する傾向があるので、時期が進むにつれて大きくなる可能性はあるが限界がある。

S_s の増加は R_s の上昇でも行なわれ、事実

R_s が前記のように上昇している。結局 S_s の増大は R_s の増加と α_s の減少が支配するものと見られる。

期間中の雪面放射受熱量の総量 $\Sigma S_s = 2001 \text{ cal/cm}^2$ となった。

(e) 自然雪面の熱収支

自然雪面の融雪受熱量は大気伝達熱 ($L + LB = Q_s$) と純放射熱 (S_s) で与えられるが、各熱量の日量変化を図9に示したが降雪が断続的に続いた3月20日までは両者ともに0付近、あるいは

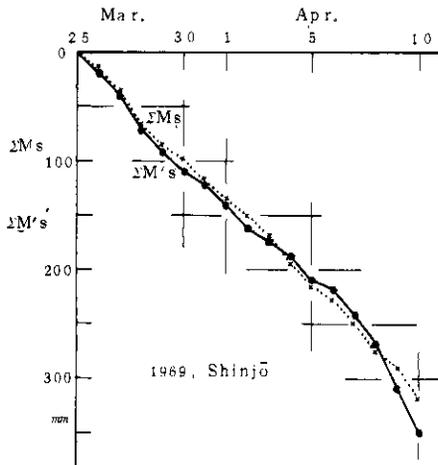


Fig. 10. Comparison between the calculated values (ΣM_s) and the measured values ($\Sigma M'_s$) of the sum of water equivalents of melting snow.

0以下の値を示したが、20日よりプラスがまさり融雪がさかんに行なわれたことを示している。

(f) 雪面受熱量と実際の融雪量

気象観測結果を資料として、これより計算された(c)の雪面受熱量による計算融雪量と実際の融雪量の合致性を調べるために本格的融雪が開始された3月25日以降より消雪日の4月10日の期間について比較してみる。

実際の融雪量は前日9時より当日9時までの減雪の深さに積雪表層(10 cm)の密度を乗じて求めた値を採ったものであり、その結果を表2に示してある。毎日の推定融雪量 M' と計算融雪量 M とは十分には一致しない。その誤差の原因は積雪の深さの読みと密度のパラッキ、含水量の不同

によるものと考えられる。これは融雪期の雪面の凹凸による不齊からくる。しかし、この誤差は積算によって打ち消される性質のものである。それで M, M' の積算値をとって見る。この関係を図10に示す。図で見られるように、計算と実例値とはよく一致している。9日、10日のひらきは消雪直前で積雪の不齊によるものと考えてよいものと思われる。

この期間中の ΣQ と ΣS_s を比較すると、34:66となり、放射による融雪が2倍近くになっており、寒冷地では雪面黒化法の融雪促進が雪面凹凸法よりも熱的に有利であることを示唆しているものと考えられる。

III-1-(2) 1969年新潟県高田の実験

1969年冬の融雪期は新庄と同様に平年よりやや低温に経過し、3月中旬にも10 cm前後の降雪があったが融雪はほぼ順調に経過した。

(A) 気象観測の項目とその方法

観測の項目は新庄の場合と同じであるが、観測方法が異なる点がある。高田の実験は北陸農業試験場気象観測露場にとりつけてある測器をそのまま利用した。異なる点は次のとおりである。

項目	測器
風速 (U_a)	エーロペン, 地上高6 m
日射 (R_s)	エプリー形日射計
純放射 (S_s)	JMA形放射計(63型)(風防ポリエチレンドーム使用) 雪面上約1 mに調節し, 上向き, 下向きの放射量の観測より純放射量を求める。

(B) 自然雪面の熱収支

融雪期と見なされる3月3日より3月28日の消雪日までの雪面放射熱量 (S_s) と大気伝達熱量 (Q_s) の観測結果を示したものが図11で、同図の S_s, Q_s は前日9時より当日9時までの日量を示し、これと対応して積雪の深さ、気温の経過を図示した。3月11, 13日の降雪日には低温、寡照で、 Q_s, S_s とともに低い値を示し、 Q_s 量は最下図の日平均気温とほぼ追従していることがうかがえる。

Table 2. Comparison of experimental values (M'_s) and calculated values (M_s) (in water equivalents of melting snow).

Date	Mar. 25	26	27	28	29	30	31	Apr. 1
Snow cover depth (HS in cm)	70	66	60	51	46	42	37	33
Decrease of snow cover depth (ΔHS in cm)		4	6	9	5	4	5	4
Snow cover density of surface layer (ρ in g/cm ³)		0.345	0.35	0.36	0.35	0.34	0.41	0.385
Water equivalent of melting snow (M'_s in mm)		13.8	21.0	32.4	17.5	13.6	20.5	15.4
($\Sigma M'_s$ in mm)		13.8	34.8	67.2	84.7	98.3	118.8	134.2
Transfer heat flux on the snow surface (Q_s in cal/cm ²)		27.6	49.3	104.3	22.6	81.2	57.4	23.6
Net radiation heat flux on the snow surface (S_s in cal/cm ²)		127.5	119.0	121.2	128.1	99.9	30.6	121.2
Heat flux for melting snow ($Q_s + S_s$ in cal/cm ²)		155	165	226	153	181	88	145
Water equivalent of melting snow $M_s = (Q_s + S_s) / 8$ mm		19.4	20.6	28.2	19.1	22.6	11.0	18.1
(ΣM_s in mm)		19.4	40.0	68.2	87.3	109.9	120.9	139.0

*On Apr. 6, $M'_s = M_s$

III-1-(3) 1969年の融雪時の熱配分

新庄と高田の融雪時の Q_s , S_s の積算値を図12に示したが、緯度の高い新庄では放射受熱量 ΣS_s が優勢で、大気伝達受熱量 ΣQ_s が少ない。これに反し、低緯度の高田ではこの関係は新庄ほどに顕著ではなく、 ΣS_s と ΣQ_s の配分は接近している。

この図を見れば、新庄、高田ともに初期には雪面受熱が負となり融雪に貢献していないことがわかる。雪面受熱が正となるのは、新庄では3月20日、高田では3月6日以降であり、これからが真の融雪期と見られる。この期間の受熱は次のようになる。

	新庄	高田
放射熱量 S_s	2031.1	2063.5 cal/cm ²
伝達熱量 Q_s	961.5	1626.5 cal/cm ²

III-1-(4) 1970年青森県弘前市外嶽農場の実験

45年春は各地ともに大雪で消雪がおくれ、融雪の実験には好条件であった。気温経過は3月下旬後半より4月上旬前半に一時低温が入った以外はほぼ平年なみに経過し、融雪時の新積雪も少なかった。

(A) 気象観測の項目とその方法

1970年より自然雪面上の観測に加えて、融雪粉材散布雪面上の観測も行なった。自然雪面上の観測項目と使用測器は前年の新庄の場合と同じで、これに雪面上5cmの気温の記録を追加した。10×10mの雪面にグリーンアッシュ100g/m²散布区を作り、その中心に自然雪面と同様の純放射計、短波反射計(アルベド計)をとりつけ、散布雪面上5cmの気温の観測も行なった。

2	3	4	5	6	7	8	9	10		
29	24	17	11	25	19	12	8	0		
4	5	7	6	-14	6	7	4	8		
0.36	0.40	0.33	0.38	0.30	0.37	0.39	0.36	0.38		
14.4	20.0	23.1	22.8	(9.3)*	22.2	27.3	14.4	30.4		
148.6	168.6	191.7	214.5	223.8	246.0	273.3	287.7	318.1	total	ratio
67.6	-3.8	-1.2	77.2	23.4	55.8	65.6	122.0	164.8	937.4	34:64
108.6	92.1	111.0	80.4	50.7	123.9	167.4	208.5	164.1	1854.2	
176	88	121	158	74	186	233	331	323		
22.0	11.0	15.1	19.7	9.3	23.2	29.1	41.4	40.4		
161.0	172.0	187.5	206.8	216.1	239.3	268.4	309.8	350.2		

(B) 自然雪面の熱収支

図13に3月27日より5月2日の消雪日までの自然雪面放射熱量(Q_s)と大気伝達熱量(Q_p)の日量を1969年の実験例と同様に示した。同図の最下図に日平均気温の経過図を付したが、実験地の嶽農場の過去の観測がないので、1970年冬の気象経過の平年比を見るために弘前気象通報所の資料より平年気温と1970年の比較をしてあるが、4月1日前後2~3日間低温であったほかは平年並と見られる。

雪面受熱は前記低温時と4月13日の降雪時に低下したが、他は暦日とともに上昇していることが図示されている。

の数倍、日数の経過とともに倍率が低下し、散布後10日で約3倍、20日で約2.5倍、終末では約2倍となっている。この傾向は文献(古川, 1966)でも報告しているが、低下の理由は散布粉材の雪面における泳動による(本報告書の木村の報告に詳述の予定)雪面被覆率の変化と、雪面の自然汚染ならびに雪粒子の増大による雪面反射率の変化に起因する現象である。散布雪面は自然雪面よりも固定した測器(風速計, 気温, 湿度計)に対して低下が早いので、これを考慮して大気伝達熱量(Q_p)を算出したが、自然雪面のもの(Q_s)とほとんど同じであるので、大気伝達熱による受熱は同等と見なした。

(C) 散布雪面の熱収支

図14に散布雪面の放射受熱量の積算値を自然雪面に対比して示したが、散布直後には自然雪面

Ⅲ-1-(5) 1970年新潟県高田の実験

高田は最近の積雪としては大雪の年で、消雪日の平年値は3月末となっているのに1970年冬

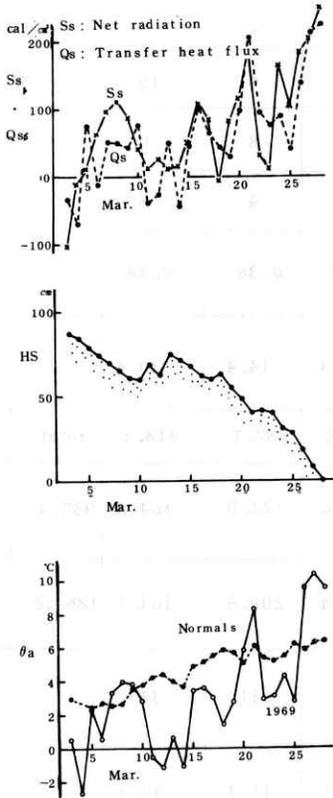


Fig. 11. Change of the input heat flux on the snow surface in a day (from 9 h of a day to 9 h of next day), the snow depth (HS) and the air temperature (θ_a) at observation fields in Hokuriku National Agricultural Experimental Station, Takada, Niigata Prefecture, 1969.

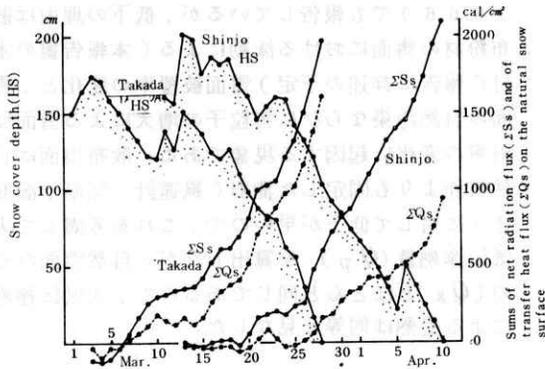


Fig. 12. Distribution of the heat flux on the natural snow surface in the thawing season, 1969, at Shinjo and Takada.



Photo 1. Meteorological observing tower: right tower (from upper, anemometer, actinometer shelter [thermometer, dew-point hygrometer], left arm [net radiation meter, albedo meter], dry air pump); left tower (on the dispersion plot) (left arm [net radiation meter, albedo meter], dry air pump); right tip (precipitation gauge).

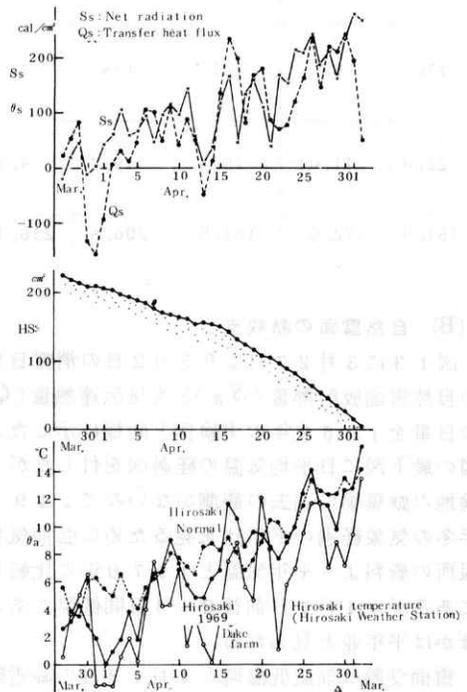


Fig. 13. Change of the input heat flux on the natural snow surface in a day (from 9 h of a day to next day), the snow depth (HS) and the air temperature (θ_a) at Dake Farm, Hiroaki, Aomori Pref., 1970.

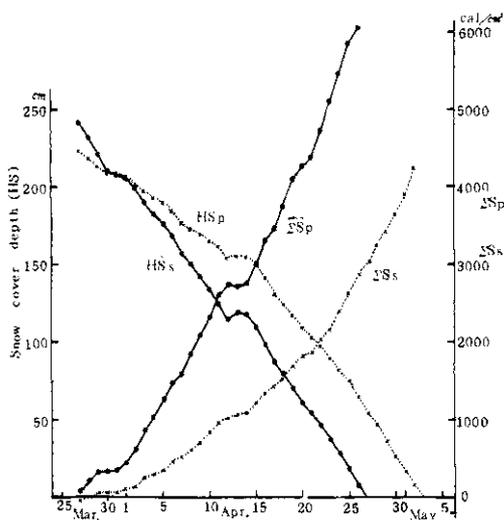


Fig. 14. Change of sums of net radiation heat flux on the natural (ΣS_n) and the dispersion (ΣS_p) snow surfaces, 1970, Hirosaki, amount of dispersion being $10.0 \text{ kg}/10 \text{ a}$ (Green ash).

は3月下旬に約1mの積雪があり、消雪は約半月おくれとなった。

(A) 気象観測の項目とその方法

高田における標記の事項は前年と全く同じである。

(B) 自然雪面の熱収支

3月20日より4月13日の消雪日までの S_s 、 Q_s の観測結果を図15に示したが、 S_s に対して Q_s が大きいことが知られる。 Q_s の内容を見ると顕熱伝達熱量(L)に対して、雪面受熱では負として働く傾向の強い潜熱伝達熱量(LE)が小さかったために Q_s が増大したものである。同図の最下図の日平均気温の経過を見ると平年より3℃も低いのに Q_s が比較的大きい値を示した理由は、平年値に関する問題の一つである。この時期には平年は積雪がないので雪上の気温より高目に現われるので、1970年冬の気温との差が大きくなったことがあげられる。第二は前記のように潜熱伝達熱が正となる機会が時期が進むにしたがって多くなる(中村, 1966)ので、結果として気温が低い割合に大気伝達熱 Q_s が大きくなることである。

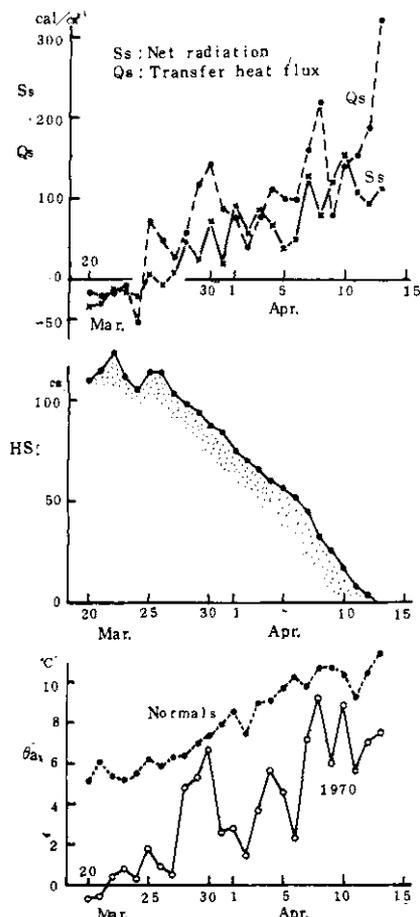


Fig. 15. Change of the input heat flux on the snow surface in a day (from 9 h of a day to 9 h next day), the snow depth (HS) and the air temperature (θ_a) at observation fields in Hokuriku National Agricultural Experimental Station, Takada, Niigata Pref., 1970.

III-1-(6) 1970年の融雪時の熱配分

図16に第2年に実験した弘前と高田の S_s と Q_s の積算値を示したが、弘前は前年同様に ΣS_s が ΣQ_s より優勢であるが、高田は逆転して ΣQ_s が ΣS_s を上回っている。

融雪のための受熱が活発に行なわれて、真の融雪期に入ったのは弘前では4月2日、高田では3月25日と見られる。この期間の受熱は次のようになる。

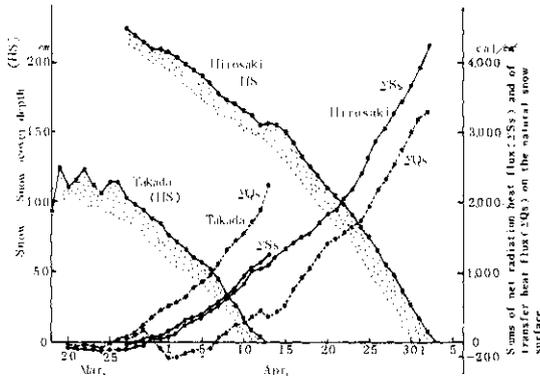


Fig. 16. Distribution of the heat flux on the snow surface in the thawing season, 1970, at Hirosaki and Takada.

	弘前	高田
放射熱量 S_s	4198.3	1348.0 cal/cm ²
伝達熱量 Q_s	3378.6	2311.5 cal/cm ²

Ⅲ-1-(7) 1971年青森県弘前市外嶽農場の観測

1971年冬の気温経過はほぼ平年並で、実験期間もほぼ平年値を上下する気温を示した。しかし、積雪は1970年より大幅に少なく、消雪が進み、1970冬より半月も早くなった。

(A) 気象観測項目および方法

雪上5cmの気温観測を省略し、自然区、散布区の地温上昇経過を見るために地下5cmの地温観測を加え、また、散布区の接地面の熱流変化を観測する熱流板を設置した。その他は1970年と全く同様である。

(B) 自然雪面の熱収支

図17に観測結果を積雪、気温の経過とともに示した。放射受熱は日射(B_s)の変化を追従する形で変化し、伝熱受熱は図で見られるように気温と相関の強い変化を示した。

(C) 散布雪面の熱収支

図18で見られるように、散布区と自然区との間にはじめより積雪の深さに差があったので、両区の消雪日の差は4日しかなかったが、散布実験地は10~12日の融雪促進が行なわれた。

散布区には1970年と同様にグリーンアッシュを100 g/m² 散布した。

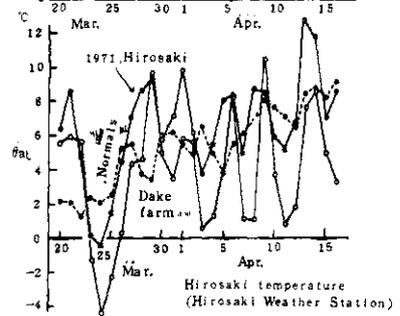
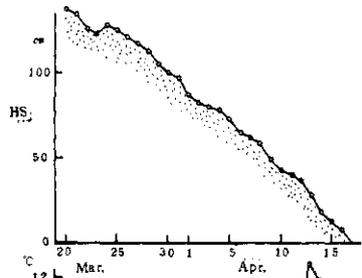
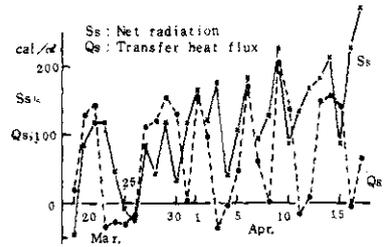


Fig. 17. Change of the input heat flux on the snow surface in a day (from 9 h of a day to 9 h of next day), the snow depth (HS) and the air temperature (t_a) at Dake Farm, Hirosaki, Aomori Pref., 1971.

両区の放射受熱の積算値($\sum S_p, \sum S_s$)を図示してあるが、3月23~26日に寒気が入り、23~24日に降雪があって、日射量よりも雪面からの有効放射がまさって純放射が負を示したので、両区ともに積算値の増加が停止した。散布3日後に散布区も新積雪でおおわれて $\sum S_p$ の増加が一時停滞したので、 $\sum S_p$ の $\sum S_s$ に対する倍率は余りあがらずにほぼ2倍前後の値で消雪に至った。

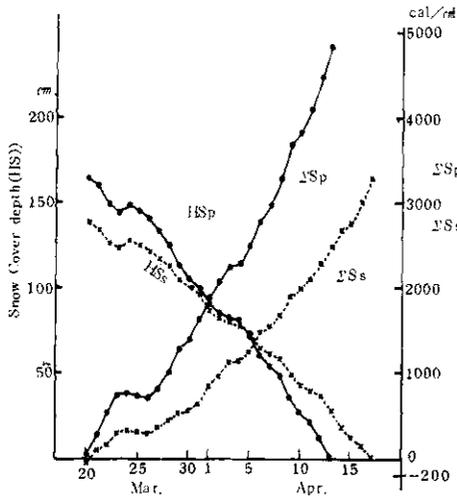


Fig. 18. Change of sums of net radiation heat flux on the natural (ΣS_s) and dispersion (ΣS_p) snow surfaces, 1971, Hirosaki, amount of dispersion being 100 kg/10 a (Green ash).

Ⅲ-1-(8) 1971年新潟県高田北陸農試の観測

2月中旬より融雪期に入り、周期的な低温がきたが、3月第1半旬まで平年より高温に経過したので3月2日に積雪は消えた。しかし、3月5日より寒冷が入り、平年の約3~4℃の低温が約10日間続き、その間に再び雪となった。

(A) 気象観測項目および方法

標記は1969年, 1970年と全く同じである。

(B) 自然雪面の熱収支

2月後半の積雪の深さの変化と自然雪面の伝達受熱の変化を図19で対比すればわかるように、この期間の融雪熱源は伝達熱に支配されたことがわかる。3月2日~4日は無雪期で地面が現われたため、反射率が低くなり、放射熱量が急上昇し、また気温も高かったので伝達熱量も大きな値を示した。3月5日以降は低温来襲により、事情が逆転し、図示のように3月6~7日には150 cal/cm²以上の伝達冷却が行なわれ、地温も0℃以下となった。

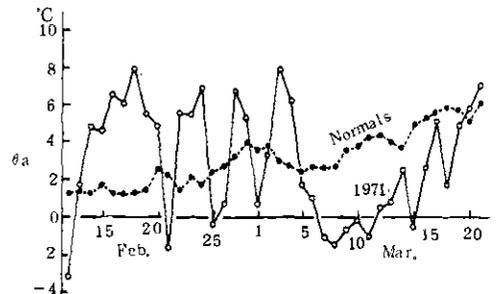
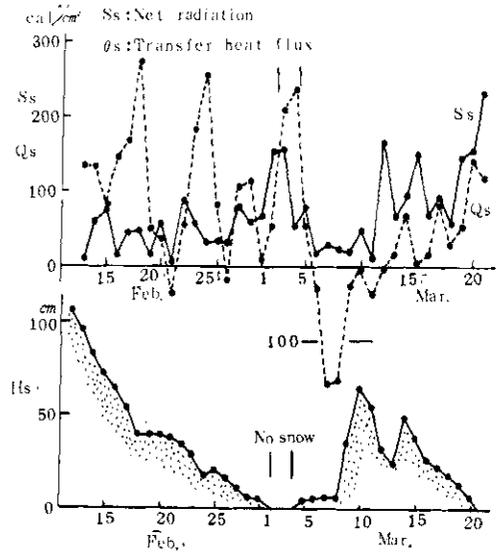


Fig. 19. Change of the input heat flux on the natural snow surface in a day (from 9 h of a day to 9 h of next day), the snow depth (HS) and the air temperature (θ_a) at observation fields in Hokuriku National Agricultural Experimental Station, Takada, Niigata Pref., 1971.

Ⅲ-1-(9) 1971年鳥取県大山浦山農場の観測

1971年2月は山陰地方大雪の年であり、大山山ろくも多雪に見舞われたが、その後の高温のために急激に積雪を減じ、実験予定日には気象観測地の浦山農場では10 cm程度の積雪となった。ここより標高の高い融雪促進実験地区も20 cm前後の積雪を残すだけで、十分な実験条件ではなかった。

(A) 気象観測項目および方法

観測項目は他の実験地区と同じであり、測器は1971年冬の弘前の場合と同じである。

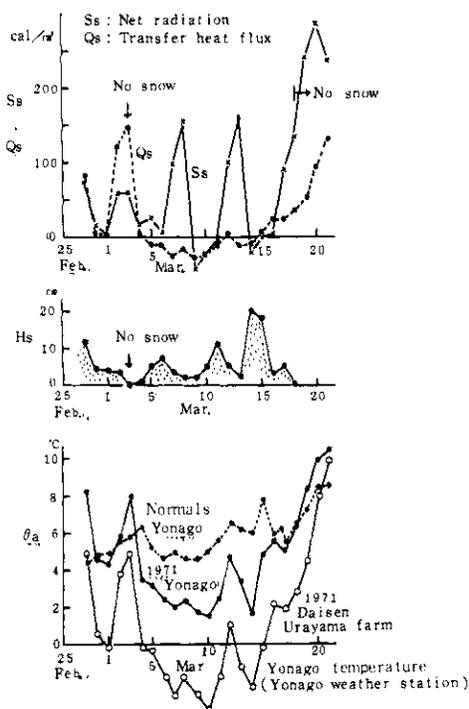


Fig. 20. Change of the input heat flux on the snow surface in a day (from 9 h of a day to 9 h of next day), the snow depth (HS) and the air temperature (θ_a) at Urayama Farm, Daisen, Tottori Pref., 1971.

(B) 自然雪面の熱収支

観測期間の雪面受熱と積雪情況，気温経過は図20に示した。積雪は3月3日になくなったが，4日より高田と同じく低温となり，再び雪が積もり，約10日間にわたる低温のために雪は少ないが融けずに3月18日まで続いた。この間の雪面受熱は高田の場合と同様に，初期には伝達受熱がまさり，以後は放射受熱が優勢となった。

III-1-(10) 1971年の融雪時の熱配分

図21に弘前，高田，鳥取の放射，伝達受熱量の積算値を図示したが，高田，鳥取の場合は融雪後に前記のように再び積雪となる異常な年であったために， $\sum S_s$ ， $\sum Q_s$ が異例な変化を現わしている。再度の積雪のため，これを連続した融雪期と見るのは妥当でないので，融雪期としてははじめの積雪が融ける期間だけに分離して雪面の受熱配分を考えることにする。この融雪期の雪面受熱は次のようになる。

	$\sum S_s$ cal/cm ²	$\sum Q_s$ cal/cm ²	$\sum S_s : \sum Q_s$
弘前	3302.3	2070.2	61 : 39
高田	765.2	1754.6	30 : 70
鳥取	126.8	236.6	35 : 65

III-1-(11) 雪面熱収支観測の総括

融雪期間の各地の雪面受熱量を期間の日平均値としてまとめれば表3となる。

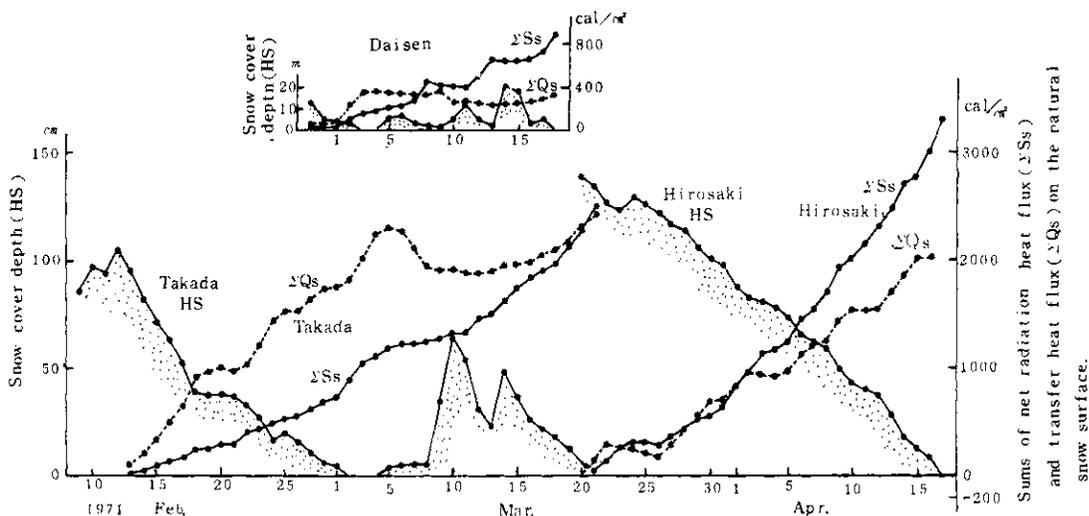


Fig. 21. Distribution of the heat flux on the natural snow surface in the thawing season, 1971, Hirosaki, Takada and Daisen.

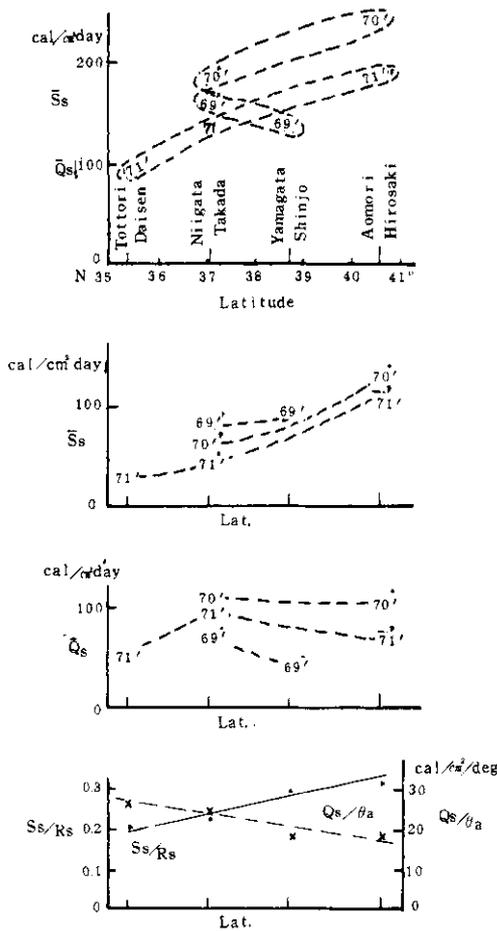


Fig. 22. Relation between the daily mean input heat flux ($S_s + Q_s$) onto the snow surface in snow melting season and the latitude. S_s : daily mean net radiation heat flux; Q_s : daily mean transfer heat flux; R_s : solar radiation; θ_a : air temperature

表3を見ると、融雪期の雪面受熱量が北方に行くにしたがって増す傾向がうかがえる。緯度と各地の日平均受熱量との関係を図22に示して見たか、44年の新庄の場合以外は年次ごとに高緯度の方が高い受熱を示している。この受熱量を受熱構成要因別に放射、伝達に分けて考えれば、中間の図として示される。放射受熱は明らかに高緯度の方が高い傾向を示しているが、伝達熱は緯度との関係が薄い。これより見て、雪面受熱が高緯度で高い値を示すのは放射熱に支配されていること

が推測される。この期間の日射量と平均気温も表3に記入してあるが、各地の日射量と放射熱、平均気温と伝達熱の相関が強いことがわかる。結局、高緯度ほど融雪期には日射量が多く、放射受熱量が多いので、融雪熱量も多くなるものと見られる。

次に日射量に対する放射熱量の比率(S_s/R_s)と、平均気温に対する伝達熱の比率(Q_s/θ_a)の関係を同図の最下図に示したが、 S_s/R_s は低緯度では小さく、高緯度では高くなっている。この原因は不明の点があるが、雪面状況の差異が一つの手かかりと考えられる。融雪期は高緯度の方が曆日的におくれているので、雪粒子の生長、雪面の自然汚染が強くなり、雪面のアルベドが低下することが考えられる。また Q_s/θ_a は逆に低緯度の方が高い値を示しているが、この原因は明らかでないが、風や湿度の時期的な変化が関連しているのではないかと考えている。

いずれにしても高緯度ほど受熱量が多いという現象は、雪面黒化による融雪促進方法が北の方が有利であるといえる。

Ⅲ-2. 散布方法に関する実験

大面積を対象とする融雪粉材の散布について、少量で融雪効果のある粉材の場合は、在来の薬剤散布機を応用する方法でほぼ満足されるが、大量散布を必要とする粉材、たとえばグリーンアッシュ、ケイカルなどは散布の方法を開発する必要がある。この大量、大面積散布には手まきや、空中散布は非能率であり、また高経費となる欠点があり、雪上散布が有利であるとみられる。

Ⅲ-2-(1) 1969年山形県新庄における実験

1969年冬は大量散布用の散粉機の製作が間に合わなかったため、在来のケイハン散粉機を使用して実験を行なった。ケイハン散粉機は農薬散布の際は長さ約30~50mの穴あきビニール布管に粉を圧送して、ビニール布管の長さのまき幅をもって一挙に散布する方法を採用している。散粉機を一方のケイハン上を走行させ、ビニール布管の末端を持った補助者が他方のケイハンを持って歩いて散布するものである。

1969年冬の雪上散布には散粉機を軽雪上車けん引のそりに乗せて走行し、ビニール布管の長さを4~6mとしてこれを竹ざおでささえて雪上約30~50cmに固定して散布する方法(A型ノ

Table 3. Daily mean input heat flux to the snow surface, solar radiation and air temperature in snow melting season.

Year	Experimental site	Net radiation heat flux (cal/cm ²)	Transfer heat flux (cal/cm ²)
1969	Shinjo	92.3	43.7
	Takada	89.7	70.7
1970	Hirosaki	135.4	109.0
	Takada	67.4	115.6
1971	Hirosaki	113.9	71.4
	Takada	42.5	97.5
	Tottori	31.7	59.2

ズル), 硬質ビニールテープ付き散布ノズル (B型ノズル) を使用して散布実験を行なった。第2, 第3地区では, ノズルなしでダスター噴出孔より直接噴出方法をとった。

(A) 実験方法と経過

(a) 時期と場所

散布実験は1969年3月26日より4月3日にかけて下記の農場で実施した。

地区番号	散布実験期日	場 所
第1地区	1969年 2月26~27日	山形県新庄市角沢, 山形県農業経 営研修所農場, 牧草地
		山形県真室川町塩野, 山形刑務所 最上農業学園農場, 島地
第2地区	2月28日~ 3月1日	山形県新庄市泉ヶ丘, 泉ヶ丘開拓 農業協同組合農場, 島地, 一部牧 草
第3地区	3月 3日	

(b) 実験用機材

散布実験のため下記の機材を現地に輸送して実験を行なった。

機 材	品名・型式・その他
軽 雪 上 車	ヤマハスノーモビル, SD-150型, 23hp. ボンバルデア社スキードー,
動力散粉機	共立, WBD-2, 5.6 hp. 同用ノズル, 3種。
粉 材	グリーンアッシュ, ケイカル, 溶リン, グラウンダー(粒剤)

(c) 散布面積と区画

第1地区 a区 400×20m=0.8 ha,
GA150kg/10a 散布。
b区 400×20m=0.8 ha,
GA80kg/10a 散布。
c区 50×20m=0.1 ha,
ケイカル120kg/10a 散布。

第2地区 a区 300×30m=0.9 ha,
GA150kg/10a 散布。
b区 300×30m=0.9 ha,
GA80kg/10a 散布。

上の区に直交して80×50=0.4, 凹凸法区を設ける。
c区 50×20=0.1 ha,
溶リン90kg/10a 散布。
d区 50×20=0.1 ha,
溶リン40kg/10a 散布。
e区 50×20=0.1 ha,
溶リン20kg/10a 散布。

Heat flux for melting snow (cal/cm ²)	Solar radiation (cal/cm ²)	Air temperature (°C)	Period
136.7	317.8	2.5	Mar. 20 — Apr. 10
160.4	305.5	3.6	Mar. 6 — Mar. 28
244.1	486.7	6.3	Apr. 2 — May 2
183.0	348.0	4.8	Mar. 25 — Apr. 13
185.3	323.4	3.7	Mar. 20 — Apr. 17
140.0	234.5	3.5	Feb. 13 — Feb. 2
90.9	161.6	2.3	Feb. 27 — Mar. 2

f区 50×20=0.1 ha,
グラнда-60kg/10a 散布.
第3地区 a区 200×50=1.0 ha,
GA80kg/10a 散布.
b区 125×80=1.0 ha,
GA150kg/10a 散布.

(d) 実験の経過

第1地区では散布速度を変化させて散布能率の向上を計るとともに穴あきビニール布ホースを使用、その後、穴あきテーパー硬質ビニール管ノズルを使用した。粉の吐出が不良。第2地区では短形管を取りつけ散布機より直接噴出を試み吐出能率を高め、作業時間を短縮した。第3地区は第2地区と同作業を行なったが、後半にこれまで使用した軽雪上車スキードーをヤマハスノーモビルに取替えて散布を行なった。

(e) 実験時の天候

散布実験期間中、連日小雪または雪の天候で散布後に新雪があり、散布面は10~20cmの積雪でおおわれ、消雪の効果を発揮するには不都合であった。散布実施中の天候は図23に示すように作業に好条件とはいえなかった。

(B) 実験の結果

(a) 粉材の吐出性

ダスターで粉を散布する際に粉の吐出性能の良否が散布能率を左右するが、吐出性に関係する要素として粉の流動性と仮比重があげられ、粉の安息角が小さいものが吐出がよく、仮比重が大きければ吐出がよい。しかし、現用されている農薬散布用のダスターの性能から見て、仮比重が極端に大きいものは吐出が悪くなる傾向がある。

本実験に使用したグリーンアッシュ(GA)は球状粒形が大部分を占めているため、流動性はきわめて良好であった。仮比重はやや大きく不利の点が認められた。また、粉が湿った場合は流動性を失い、「つまり」の現象が現われた。

同時に使用したケイカルは粒形が角張っているのに、特にこのたび用いたケイカルは粒径が大きいため、ダスターにつまって吐出不能であった。その後の実験では粒径が小さければ吐出することがわかった。

(b) ダスターのノズル構造による吐出の差異

使用したダスターは農薬散布用のケイハンドスターであり、本来は吹出口より穴あきの広口ピニ

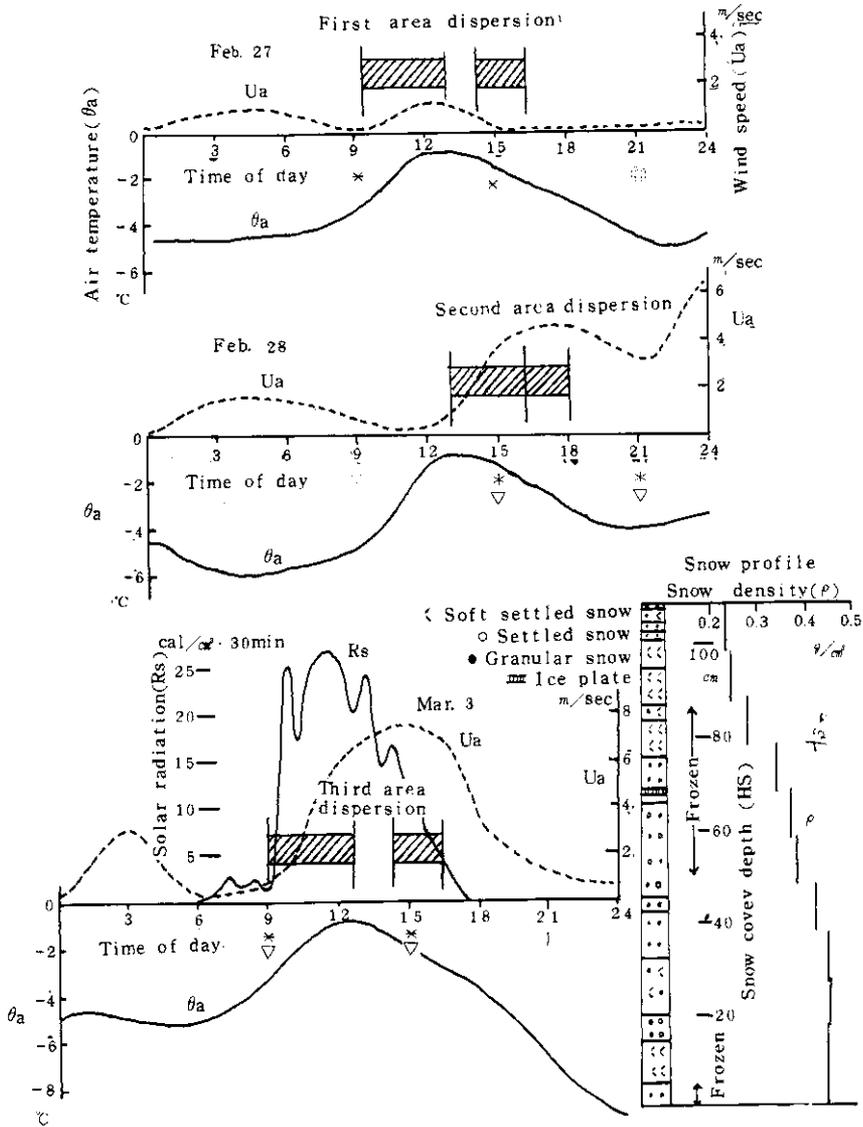


Fig. 23. Meteorological environment at the time of dispersion experiment, 1969, Shinjo.

ールホースを30～50mのばして、他端を人が持って粉を散布するものである。本実験には作業上そのままの使用は不可のため、管長を4～6mとして、片持ち構造(図24A型)として、軽雪上車でけん引するそりにのせて使用した。この方法はホースの先端に粉が集まってまきむらを生ずるが、穴の位置や数を変えたり、ホース中間部に風よけをつけたりして全長均一散布に近づけてほ

ぼその目的を達した。これを本実験のA型の散布ノズルとして使用することにした。次に硬質ビニール管で先端にいくにしたがって細くしたテーパ付きの管を用意し、これをB型(図24)として、本実験を始めた。

第1の実験地区でA型を使用したのが次の欠点を認めた。

- (1) そりのバウンドによってホースが雪面に接触

し、ビニールホースがやぶれる。

- (2) ビニールホースの穴に雪が付着して融けて、粉をぬらして穴をふさぐ。

以上のような結果となって、A型の実験を中止して、B型を取りつけて実験を続行した。B型もA型と同じ欠点があり、ぬれた粉が噴出口をふさいだが、管が硬質のため掃除して再開することが可能であった。しかし、吐出性能が悪く、A型では 6 kg/min 、B型では 8 kg/min であった。次にダスター内部で粉の流下を調整する金網を除いて、よりすみやかに粉がダスターの送風器に落ちるようにして、吐出量の増大を計った。その結果、 10 kg/min まで増すことが可能となった。吐出量を増す最後の手段として、ノズルを全部取除いてダスター送風口より直接粉を噴出させたが粉の分散が意外によく、吐出性能も 12 kg/min に達した。第2地区、第3地区はいずれも、この直接噴出によって散布能率を高めた。

(c) 散布作業について

(i) 第1地区(研修所)

散布作業の能率を高めるためにはむだな作業を省く必要がある。そのためには作業機の方角転換を少なくすることや粉の補給時間を短縮することを考えれば、作業区画を適度の長さを持つものにした方が有利である。方向転換を少なくするには長い形の区画がよいが、粉の補給から見ればダスターのホッパーの容量(この場合 $30 \text{ l} = 30 \text{ kg}$ 弱)と包装 30 kg 、吐出量 $8 \sim 12 \text{ kg/min}$ 、および作業機の数(経済)によって選択される。このたびは長軸を 400 m として、両端と中央に補給用の粉を置いて作業を行ない、ちょうど補給地で粉を消費しつくすように作業速度を調整した。吐出量 10 kg/min とすれば作業機の数(経済)は 12 km/h となる。

散布総所要時間を計算すれば、表4のように $150 \text{ kg}/10 \text{ a}$ 区は 180 min 、 $80 \text{ kg}/10 \text{ a}$ 区は 97 min を要することになるが、実際の作業時間は表の右欄のように、第1地区のa区の散布所要時間は計算値の 33% 増し、次の区は 24% 増しとなった。この理由は、始めはA型ノズルを使用したので吐出が $6 \text{ kg}/10 \text{ a}$ 、その後B型ノズルで $8 \text{ kg}/10 \text{ a}$ 、最後に $10 \text{ kg}/10 \text{ a}$ に達したので、計算どおりの作業が期待されなかった。また、粉の消費と補給の関係がうまくいかないこと

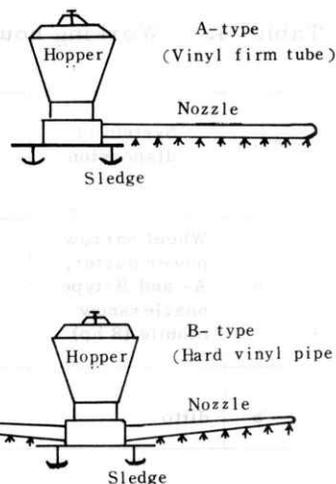


Fig. 24. Types of nozzle.



Photo 2. Test of dispersion with wheel barrow power duster (Kyoritsu, WBD-2, B-type nozzle) and snow mobile (Canada, Bombardier KRD-8 SKIDOO, 8 hp).

で作業機が無駄に走行したり、途中補給をしたりして時間を浪費したことがまずあげられる。そのほかにノズルのツマリを除くための作業時間、ダスターの燃料補給(1回 3 min 計約 10 分)が加わって 33% 増しの時間を要した。次の $80 \text{ kg}/10 \text{ a}$ 散布では吐出量をはじめ $10 \text{ kg}/10 \text{ a}$ で行ない、後にノズルなしで $12 \text{ kg}/10 \text{ a}$ として、作業機の数(経済)を 9 km/h に落とす実験も加えたので計算どおりには作業が終わらなかった。作業人員は 3 名。

(ii) 第2地区(最上農園)

区画は長軸を 300 m として往復して粉を補給する形式にした。吐出量を 12 kg/min にあげた

Table 4. Working hours of dispersion (1969, Shinjo, First area).

Area	System of dispersion	Size of dispersion area	Amount of dispersion (kg/10 a)	Total amount of dispersed powder (ton)
a	Wheel barrow power duster, A- and B-type nozzle+snow mobile (8 hp)	400 m × 20 m = 0.8 ha	150	1.2
b	ditto	ditto	80	0.64

Table 5. Working hours of dispersion (1969, Shinjo, Second area).

Area	System of dispersion	Size of dispersion area	Amount of dispersion (kg/10 a)	Total amount of dispersed powder (ton)
a	Wheel barrow power duster, non-nozzle+ snow mobile (8 hp)	300 m × 30 m = 0.9 ha	150	1.35
b	ditto	ditto	80	0.72

Table 6. Working hours of dispersion (1969, Shinjo, Third area).

Area	System of dispersion	Size of dispersion	Amount of dispersion (kg/10 a)	Total amount of dispersed powder (ton)
a	Wheel barrow power duster, non-nozzle+ snow mobile (8 hp)	125 m × 80 m = 1.0 ha	150	1.5
b	ditto	200 m × 50 m = 1.0 ha	80	0.8

ので作業速度は1.44 km/h と計算されるが、実際には1.4~1.5 km/h で作業し、表5のような結果となり、ほぼ計算どおりの結果を得た。

(iii) 第3地区(泉ヶ丘農場)

この地区は中間に谷があり、作業に都合のよい区を設置することができなかったため、表6のような区画で実験を行なった。3回目の散布実験のため粉の補給作業や作業車の走行に熟練したので、予定より早く作業が終わった。特に150 kg/

Real dispersion hours (min)	Powder supply		Turning		Working hours			Rate of discharge (kg/min)
	(times)	(min)	(times)	(min)	Calculated (min)	Real (min)	Ratio (%)	
120	40	40	60	20	180	240	133	10
64	21.3	22	32	11	97	120	124	ditto

Real dispersion hours (min)	Powder supply		Turning		Working hours			Rate of discharge (kg/min)
	(times)	(min)	(times)	(min)	Calculated (min)	Real (min)	Ratio (%)	
112.5	45	45	90	30	187.5	180	92	12
60	24	24	48	14	98	90	92	ditto

Real dispersion hours (min)	Powder supply		Turning		Working hours			Rate of discharge (kg/min)
	(times)	(min)	(times)	(min)	Calculated (min)	Real (min)	Ratio (%)	
150	50	50	272	91	291	210	72	12
66.7	27	27	80	27	120.7	100	83	ditto

10a 区は長軸が短いので区画内を回転するような走行を行なったため、折返し時間が短縮された。

(iv) 燃料消費量

以上の散布実験でダスターは共立BMW-2型

を作業機(軽雪上車)はスキードーを使用した、その際の燃料(20:1 ガソリン)の消費量は表7となった。

この表より見て、第1地区はダスターのノズルの取替えや作業に不慣れのために燃料消費が多か

Table 7. Fuel consumption (1969, Shinjo).

Area	First area		Second area		Third area	
Amount of dispersed powder (kg/10 a)	150	80	150	80	150	80
Total amount of dispersed powder (ton)	1.2	0.64	1.35	0.72	1.5	0.8
Machine						
Duster (1)	8.2	4.2	6.4	3.1	7.4	3.5
Snow mobile (1)	7.8	4.0	6.0	3.0	7.1	3.2
Total consumption (1)	16.0	8.2	12.4	6.1	14.5	6.7
Consumption per hectare (l/ha)	20.0	10.3	13.8	6.8	14.5	6.7

Note. Powder: Green ash. Duster: Kyoritsu, wheel powder duster, WBD-2 type, 5.6 hp. Snow mobile: Bombardier (Canada), SKI DOO-FRD 8 type, 8 hp.



Photo 3. Test of dispersion (Green ash) with sower and snow mobile (U. S. A., Polaris, Super voyager, 13 hp).

ったが、第2, 3地区の結果より見ればGA 150 kg/10a 散布には約14 l/ha, 80 kg/10a 散布には7 l/haの消費と見られる。作業機にヤマハスノーモバイルも使用してみたが、低速度でのけん引が弱く、作業に支障をきたすのでまっばらスキーダーを使用した。

以上の実験より大量散布方式として、ダスター

使用は不適當であることを知った。その理由として大量散布に現用のダスターでは、(1)吐出量が不足し、所定の散布量を確保するのに時間がかかり、燃料消費量も増大する。(2)ダスターの容量が小さく粉の補給のために時間を要する欠点がある。現用のダスターでは容量を飛躍的に拡大することは構造上不可能である。次に(3)ダスターを使用しないと散布ムラが激しいものと考えていたが、大量散布ではその懸念が少ない。したがって、噴出方式でなく、重力落下方式(初め予定していたが製作が間に合わなかった)で十分散布しうることを認めた。この方式は粉の自然落下であるため動力を必要とせず、燃料消費も半減するし、吐出量(落下量)も自由に増大が可能で、短時間に所要散布が可能であろう。

III-2-(2) 1970年青森県弘前における実験

(A) 実験方法と経過

(a) 時期と場所

実験月日	場所
1970年	青森県中津軽郡岩木町嶽農場, 牧草地
3月24~26日	

(b) 実験用機材

機材	種類, その他
軽雪上車	ボンバルデア社(カナダ)スキードー, 8hp. ヤマハ (日本)スノーモビル SD-350, 23hp. ボラリス (アメリカ)スーパーポエージャー 2300, 13hp.
散布機	日東肥 幅1mライムソワー雪上作業用改造 日東肥 幅2m同上
動力散粉機	共立WBD-2, 5.6hp.
粉材	グリーンアッシュ(GA), グランダー(GK), サニークライト(SL)

(c) 散布面積と区画(後出の図27参照)

- a区 300m×50m=1.5ha,
GK20kg/10a散布.
- b区 300m×50m=1.5ha,
GA100kg/10a散布.
- c区 300m×50m=1.5ha,
GA100kg/10a散布.
- d区 200m×20m=0.4ha,
SL100kg/10a散布.

(d) 実験の経過

a区は少量散布粉材のグランダー(GK)をケイハンドスターで散布する実験を行なった。b区、c区はグリーンアッシュ(GA)、d区はサニークライト(SL)の散布をライムソワー改造の散布機による散布を実施し、大量散布粉材の散布作業の能率化についての検討をし、b区はソワーの幅2mのもの、c区は幅1mのものを使用する予定であったが、天候と作業の都合でb、c区とも2m幅を使用し、1m幅のソワーはd区で実験した。またソワーのけん引用の軽雪上車を交換して、組合せの上の問題の検討も予定したが、ヤマハスノーモビルSD-350型はけん引力が少なく、けん引作業に不向きのため、これは連絡、小運搬用に使用し、2mソワーはボラリスのスーパーポエージャー機、1mソワーはボンバルデアのスキードーを専用した。

(e) 実験時の天候

1970年冬は2月に平年より暖かで、3月上旬に低温、中旬に平年並に近づき、実験時の下旬に再び極端な低温となり、降雪もあり、1970年冬の最深積雪を示している。散布時の気温はこの低温より脱しつつある時期ではあるが、常にマ

イナスで最低は-6℃にも達した。風速は24日が4~5m/sec、夜間に降雪があり平均風速が8mに達し、24日散布区は10~20cm、新雪に埋まる。25日も寒く、気温-3℃、風速5m。26日はa区にケイハンドスターでGKを散布した時は、気温-0.2~0.7℃、風速は6~7m/secと強く、散布時の気象としては不向きであった。(図25参照)

(B) 実験の結果

1969年冬新庄で行なった実験の結果、大量散布にはダスターを使用したのでは吐出量が少なく、散布所要時間がかかり、経費もかさむことが実証されたので、1970年冬はライムソワー(石灰散布機)を雪上作業用に改造して、粉材の重力落下方式について実験を行なった。

24日はb区にGAの散布を試みた。軽雪上車、ポエージャーのエンジン不調のため、代わりにスキードーでけん引させたが、馬力(8hp)不足のため速度があがらず、2mソワーのけん引には無理であることがわかった。次に23hpのヤマハスノーモビルを使用した。接地区が30g/cm²(スキードー19g/cm²)と大きいので、30cmほど雪中にもぐり、腹が雪に接して走行不能となった。それでポエージャーのエンジン出力不調であったが、ソワーへの粉の積載を少なくし、GA4袋80kgとして散布した。

25日はポエージャーのエンジン不調は吸気の際に粉材を吸収することが原因であることがわかったので、気化器を分解修理して整備し、実験にそなえた。出力も充分に出て、本日の散布は順調に進み、50袋のGAを40分で散布した。この間、1m幅のソワーをスキードーでけん引し、d区にSL20kg袋20袋を25分で散布した。

26日はa区にGKを散布したが、ケイハンドスターを使用し、このダスターの普通の使用法、すなわち、ビニール布のホースを長く伸ばして散布幅を30mとして散布する方法をとり、少量散布方式とする実験を行なった。散布区300×50mにCK20kg入袋を15袋散布するのに長さの方向に6.5往復して散布を終了した。

以上の各散布実験に要した時間を表示すれば表8となる。

a区の散布方式は前年に使用したケイハンドスターによる方法であるが、大量散布には不適當で

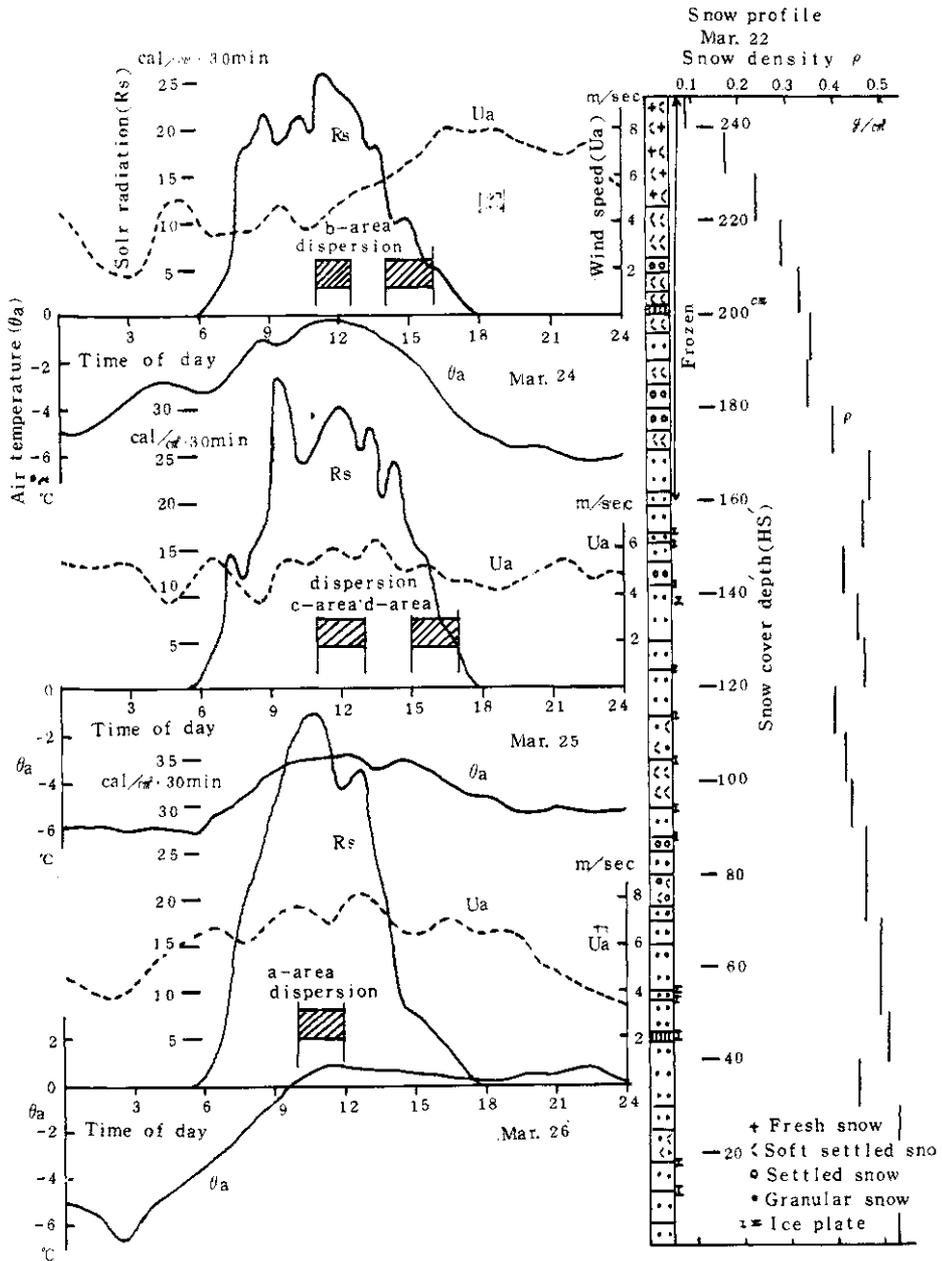


Fig. 25. Meteorological environment at the time of dispersion experiment, 1970, Hirosaki, Dake Farm

あることがわかったので、今年はこれを少量散布（20 kg/10a）に試験した。少量散布でも所要散布量を散布するには軽雪上車の速度を極端におとす要があり、1回の走行では十分な散布が得

られなかった。いずれにしても吐出量を飛躍的にあげなければ、この方式では非能率的であることが明らかになった。b区の散布は軽雪上車の出力不足のため正常な散布とならなかったが、c区は

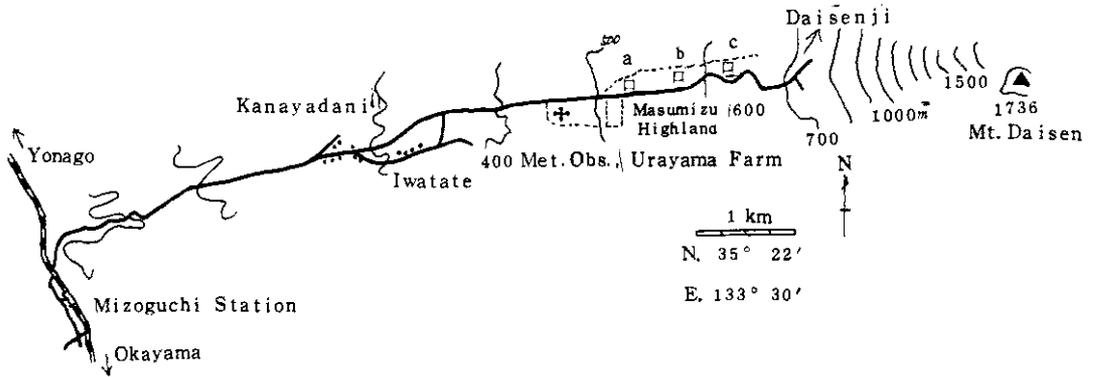
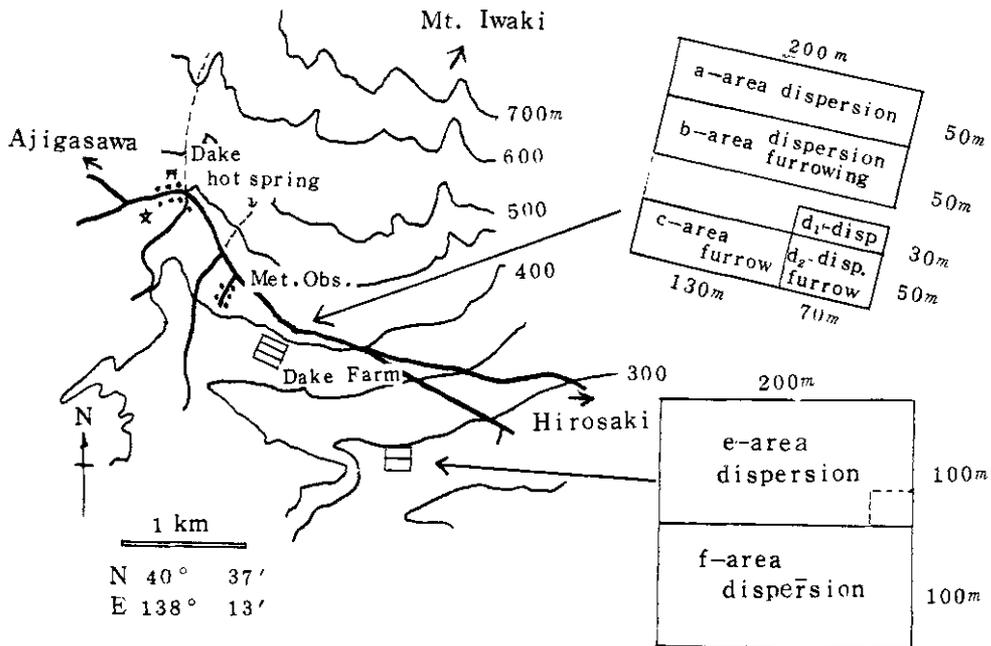


Fig. 26. Experimental fields (a-, b- and c-areas), 1971, Tottori, Daisen.



Distribution of test area in 1971. Test area in 1970 using a-, b-, c- and d-areas (dispersion).

Fig. 27. Experimental fields (1971, Aomori, Hirosaki, Dake Farm).

Table 8. Working hours of dispersion (1970, Hirosaki, Dake Farm).

Area	System of dispersion	Size of dispersion area	Powder	Amount of dispersion (kg/10 a)	Total amount of dispersed powder (ton)
a	Wheel barrow power duster, A-type nozzle +snow mobile (13 hp)	300 m × 50 m = 1.5 ha	GK	20	0.3
b	2-m wide sower+snow mobile	ditto	GA	100	1.5
c	ditto	ditto	GA	100	1.5
d	1-m wide sower+snow mobile	200 m × 20 m = 0.4 ha	SL	100	0.4

Table 9. Fuel consumption (1970, Hirosaki, Dake Farm).

Machine		a-area	b-area	c-area	d-area
Duster	(1)	2.5	—	—	—
Snow mobile	(1)	3.2	3.7	2.4	0.6
Total	(1)	5.7	3.7	1.6	0.9
per hectare	(1)	3.8	2.5	12.4	2.3

Note. Powder: a-area, Grounder 20 kg/10 a;
 b-and c-areas, Green ash, 100 kg/10 a.
 Duster: Kyoritsu, wheel barrow power duster, WBD-2 type, 5.6 hp.
 Snow mobile: Polaris (U.S.A.), Super voyager, 13 hp.

ほぼ満足すべき結果を得た。時速12 kmでha当たり27分で散布し得た。d区はソワ-の幅を1 mとして速度をあげたが、2 m幅のものに比較して散布時間で2.3倍となり、能率がおちた。

この実験による燃料消費量は表9となり、ダスター方式はソワ-方式の1.5倍以上を要し、c、d区のソワ-方式区はha 当たり2.3~1.6 lの消費で、昨年的大量散布に消費した9~7 l/ha

Real dispersion hours (min)	Powder supply		Working hours		Rate of discharge (kg/min)	Mean speed (km/hr)
	(times)	(min)	(min)	per hectare (min)		
55	11	10	65	43	< 6	5
55	19	10	65	43	25 — 30	8 — 9
33	13	7	40	27	45	12
21	7	4	25	62	19	17 — 18

(100 kg/10aに換算)に比べれば、格段の節約となった。これはダスターの代わりにソワー方式に変えたのが主因である。

Ⅲ-2-(3) 1971年鳥取県大山および青森県弘前における実験

(A) 実験方法と経過

(a) 時期と場所

実験月日	場所
1971年	鳥取県日野郡溝口町
2月27日~28日	大山山ろく牧草地
3月18日~19日	青森県中津軽郡岩木町 嶽農場牧草地 (前年と同じ)

(b) 実験用機材

機材	種類, その他
軽雪上車 および雪上車	前年使用の軽雪上車に普通雪上車を追加 (青森だけ) 大原(日本)KC40雪上車105hp
散布機	前年使用のほかに1.5m幅のソワーを追加したが過重量のため未使用
粉材	グリーンアッシュ(GA) グラランダー(GK)(青森だけ)

(c) 散布面積と区画

鳥取、実験地の都合で100×100mの散布区a, b, cの3区画を作り、すべてGA100 kg/10a散布とした。一部をウネ立て実験区とした。(図26参照)

青森は図27のように、

- a区 200m×50m=1.0ha,
GA100 kg/10a散布。
- b区 200m×50m=1.0ha,
ウネ立てGA100 kg/10a散布。
- c区 130m×50m=0.65ha,
ウネ立て無散布。
- d₁区 70m×30m=0.21ha,
GK20kg/10a散布。
- d₂区 70m×50m=0.35ha,
ウネ立てGK20 kg/10a散布。
- e区 200m×100m=2.0ha,
GA100kg/10a散布。
- f区 200m×100m=2.0ha,
GA100kg/10a散布。

(d) 実験の経過

前年に開発したソワーによる散布方式の良否の再確認を今回の実験の主体としたもので、それに普通雪上車の使用を加え、またウネ立てと散布の組合せ消雪実験も試みた。

鳥取の大山山ろくでの消雪実験は積雪が少なく

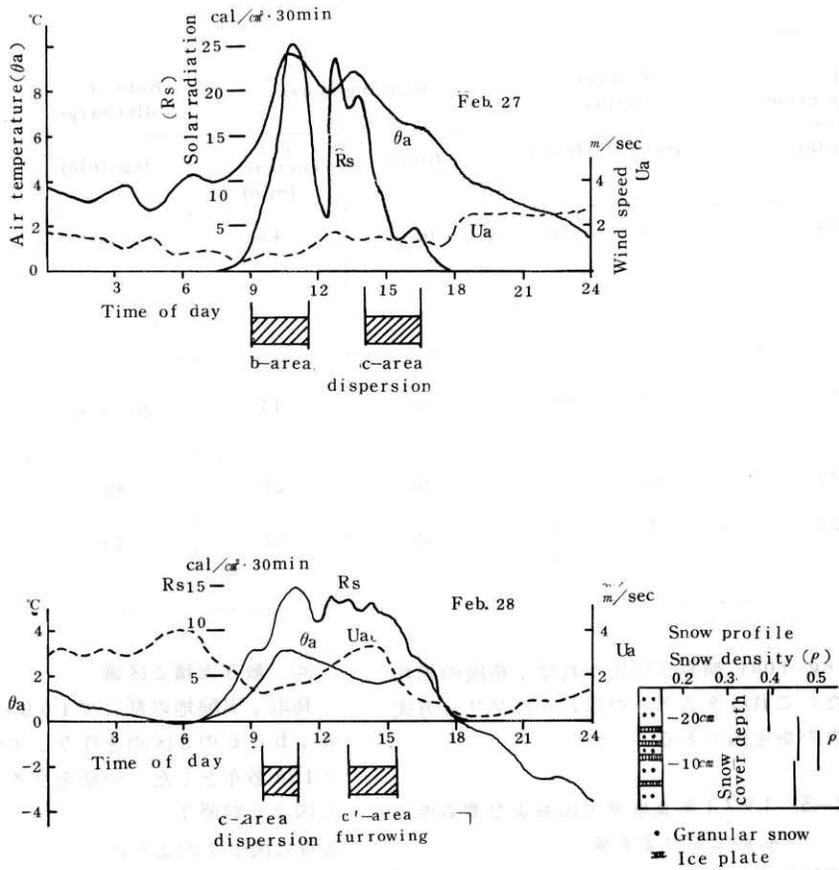


Fig. 28. Meteorological environment at the time of dispersion experiment (1971, Tottori, Daisen).

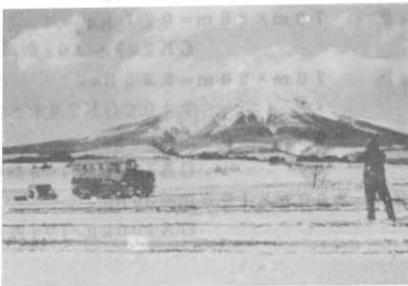


Photo 4. Test of dispersion with sower and snow vehicle (Ohara, KC40, 105 hp).

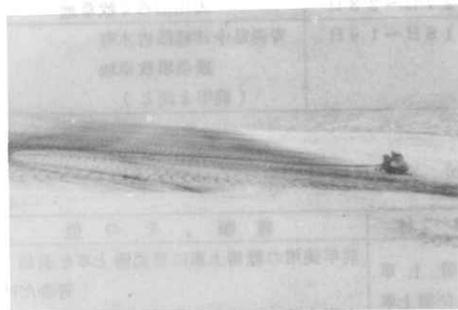


Photo 5. Test of dispersion (Grounder powder) with wheelbarrow power duster (Kyoritsu, WBD-2, A-type nozzle) and snow mobile (Yamaha, SD-350, 23 hp).

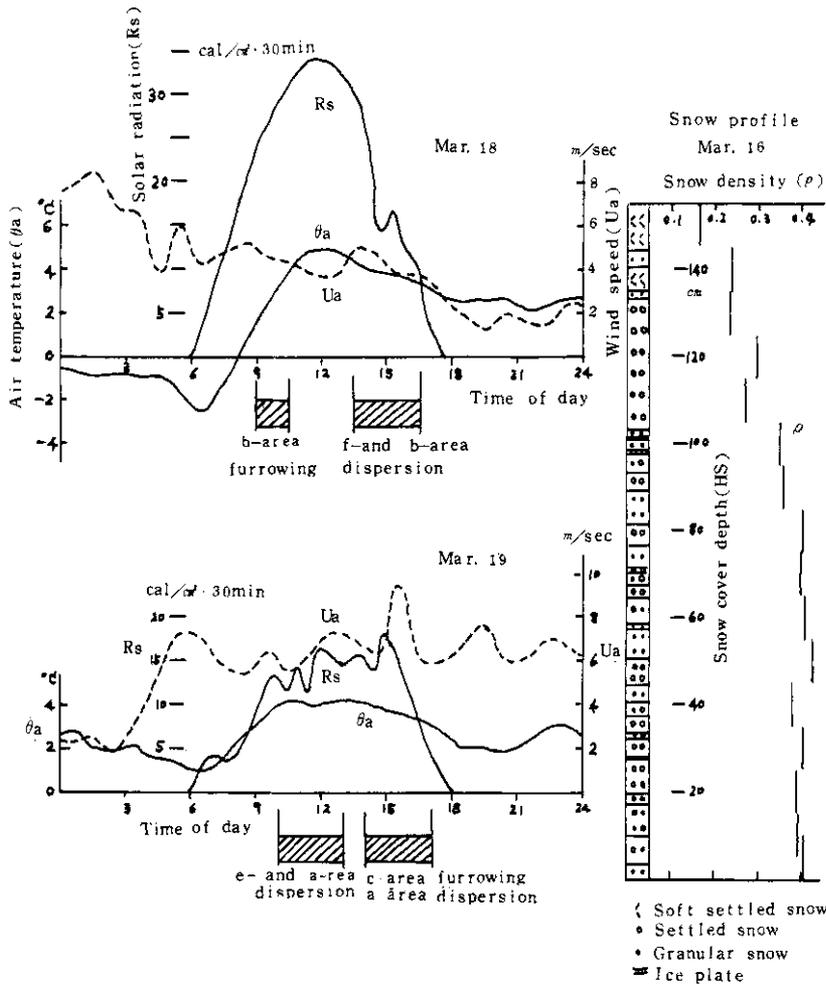


Fig. 29. Meteorological environment at the time of dispersion experiment (1970, Hiroaki, Dake Farm).

消雪の経過や効果を調べるのに条件が悪かったので、もっぱら散布実験が主なるものとなった。同地区は実験地が傾斜方向に沿って細長く狭かったので、標高別にa区540m, b区580m, c区630mの高度に実験区を設定して、雪質の相異による散布作業の難易を調べる計画を立てた。しかし、a, b区散布前に雨が降り、むしろ地形差による散布作業の効率差が現われた。c区は雪面凍結し、好散布が行なわれた。

青森の岩木山山ろくでは、a, e, fの各区GA100kg/10aの散布を行ない、f区では普

通雪上車を使用した。d₁, d₂区はGK20kg/10a散布を前年同様、ケイハンドスター方式で散布を行なった。

(e) 実験時の天候

鳥取大山 2月27日に午前b区、午後c区の散布を行なったが、いずれも散布時は7~8℃と高温で日射もあり、表層の大粒「ざらめ雪」がゆるみ、軽雪上車のけん引力が低下し、さらに下層に3~4枚の厚い氷板があり、スリップをひき起し、散布作業に難渋した。午後のc区は約10°

Table 10. Working hours of dispersion (1971, Tottori, Daisen).

Area	System of dispersion	Size of dispersion area	Powder	Amount of dispersion (kg/10 a)	Total amount of dispersed powder (ton)
a	2-m wide sower + snow mobile (13 hp)	100 m × 100 m = 1 ha	GA	100	1
b	ditto	ditto	ditto	ditto	ditto
c	2-m wide sower + snow mobile (13 hp + 23 hp)	ditto	ditto	ditto	ditto

Table 11. Working hours of dispersion (1971, Hirosaki, Dake Farm).

Area	System of dispersion	Size of dispersion area	Powder	Amount of dispersion (kg/10 a)	Total amount of dispersed powder (ton)
a	2-m wide sower+snow mobile (13 hp)	200 m × 50 m = 1.0 ha	GA	100	1.0
b	Hand dispersion	ditto	ditto	ditto	ditto
d	Wheel barrow powder duster, A-type nozzle +snow mobile (13 hp)	65 m × 60 m = 0.39 ha	GK	15	0.06
e	2-m wide sower+snow mobile (13 hp)	200 m × 100 m = 2.0 ha	GA	100	2.0
f	2-m wide sower+vehicle (115 hp)	ditto	ditto	ditto	ditto

の凹凸地形でけん引力がおち、実験の後半は軽雪上車2台で引くようになった。(図28参照)

28日は気温は2~3℃、曇で夜半からの冷却で雪面が凍結し、散布前まで小雪がちらついていたが、a区の散布は順調に進んだ。

弘前嶽農場 散布実験は3月18日午後f区で実施したが、気温4℃、風速4m/secで朝からの晴天のため雪面が融解し、KC40型雪上車のカタピラよりはね飛ばす雪がソワの落下孔をぬらし、吐出不良をたびたびひき起こした。

Real dispersion hours (min)	Powder supply (min)	Working hours		Rate of dispersion (kg/min)	Mean speed (km/hr)
		(min)	per hectare (min)		
75	7	82	82	13 — 14	8 — 10
30	5	35	35	30 — 35	12
28	6	34	34	35	12

Real dispersion hours (min)	Powder supply		Working hours		Rate of dispersion (kg/min)	Mean speed (km/hr)
	(times)	(min)	(min)	per hectare (min)		
25	15	6	31	31	40	15
240	—	—	240	240	—	—
8	3	3	11	28	8	4
45	15	7	52	26	44	15
145	15	7	152	76	14	8

19日午前中は軽雪上車スーパーボエージャーを使用し、e区の2haを一気に散布したが、風速が6m/sec前後であったが、気温4℃曇のため融雪は前日ほどでなく、順調に散布が実施された。a区の散布も同様にして実施され、午後の

16時より17時の時間内にGKをケイハンドスター（カーペットダスター）でd区に散布した。風速は依然として6m/secを示し、粉の区画外飛散が認められた。（図29参照）

Table 12. Working hours of dispersion (concluded from a three-year test).

First year, 1969 winter, Shinje					Second year, 1970 winter,	
System of dispersion	Area	Working hours of dispersion (min)	Rate of dispersion (kg/10 a)	Mean speed (km/hr)	System of dispersion	Area
Wheel barrow power duster, nozzle	First area a	200	10	8 — 10	2-m wide sower	b
	b	188	ditto	ditto		
Wheel barrow power duster, non-nozzle	Second area a	133	12	8 — 10	ditto	c
	b	125	ditto	ditto		
	Third area a	140	ditto	ditto	1-m wide snowier	d
	b	125	ditto	ditto		

Table 13. The working expenses and the systems of dispersion (per hectare).

Amount of dispersed powder and materials	Soil (moist) 5 ton	
System of dispersion	Hand dispersion	Dispersion on the snow by portable power duster
Working hours (per head)	6 hr 30 min (32 hr 30 min)	4 hr 50 min (24 hr)
Working expenses (yen)	9,600	7,900
Hand (person)	5.5	4.0
Condition	Carry the soil on a sledge from 300-m position and dispersion. Party of five	Four dusters+ a member of supply = Party of five.
Material cost (yen)	0	5,000
Total working expenses of dispersion (yen)	9,600	12,900

Note. Day-wages=1,500 yen. Data on the promotion of snow melting by soil dispersion quoted from actual measurements of Sekisetsu-Rengo.

(B) 実験の結果

鳥取大山 b区から散布実験を行なったが、実験の前半は雪層が凍結していたので、軽雪上車のケン引力も強く順調に散布が行なわれたが、後半に表層の「ざらめ雪」がゆるみケン引力がおちて

散布に時間を要した。午後に行なった a区は傾斜が約10°の凹凸地形で、また「ざらめ雪」がさらにゆるみ、軽雪上車13hpではケン引力不足となり、後半よりヤマハスノーモビル23hpを連結してソワーを引いて散布を終えた。c区は翌日の凍

Hirosaki, Dake Farm			Third year, 1971 winter, Tottori, Daisen and Hirosaki, Dake Farm					
Working hours of dispersion (min)	Rate of dispersion (kg/10 a)	Mean speed (km/hr)	System of Dispersion	Area	Working hours of dispersion (min)	Rate of dispersion (kg/10 a)	Mean speed (km/hr)	
43	25—30	8—9	2-m wide sower	Tottori	82	13—14	8—10	
			ditto		b	35	30—35	12
			ditto		c	34	35	12
27	45	12	2-m wide sower	Hirosaki	31	40	15	
62	19	17—18	ditto		e	26	44	15
			ditto		f	76	14	8

Green ash (GA)
1 ton

Dispersion in the air by helicopter	Dispersion on the snow by wheel barrow power duster +snow mobile	Dispersion on the snow by sower +snow mobile
17 min (1 hr 25 min)	2 hr (6 hr)	34 min (1 hr 42 min)
25,000	3,800	600
0.35	1.0	0.25
Area above 100 ha. Member of supply. Party of five.	Expenses include the repayment and fuel of duster and snow mobile. Party of three.	Expenses include the repayment of sower and snow mobile and fuel of snow mobile. Party of three.
5,000	5,000	5,000
30,000	8,800	5,600

結時に散布したので順調に散布し得た。この地区の散布時期が融雪末期の肥大した「ざらめ雪」(粒径2~5mm)に加えて、すぐ下に3~4枚の水板で構成された雪層のため、ケン引の出力を雪に伝えられずにスリップ気味であったことが散

布の困難をもたらしたものである。散布所要時間などを表10に示す。

弘前嶽農場 f区より散布実験を行なったが、3月18日午後で気温が朝から高く、晴天で雪面がぬれていたため、普通雪上車KC40のカタビ

ラで雪がとびはね、後にケン引するソワーにぬれ雪がかかり、落下孔をぬらして穴が粉でつまり吐出を悪くした。それで速度を8 km/hしか出せず、吐出が悪い表11に示すように散布に長時間を要した。KC40の接地圧が140g/cm²であるため、他の軽雪上車(接地圧30~40)よりも雪にもぐり、雪面がかき乱された。また燃料消費が8 l/hで軽雪上車の倍以上に消費した。また別にb区のウネ立て雪面に手まきで散布したが、ha当たり2人で120分を要した。

次に19日午前中e区をスーパーボエージャーで散布したが、吐出量を44 kg/minとして時速15 km/hで順調に散布し、ha当たり25minで完了した。a区もc区とほぼ同じ条件で実験を行なった。最後にd区をケイハンドスター(カーペットダスター)でGKを15 kg/10aの濃度で散布したが、ha当たり28分で散布し得た。昨年は43分を要したが、今年は吐出量を6 kg/minより8 kg/minにあげて速度を8~9 km/hより4 km/hにさげたために能率が上がった。

散布所要時間などを表示すれば表11となる。

III-2-(4) 散布方法について

大量散布を要する粉材を大面積に散布するには、空中散布では経済的に不利である現況より、雪上散布法を開発することにした。雪上散布作業の際に散布機を積載またはケン引するには雪上車を使用しなければならないが、普通雪上車では大型すぎるとして軽雪上車(スノーモビルと称する機種)を雪上散布作業機として実験計画を進めた。

散布機としては当初は農業散布用の散粉機(ダスター)をあてることを考えたが、現用のダスターは粉の吐出性能が低すぎるので、吐出性能の高いダスターを新規に設計してみた。第1年1969年の実験時には間に合わず、やむをえず現用のダスターを使用して吐出性能をできるかぎり向上させるようにして実験を試みたが、第1年の実験結果より、ダスター方式では作業面と経済面で不利であることが判明し、散布方法をソワー方式に変更すべきことを知った。

第2年1970年にはライムソワー(石灰散布機)を雪上作業用に改造して、これを軽雪上車でケン引して実験したところ、予期どおりの作業がなされることを知り、第3年1971年にこの方式の再確認の実験を行ない、雪質条件が極端に不

良で凹凸傾斜地でないかぎり作業に支障のないことを認め、現状ではこの方法が最も経済的で迅速な散布方法であることを確かめた。

大量散布方式についてGA100kg/10a散布を標準とし、3か年の実験よりha当たりの散布所要時間をまとめて表示したものが表12である。

第2年、第3年の欄で見られるように、ha当たり散布所要時間は26~35分で平均30分前後後に引き下げることができた。

これらの結果からライムソワー(石灰散布機)を雪上運行用に改造したものを軽雪上車(スノーモビル)によりけん引する方式が効率的であることが実験で確かめられた。

同等の融雪効果を期待する処理方式として散布材と散布方法を組合せた二、三の場合の費用、人員を比較した例を表13に示す。

土を散布材料とすれば、材料費は0であるが、運搬、散布の労賃がかさみ経費がかかる。この場合の土も黒ボクなど粘結性の少ない土でなければならぬ。空中散布ではカーボンなど少量散布粉材の場合は散布経費が少なく総経費も割安となるが、大量散布粉材では割高となる。最後の欄に示したように、大量散布を要する粉材の場合は軽雪上車と散布機の組合せが最も経済性が高い。また経費ばかりでなく、労働力不足の現今より見て、所要人員が少なく済む利点も大きい。

III-3. 雪面ウネ立て法

雪面と大気の接触面積を広げて大気伝達熱としての受熱量を増加させ、融雪を促進させるために雪面にウネを立てる「雪面凹凸法」に関する実験を計画し、次のように実施した。

年次	場 所	ウネ立て方法
1969	山形県新庄市外最上農園	手掘り作業
1970	青森県弘前市外嶽農場	スノーブラウ不良で中止
1971	鳥取県大山山ろく	改良スノーブラウによる
	青森県弘前市外嶽農場	改良スノーブラウによる

III-3-(1) 1969年山形県新庄における実験

平たん丘陵地の最上農園農場内に50×60mの実験区を設け、区内にウネ幅200cm、ウネ高50cmのウネを30条設けて融雪経過を観測した。適当なスノーブラウがないため、スコップによる手掘りを行なった。作業は3月2日に行なったが図30で見られるように作業後3月4、11、

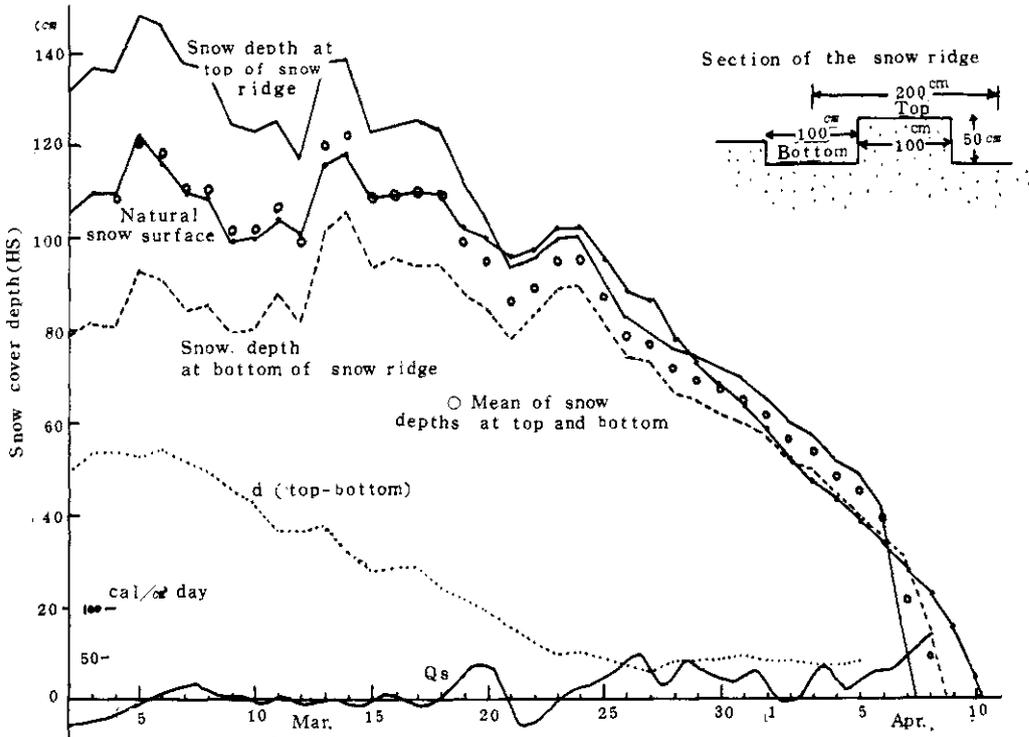


Fig. 30. Decrease of snow depth on snow ridge by furrowing and the change of the transfer heat flux (Q_s) on the snow cover.

13, 23日前後に降雪があり、低温が続き伝達熱(図の中の Q_s)は3月18日まで0前後で、伝達熱による融雪がほとんどなかったものとみられる。この間、ウネの山と谷の高低差(図の中の d)は50 cm台より30 cm台に下がったが、これは積みあげられたウネ山の沈降と既に沈降が進んでいる谷の沈降の差によって山谷の高低差が縮まったものと見なければならぬ。3月18~21日間には Q_s が正となるので Q_s による融雪促進効果がやや認められ、山谷の積雪の深さの平均と平地の積雪の深さとの間に今までになかった差が現われたことが図で見られた。しかしこの間、山谷の高低差が急激に減じ、23日に降雪もあり、ほとんど凹凸は認められなくなった。図では10 cm前後の差があるように示されているが、積雪標付近の地面の凹凸による読みの差であることがわかった。3月30日~4月6日までは処理区の融雪が遅れ、4月7日以降処理区が早まり、結局2日早く消雪したが、この現象は雪面に凹凸がないのであるからウネ立て処理による融雪の差とは認められない。

この実験より知り得たことは、ウネ立て法は処

理の時期を特に適確に選定しなければ消雪効果はあげられないことである。1969年冬は処理後に寒冷が続き、この間の処理効果は全くなく、その間ウネ立ての沈降やウネ谷が降雪で埋められることでウネの凹凸がなくなり、暖気が到来する時期には平たん雪面となり、処理効果が得られなかった。1969年冬の気象経過をふり返れば3月25~26日にウネ立て作業を実施すれば効果があったものと推察される。処理時期を失すれば、この方法は全くむだになる危険性がある。

III-3-(2) 1970年青森県弘前における実験

ウネ立て作業の能率化のため軽雪上車でケン引するスノーブラウI型(図31)を設計、製作し、現地輸送を行なったが、設計上の不備のため予定のウネ高では切削抵抗が過大でケン引不能となり、実験を打切った。

III-3-(3) 1971年青森県弘前における実験

改良II型ブラウを設計製作し、高田付近の積雪で予備実験を行ない、ほぼ満足すべき結果を得たので、はじめに鳥取県大山山ろくでウネ立て実験

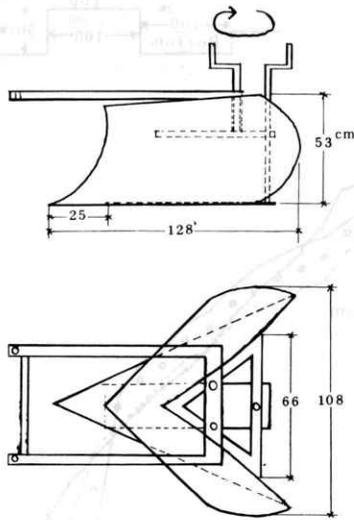


Fig. 31. Schematic drawing of the snow plow (Hokuriku, Model I).



Photo 6. Snow plow (Hokuriku, Type 2).



Photo 7. Furrowing on the snow with snow plow.

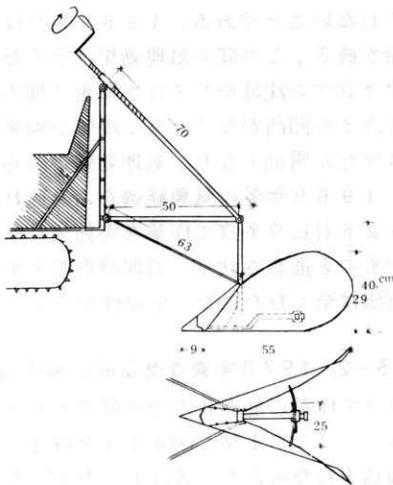


Fig. 32. Schematic drawing of the snow plow (Hokuriku, Model II).

を行なった。(図32参照)

1971年1月の山陰大雪も2月末には峠を越し、30~40cmの積雪となり、融雪効果を検討するには積雪量不足のためにウネ立て作業実験

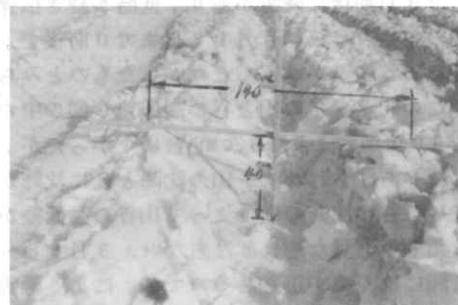


Photo 8. Snow ridge by means of snow plow.

だけにしぼった。積雪の深さは浅いが表層のザラメ雪下に強固な厚い氷板が3層あり、プラウにかかる切削抵抗が大きかったが、ウネ立てには成功した。しかし、積雪が板状破片としてウネ山を作るのでウネ形の成形が不充分であった。なお、方向転換時のプラウの持ち上げ機構に不備を認めたのでこれを改造し、次の実験に備えた。

次は1970年冬実験に失敗した青森県岩木山ろく地に再び実験区を設けてウネ立て作業を進めた。実験区の長さを等高線沿いに200mとり、

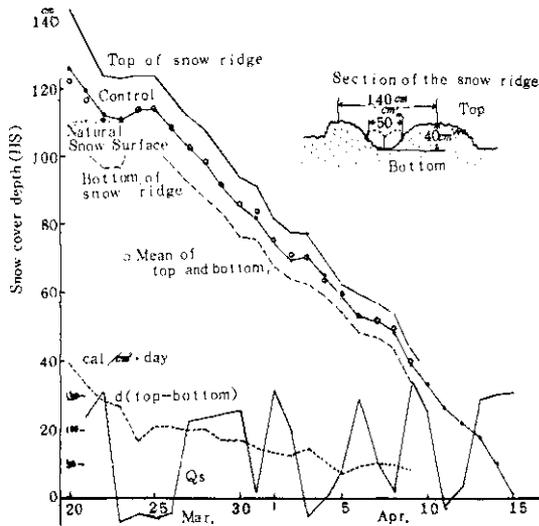


Fig. 33. Decrease of snow depth on snow ridge by furrowing and the change of the transfer heat flux (Q_s) on the snow cover.

幅を50mとし、1.4m間隔にウネ立てを行なった。雪質は大山地区と異なり、密度0.3前後の「しまり雪」が主で、それに「ざらめ雪」の層が2層入り込んだもので、作業は円滑に進んだ。ウネ幅を1.4mと計画したが平均1.5mの幅となり、ウネは33本となった。ウネの山谷の高低差を40cmとし、時速10~12km/hでウネ立てが可能となった。ウネ立て実働時間が39min/haであったが、両端で回転しながらプラウを上下させるのに16分を要し、結局ウネ立て作業時間は55min/haとなった。

第1年に新庄で手掘でウネ立て作業を行なったが、0.3haの作業に15人で2時間かかった。ha当たり換算すればちょうど100時間となり、軽雪上車でスノープラウをケン引するウネ立て作業は手掘の約100倍の能率で行なえることがわかった。

ウネ立て作業後の処理の融雪状況と無処理区との比較を図33に示したが、処理直後の3日ほど

融雪促進の効果が少し現われている。しかし、3月24日のふぶきでウネ谷が吹きだまりのために埋まり、ウネの高低差 d が半分減じ、大気との接触面積が1.4倍より1.1倍に低下した。それで、3月27日より大気伝達熱による雪面受熱量 Q_s が正となったが、その効果が現われず、図で見られるようにウネ山とウネ谷の積雪の深さの平均値に対して、自然雪面の高さが全く同等で経過した。前記の1969年の実験の項でも記したが、処理後に多量の降雪やふぶきなどの懸念のない時期を選ぶことが肝要である。

このウネ立て法は処理の時期を失すれば最後までその処理効果が出ない危険性がある。この方法は材料を要しない点でよい方法であるが、次の点の問題としてしぼられる。

- 1) 大気伝達受熱が正にならなければ効果が出てこないで、早期に処理ができない。
- 2) 処理後の降雪でウネ形が埋まれば効果が激減する。特にふぶきで凹凸が平滑化されやすい。
- 3) 凸部の雪面が凹部よりも早く融けるので、時とともにウネが平滑化され、ほぼ2週間ぐらいしかウネ形が保たないので再処理を要する。

以上のような問題があるので、特に融雪がおくれそうな春の融雪期の後半に実施する方法であろう。特に黒化法と併用すれば効果的である。凹部に土面が現われれば、熱的に有利になるので効果がさらに進む。

III-4. 新融雪粉材の探索

— 粉材の融雪促進性能試験 —

カーボンブラックは消雪用粉材として効果的であるが、汚染、取扱いに難点があるので、これに代わる消雪粉材をみいだすため、数種の粉材について消雪性能実験を行なった。

III-4-(1) 1969年新潟県高田および妙高に おける実験

(A) 実験方法

(a) 実験場所

新潟県高田、北陸農業試験場圃場(水田)
新潟県中頸城郡妙高村大洞原(畑)

(b) 実験期間

1969年2月19日~4月3日

Table 14. Kinds of trial powder and its amount of dispersion.

Code address of powder	Amount of dispersed powder ($\text{g}/\text{m}^2 = \text{kg}/10 \text{ a}$)						Powder
	200	100	50	30	20	10	
GA	○	○	○				Green ash (Fly ash)
MC	○	○	○				Mesaclon
SC	○	○	○				Calcium silicate
SS	○	○	○				Slag (Shoden)
CA				○	○	○	Carbon black (Asahi carbon)
CU				○	○	○	Coal dust (Ube)
NF				○	○	○	Testugen (Niigata Ryusan)
GK-g			○	○	○	○	Grounder grain (Kureha)
GK-p			○	○	○	○	Grounder powder (Kureha)
YP		○	○	○	○	○	Fused phosphate



Photo 9. Efficiency test of promoting of the snow melting by dispersion of various powders on the snow surface.

(c) 消雪粉材の種類と散布量
供試粉材は10種類で表14に各粉材の略称、製品名、試験散布量を表示した。

(d) 試験区の規模と散布方法
3m×3mの試験区を1m間隔で6行6列作り、

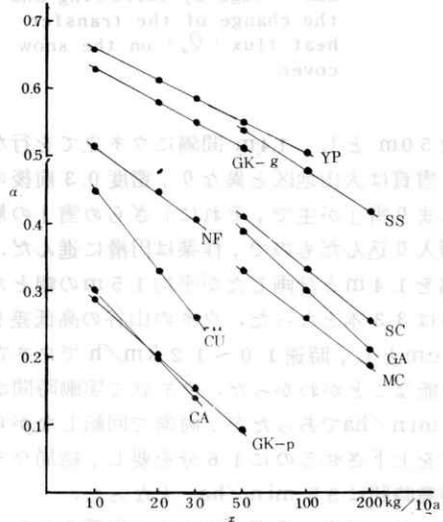


Fig. 34. Relation between the albedo (α) and the amount of dispersion powder (x).

上記の散布量の各種の粉材をそれぞれの区に手まきで散布した。散布後、毎日定時に減雪の深さと積雪表層10cmの密度を観測した。

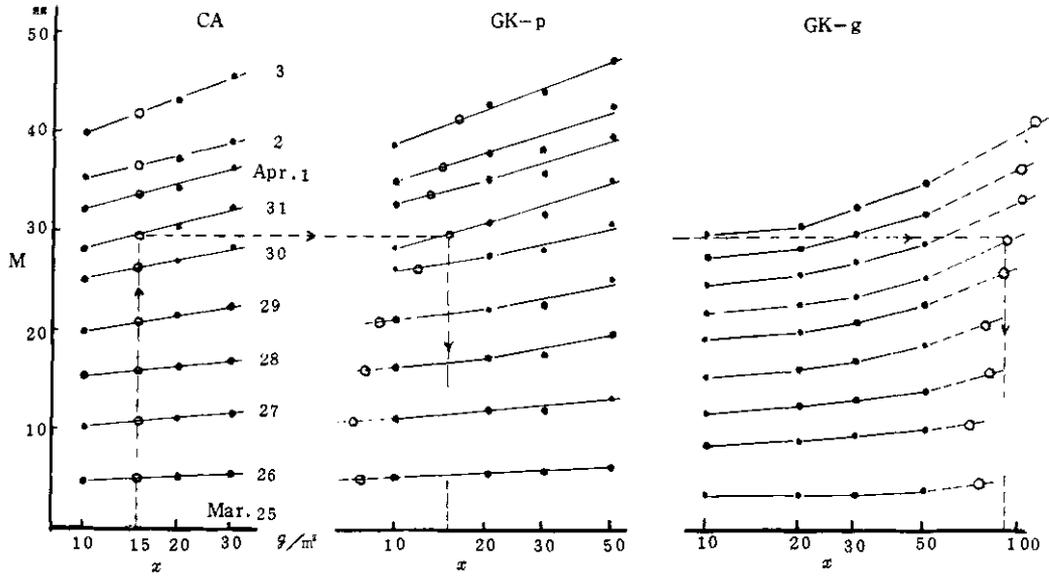


Fig. 35. The proper dose estimation of dispersion powder by the relation between the amount of dispersion (x) and the sum of water equivalents of snow depth a day (M).

(B) 実験経過

高田での実験は2月19日より開始したが、散布後再三の降雪に見舞われて、十分な成果が期待できないことがわかったので3月10日に実験を中止した。

時期が遅れたが同一実験を多雪地の妙高山ろく関山の太洞原(標高480m)で3月25日より行なった。実験地の積雪の深さは110~120cmで雪質は大部分の層がざらめ雪で一部にしまり雪層が存在したが、含水率の高いしまり雪で、全層平均密度は0.43g/cm³であった。

実験期間中の気象は比較的好天に恵まれ、日射量は3月30日に雨天のため、68cal/(cm²·day)と特に少なかったほかは、250~500cal/(cm²·day)であった。気温はほぼ平年並であったが、最高気温は比較的高く、10℃以上の日数が実験期間中5日もあり、自然積雪面の融雪も大きかった。融雪終日に近い4月3日~4月4日に降雪があり、散布面が雪におおわれたため実験を打切った。

(C) 実験結果

(a) アルベド測定による融雪性能の推察

融雪促進の効果は散布雪面の総体的反射率(アルベド)に関連することは当然である。粉が黒ければアルベドは小さくなり、融雪促進効果が大きい。また一定量をとった場合に粉の粒が小さければ雪面を被覆する割合が大きくなるのでアルベド

は小さくなる。もちろん散布量を増せば小さくなる。しかし、散布量を増せば粉粒が重なるチャンスが多くなるので散布量とアルベドは一次の反比例はしない。この関係は散布量の対数にほぼ直線的に反比例することが知られている。(大沼ら, 1965)

それで各散布区のアルベドを測定し、各粉材ごとに散布量との関係を示したのが図34である。この図から融雪性能を推察すればGK-PはCAとほぼ同じ性能で最もよく、次はCUでCAの約2~3倍の散布で同じアルベドになる。MC, GA, NF, SCは次によい粉材で6~12倍ぐらゐの散布で同等となる。SS, GK-G, YPはアルベドから推定する限りでは性能がおちることが推察される。

(b) 各粉材の融雪性能および散布適量

各観測日の融雪量(日々の減雪の深さに表層密度を乗じて日ごとに積算したもの)を粉材ごとに算出して図示したものが図35である。左側の図はカーボンブラック(CA)に関するものであるが、散布量が増せば当然融雪量も増し、月日とともに散布量と融雪量の間一つの関係を持って増加する。横軸の散布量を対数目盛で描いたこの図では、各期日とも各々直線関係とみられる。中間の図はCAと同様にして描いたGK-pのものであり、散布量軸に対してやや凹の曲線とみられる。同様に右図はGK-gの図で、更に曲線の曲率が

Table 15. Proper quantity of dispersed powder (1969).

Powder	CA	GK-p	GK-g	GA
Range (g/m ²)		8 — 16	70 — 110	85 — 110
Proper quantity (g/m ²)	15	15	100	100
Compared with CA		1.0	6.7	6.7

Table 16. Kinds of trial powder and its amount of dispersion.

Code address of powder	Amount of dispersed powder (g/m ²)								Powder
	5	10	15	20	50	100	150	200	
CA	○	○	○	○					Carbon black (Asahi)
SK	○		○						Snow kill (Sweden)
GK-p	○	○	○	○					Grounder powder (Kureha)
GA					○	○	○	○	Green ash (Johoku)
SL					○	○	○	○	Sunylite A (Shoden)
SB					○	○	○	○	Sunylite B (Shoden)

強くなっている。この両者は同一粉材で、粒度を異にしたもので、GK-gは粒状でGK-pは粉末である。

この図よりGK-pとGK-gの散布適量を求めてみよう。CAの散布適量は15g/m²=15kg/10a前後であることはすでに得られているのでCA15g/m²散布の際の融雪量を比較の規準とする。他の粉材を散布してこれに見合う融雪を示す散布量をこの粉材の散布適量とする方法を採る。実験期間の最終融雪量の比較だけでも適量は求められるが、1回の観測では誤差を生じるおそれがあるのでこの方法を各観測日について行ない、適量をチェックすることにした。

具体的には図35破線矢印で示すようにCA 15g/m²の散布の融雪量に相当するGK-p、GK-gの散布量を矢印の順序で求めるのである。この例では、3月31日の観測の結果より適量はGK-pは15g/m²、GK-gは94g/m²となる。同じ手法で各観測日について適量を求めれば図の白丸印となり、必ずしも一致した適量を示さない。しかし、ある範囲に限定され、ある傾向を持つ変化を示している。この場合はGK-pでは8~16g/m²の範囲であり、変化の傾向より見れば散布適量は15g/m²とするのが妥当である。同じくGK-gについては曲線の補外により、70~110g/m²の範囲で適量は100g/m²とみな

CU	MC	SS	FN	SC	YP
20 — 36	60 — 90	300 — 400	110 — 160	110 — 150	100 — 120
30	80	350	140	140	110
2.0	5.3	23.3	9.3	9.3	7.3

される。

全く同じ手法で各粉材の散布適量を求めたのが表15である。

III-4-(2) 1970年青森県弘前における実験

(1) 実験方法

(a) 実験場所

青森県岩木町嶽農場，標高400m

(b) 実験期日

1970年3月27日～5月2日

(c) 粉材の種類と散布量

これは表16に示すとおりである。

(d) 散布規模と散布方法

5×5mの散布区を1m間隔で5行5列予定し，無散布区3区を加えて25区としてそれぞれの区に散布した。散布方法は手まきとする。

(B) 実験経過

実験区は南向きの山ろく緩傾斜地の平坦な草地で，地区選定の際は平坦積雪地と見られたが，散布後に測定した結果，平均積雪2mに対して西側区は1.5m，東側区は2.4mの不斉積雪であることが判明した。これは主風方向西側約30mが凹地となり，実験地区は吹上地に相当して積雪に深薄を示したものである。新積雪直後は各区の

新積雪の深さに差があるが，融雪期には全層ゼラメ雪化して安定した積雪密度になることが，その後の実測結果より認められたので実験を続行した。

散布前に新雪が20～45cmあり，3月27日散布後31日までの減雪の深さには融雪のほかに積雪の沈降が含まれているので雪面の低下はまちまちであったが，4月1日よりそれぞれ安定した減雪の深さを示し，4月12日まで順調に融雪が進んだ。4月13日に約10～20cmの降雪があり散布面は真白となり，14日午後まで続き，この間融雪は停滞したが，以後再び順調に融雪が行なわれ，最も早い区は4月18日に草地が現われ，無散布区は4月30日まで雪が残った。

(C) 実験結果

各区の融雪の進み方は1969年と同様に減雪の深さと表層密度の測定によって観測した。観測日は4月1日，3，6，8，10，11，12日とし，その前後は新積雪のため融雪測定に誤差がはいるので除外して，この期間の融雪経過を検討して各粉材の融雪促進性能より散布適量を判定した。

その結果を表17に示す。

III-4-(3) 各粉材の融雪性能の概括

(A) 少量散布粉材

GKの粉状体(グランダー；呉羽化学)はカーボンブラックと同等の融雪効果が期待でき，カー

Table 17. Proper quantity of dispersed powder (1970).

Powder	CA	GA	SB	SL	GK-p	SK
Range (g/m ²)		80—120	500—800	60—80	15—20	13—15
Proper quantity (g/m ²)	15	90	700	60	16	14
Compared with CA		6.0	46.7	4.0	1.1	0.9

Table 18. Comparison of material costs of mass dispersed powders.

Powder	GA	YP	SC	FN	MC	SL
Proper quantity (kg/10 a)	100	110	140	140	80	60
Unit cost (yen/kg)	5	17	5.1	4.7	—	—
Material cost (yen)	500	1,870	714	658	—	—

ボンほどの強い汚染がなく、取扱い上の利点があり、価格も40～45円/kgに落ちつきそうであり、優れた融雪促進剤である。

CU(炭じん; 宇部)はカーボンの約2倍の散布適量であり、汚染が少なく、有望であるが、量産の点に難色がある。

そのほか、SK(スノーケル; スウェーデン製)はカーボンと同等かやや上回る性能があるが価格の点で不利である。

このたび供試しなかったが、石灰窒素の散布適量は20g/m²と見られ、価格が30円/kgと安いので散布材料費としてはカーボンと同等である。この粒状体は取扱いやすく、雪上でぬれて分散するので消雪効果も余り低下しない。約20%の窒素含量も肥効としてあげられる。

(B) 大量散布粉材

大量散布を必要とする粉材は一般に単価が安いので引きあう、また肥料効果を期待できるものもあって、消雪粉材として有望である。表18に散布適量と単価より散布材料費を比較してみる。

GA(グリーンアッシュ; アッシュ肥料): 既の実用で使用され、微量肥料として土壤保全にも使用されている。粉粒が球状であるために流動性がよく、機械力散布に適している。産出過程で黒色度に幅があるので、できるだけ黒い粉を選ぶ必要がある。

YP(溶性リン肥): 粉粒自体のアルベドは小さい(0.07, GAは0.1前後)が粒度が比較的大きいので、雪上散布のアルベドが大きく、散布適量は110kg/10aとなり、材料費は他の粉材の



Photo 10. State of promoting of snow melting on the area of dispersed powder. White spotted patterns are caused by a subsequent snowfall.

約2倍となる。しかし、20%のリンが含まれているので肥効が期待される。

SC(ケイ酸石灰):GAとほぼ同様の黒色度(灰色)であるが粒度が大きいため散布適量はやや多くなる。しかし、価格が安いので一部実用にも使用されている。粉粒の形がふん碎により角ばっているものがあるので、散粉機につまるおそれがあるから注意を要する。

FN(鉄ゲン;新潟流酸):散布量はSCと同等であり、価格がやや安いので消雪粉材として有望である。

その他:MC(メサクロン;三井金属)は軽量骨材メサライトの微粉で、散布適量は80kg/10aと大量散布粉材としては少ない散布ですむ。SL(サニーライト;昭和電工)はこれも適量が60kg/10aで性能はよいが量産がうすい難点がある。

(C) 融雪粉材の薬害

農耕地の消雪は消雪粉材による作物への薬害のないものでなければならないので、消雪実験に供試した粉材について水稻の発芽に対する影響を見た。散布量はGA,MC,SC,SSは、100,200,400kg/10a,CA,CU,NF,CKは、20,30,60kg/10a相当を苗代床面の区画(30×30cm)に散布し、種まきの後は保温苗代的方式で栽培し、発芽、生育を調べた。

各粉材とも本実験の散布量の範囲内では発芽歩合100~92%で粉材の散布量間に明りょうな

差がなく、発芽への障害は認められなかった。また生育も種まきの後35日目の調査で、草たけ20~21.5cm,基数2~3本で、散布量間に有意な差は認められなかった。しかし、室内実験で粉材の中に水稻種子を直接埋没させ、水分を与えて発芽状況を調べた実験では、GA,NFに発芽障害と認められる症状が見られた。しかし実用段階では消雪粉材の中に種子があるような散布量はないが、粉材によっては散布量増加による障害も考えられるので、融雪効果と合わせ粉材の選択、使用上に充分考える必要があるため、この点については更に検討を加えたい。

更に畑状態での消雪粉材の発芽障害を見るため、水稻の場合と同様の散布量でササゲについてポット試験を行なったが、発芽歩合も高く(92~100%),各粉材とも実験の範囲内の散布量では障害は認められなかった。

III-5. 融雪促進による越冬作物(牧草)の増収

消雪処理の直接的効果を確認するために前記の青森県下嶽農場の牧草地において、昭和45年と46年の春に実験と調査を行なった。

III-5-(1) 1970年春の実験

1970年冬は自然消雪日が5月2日で平年よりやや遅れたが、処理区は4月18日に消雪し、消雪日が14日促進された。処理区は3月25日に積雪約150~180cmにGA100kg/10aの散布処理を行なった。処理後、3月30日と4月10,13日に降雪があり、4月13日には20~30cmの新雪が積もり、特に融雪が進んだ凹地に吹きだまり、消雪日を2日延ばした。

消雪処理区が消雪したあと2日後の4月20日に同区の一部に追肥を行なった。これは融雪促進の効果を更に拡大する意味で行なったもので、硫酸40kg/10a(N21%,N8kg/10a)を散布、無処理区は積雪約80cmの残雪があったがこの区の一部にも雪上追肥を試みた。消雪後の気象経過は4月中は平年並の気温経過を示し、5月にはいって4~5日ごとに高低の気温の波があったが、平均値としては平年並に過ぎた。

5月20日に各区の牧草(オーチャードグラス)の生育状態をみるために、草のたけの調査と刈取期には少し早かったが刈取って生草重を調査した。その結果、草のたけに関しては図36に20株の

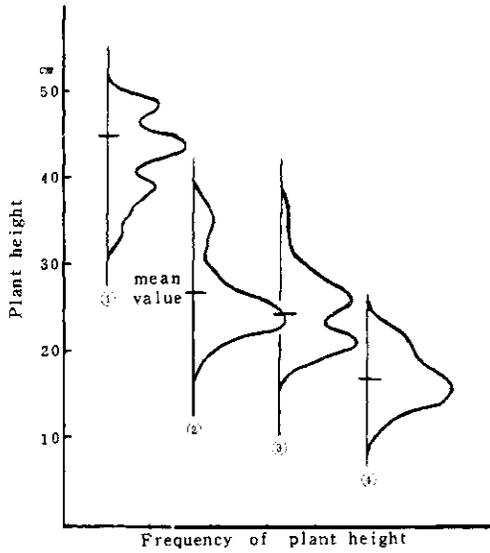


Fig. 36. Comparison of green yield of orchard grass under the condition with promoting treatment of snow melting and under the natural condition (1970, Hirosaki). Plots treated with: ① promoting of the snow melting plus top dressing; ② promoting of the snow melting only; ③ top dressing on the snow cover; ④ at a control plot, without any treatment. Dates of melted snow: Apr. 16 at the plots with the promoting of melting, and May 2 at the control plot. Top dressing: on Apr. 20, with 8 kg/10 a (N-manure). Snow cover depth of the control plot was about 100 cm on May 20.

草のたけの分布と平均を示した。生草量については図37に示すとおりで、自然放置の無処理区に対して、消雪処理区は80%の増収を得、追肥区は約90%の増収となった。消雪追肥区は約3倍の生草量を得ている。雪上追肥ははじめ窒素分の流亡を懸念していたが、消雪までの12日間の流亡は余りないものと推察される。このことは消雪処理と追肥を兼ねて行なうことへの一つの示唆となるものと思う。とにかく、生草不足の早春に消雪によって約2倍、更に追肥によって約3倍の増収が得られることを実証した。

Ⅲ-5-(2) 1971年春の実験

1970年度に引き続き青森県岩木山ろくの嶽農場のGA散布による融雪促進処理をした牧草地

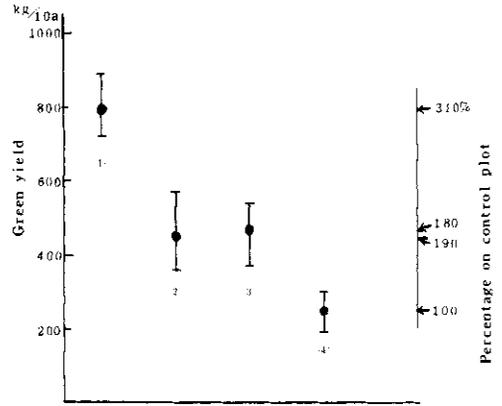


Fig. 37. Comparison of green yields of orchard grass under the condition with promoting treatment of snow melting and under the natural condition (1970, Hirosaki). Plots treated with: ① promoting of snow melting plus top dressing; ② promoting of snow melting only; ③ top dressing treatment on the snow cover; ④ at a control plot, without any treatment. Dates of melted snow: Apr. 16 at the plots with the promoting of melting, and May 2 at the control plot. Top dressing: on Apr. 20, with 8 kg/10 a (N-manure). Snow cover depth of the control plot was about 100 cm on May, 20.

の牧草の生育状態を調査した。

融雪促進処理：1971年3月19～20日に積雪約120～160cmにGAを100kg/10aの割合で散布した結果、約10～14日の消雪日を早めて4月5日より無雪化し、無処理区は4月16日前後が消雪日となった。

融雪後の処理：4月8日に追肥区を融雪処理区、無処理区内に設け、尿素N12kg/10aを散布した。したがって散布時、融雪処理区は消雪後3日目にあたり、無処理区には残雪が約50cmあり、1970年同様雪上に追肥散布を行なったことになる。

消雪後の気象経過：図38で見られるように処理区消雪直後の4月7日より無処理区が融けた4月16日までは平年並の気温で経過し、その後も平年並が続いたが、4月の6半旬より5月2半旬

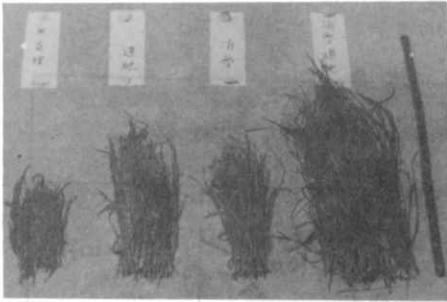


Photo 11. Comparison of green yields in orchard grass with and without promoting of the snow melting (1970, Hirosaki, Dake Farm). From the right: (1) promoting of the melting snow plus top dressing, (2) only promoting of the melting snow, (3) top dressing treated on the snow cover, (4) control.

まで異常低温が出て、数回の降霜を見る気象をたどった。5月中下旬は高目となったが、5月の月平均気温は平年を下回った。

生育調査：異常低温のために草の生育も進まないものと推察されたが、融雪促進区は消雪後約1カ月経過しているもので、5月11日に第1回の調査を行なった。その結果を表19に示した。第1回調査の時、生育量が少なかったため、刈取り草重の比較は誤差を招くので省略した。第1回調査後に気象経過が平常に戻ったので、約1カ月後の6月3日に第2回の調査を行なった。その結果は表の右に示すように、出穂時を過ぎたので処理別の差が縮まった。第1回目には消雪処理の有無による草のたけの比は1:1.45に対して、第2回目は1:1.16となり、他の処理別の区も第2回目の調査結果は比率的には低下している。これは生育ステージによって生じる結果である。牧草の第1回刈取りは消雪後約1カ月目に行なわれるので第1回調査に着目して比較すれば、消雪処理による増収は約2割弱にとどまった。1970年度の調査と比較して大幅に融雪促進の効果が減じたのは、融雪後の気温、日射の少なかったことに帰する。この異常気象は図のように50年来のものといわれているので、1971年度の結果は

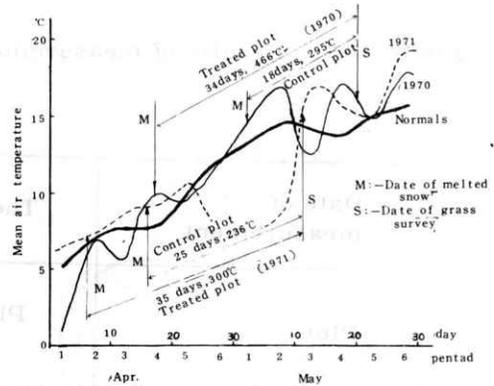


Fig. 38. Progress of air temperature in spring season (1970 and 1971, Hirosaki).

異例のはなはだしいものと考えられる。

III-5-(3) 消雪後の気象が融雪促進効果におよぼす影響

以上、2回の牧草生育に対する融雪促進の直接的効果について実験を行なったが、初年度の成績に比較して1971年の増収率が低かったのは、消雪後の気象経過の差異より生じたことと見られるので、両年の消雪後より約1カ月後の調査日までの積算気温を比較してみると(現地気象データ5月分不足のため弘前気象通報所のデータで比較)図35に書き入れた温度となった。すなわち、1970年春には処理区は466 deg-day、無処理区は295 deg-day、これに対し1971年春は処理区は300 deg-day、無処理区は236 deg-dayと温度条件に大幅な差があることがわかる。処理と無処理の間の温度差は45年春には171 deg-dayあったのに対し、1971年春には64 deg-dayしかなかったのが、処理間の差が少なかった有力な原因と考えられる。処理間の温度差が少なくなった誘因は融雪促進日数が16日に対し、1971年春は10日と少なかったことである。もう一つは、1970年春は一般に消雪が遅れたので処理による促進時期が遅れて気温の日平均が10.7 deg-dayであったが、46年春は6.4 deg-dayにすぎなかったことである。

この2カ年の結果よりうかがわれることは、融雪促進を早めることが処理効果をあげる手段であるが、促進日が時期的に早ければ効果が低下すること、また消雪を早めても春の気温が低い年は効

Table 19. Results of measurements of cut-down grass (1971).

Date of measurement	The first measurement, May 10		
	Plot	Plant height (cm)	Mean (cm) (Ratio)
	Control	11—17.5	14.1 (1.00)
	Promoting of snow melting only	18—28	21.0 (1.49)
	Top dressing of manure on the snow cover	14—21	16.6 (1.18)
	Promotion of snow melting and top dressing	24—36.5	27.5 (1.95)

果があがらないということである。気温の推移から見ると、45年は変動はあるが平年並の普通年とみられるが、46年は50年来の異常といわれるように特異年と見られる。

なお、消雪後の追肥は消雪効果を倍加し、増収を高める。雪上施肥も案外に流亡が少なく、肥効が認められるので、消雪と施肥の作業を同時に行なうか、融雪性能の高い窒素肥料を採用することで省力技術につながる示唆を得た。

IV. 研究結果の要約

IV-1. 雪面熱収支と融雪促進方法

農耕地の融雪促進の融雪熱源は、自然熱源を利用する方法を採らざるを得ない。そのために雪面の自然熱源よりの受熱形態を調べておく必要がある。

それで気象条件の異なる、青森、山形、新潟、鳥取の各県下で、1～3冬期の自然雪面、処理（散布）雪面の熱収支観測を行なった。その結果、

次のことがわかった。

- 1) 雪面受熱が正となる機会が多くなった時期を融雪期と見れば、当然のことであるが高緯度（北方）ほどおそくなる。
- 2) 融雪期の雪面受熱の期間平均日量は高緯度ほど多くなり、その内容は放射受熱量が多くなることで、大気伝達受熱は緯度的な差は認めがたい。
- 3) 高緯度ほど放射受熱量が多くなるのは、融雪期間が時期的におくれることと関連しているものと考えられる。
- 4) 雪面への黒色粉材の散布による放射受熱量の増加は北方ほど顕著で、散布による伝達受熱の変化への影響は少ないものと見られる。
- 5) 雪面受熱の形態より見て、東北、北海道地方では雪面黒化法が有利で、北陸、山陰地方ではウネ立て法を併用すれば効果的であろう。

IV-2. 散布方法の検討

黒色粉材の散布には、手まき、背負ダスター法、

The second measurement, June 3

Plant height (cm)	Mean (cm)	(Ratio)	Green yield (kg/10a)	(Ratio)
80—48	60.6	(1.00)	1,660	(1.00)
79—54	69.0	(1.05)	1,930	(1.16)
76—53	64.3	(1.02)	1,883	(1.13)
93—69	80.7	(1.13)	3,050	(1.84)

雪上車による方法、ヘリコプターなどによる方法がとられてきたが、小量散布で効果のあがる粉材では空中散布も能率的であるが（大沼ら、1965）大量散布には軽雪上車と散布機による散布方法が労力、経費の点から見て最も有利であることが、主として青森県下で行なった実験によって認められた。

Ⅳ-3. 各種粉材の融雪性能

雪面黒化法に使用される粉材の融雪性能の比較試験を新潟、青森県下で実施した結果、性能がよくて、取扱い、価格、量産などの点からも検討して、有望な新粉材を選択した。大量散布の粉材としては土壌改良剤に類する安価な肥料が適している。

Ⅳ-4. 雪面ウネ立て法

青森、鳥取県下で、雪面ウネ立て法の作業方法について新しくウネ立て用スノーブラウを考案し、これを軽雪上車でケン引する方法を採用し、山形

県下で行なった人力作業の約100倍の能率で作業しうることを実験した。また処理後の融雪効果を調べた結果、処理時期が早すぎて効果があがらなかった。それでウネ立て法の効果をあげるための考察をした。

Ⅳ-5. 融雪促進による牧草の増収

消雪日を早めることによる早春の牧草の増収について青森県下で調査したが、融雪後の気象経過によって収量に影響を受けることを認めた。融雪促進後の気象経過が平年並の年には処理区の生産は放置区の約2倍となり、消雪追肥区は約3倍となったが、融雪促進が順調に行なわれてもその後低温が来た1971年春には約1.5倍、追肥区約2倍にとどまった。また、残雪上からの追肥が生産を高めることが実験により確かめられたが、これは融雪促進作用を兼ねた肥料を追肥材料に選定すれば良策であることを示唆している。

V. 今後の問題点

- 1) いずれの融雪法も処理時期の選定が、その結果を左右することから、各地の気候条件に立脚した処理適期の検討が残された課題の一つである。
- 2) 散布に軽雪上車を使用するのが適当であることを知ったが、国産のものは出足が速いが、馬力相応のケン引力がなく、作業機としては不向きである。作業機としての改良が望ましい。また、冬の遊休農機を雪上作業機として利用しうるかどうかを検討する。
- 3) 雪面受熱量と簡単な気象観測要素との相関性を検討しておく。
- 4) 早期消雪地の気象環境の調査により、消雪処理の農業上の効罪を検討する。

あ と が き

実験地を気象条件の異なる遠隔地に求めなければならぬので現地作業、調査に制限があり、また処理時期なども現地気象に適合しない予定日になった場合もあり、十分な実験研究とはいえなかったが、実験資料を主とした報告とした。

参 考 文 献

古川巖, 1966: 消雪促進の効果と費用. 日本積雪連合資料, No. 79. (1928~1965の融雪促進関係の和文文献あり.)

Geiger, R., 1965: *The Climate Near the Ground*, Harvard Univ. Press, 611 pp.

中村千里, 大沼匡之, 1966: 気象環境より見た融雪促進法の検討. 雪氷, 28, No. 6, 155-160.

成瀬謙二ら, 1970: 気温融雪の野外研究. 低温科学, A, 28, 191-202.

小口八郎, 1954: 融雪に及ぼす気温及び雪面の影響について. 農業総合研究所, 雪の研究, No. 1, 33-41.

大沼匡之ら, 1965: 農耕地における融雪促進法に関する研究. 防災科学技術総合研究報告, No. 3, 51-73.

Onuma, T., 1967: Studies on heat balance on natural snow surfaces and promotion of melting of snow. In "Proceedings of the International Conference on Low Temperature Science, 1966, Physics of Snow and Ice," vol. 1, 785-796.

大浦浩文, 1951: 積雪による光の反射及び透過について, II. 低温科学, S, 6, 35-66.

Sverdrup, H.U., 1934: The eddy conductivity of the air over a smooth snow field. *Geophys. Publ.*, 11, No. 7, 1-69.

Wilson, W. T., 1940: An outline of the thermodynamics of snow melt. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 22, 182-195.