－研究記録（Research Note）－

木質バイオマス燃焼灰の活用に向けた検討（5）灰の明度と融雪効果

折橋　健，安久津　久*1，原田　陽*2

Study on the use of woody biomass combustion ash (5) Ash brightness and snow melting effect

Ken ORIHASHI, Hisashi AKUTSU, Akira HARADA

キーワード：地域エネルギー，木質バイオマス，燃焼灰，融雪効果

塗料や防腐剤等の化学物質を含まない木質燃料に由来する，いわゆるクリーンな木質バイオマス燃焼灰について融雪試験を実施し，融雪効果を既存の融雪資材（炭酸カルシウム，石炭灰）と比較するとともに，灰の明度と融雪効果の関係について検討した。また，融雪効果がやや劣る灰について，効果の改善方法を検討した。

1. はじめに

近年道内では，木質バイオマスの地域エネルギー利用が拡大しており[1)]，従来の利用先（木材産業や製紙産業など）に加えて発電施設，公共施設，医療機関・福祉施設，宿泊施設・浴場，洗濯業等で利用が広がりつつある。一方，こうした利用の進展に対して，木質バイオマス燃焼灰（以下，灰とする）の有効利用を図ることが重要となってきており，林産試験場に対しても，道内の自治体やエネルギー事業者からの相談が増えている。そこで著者らは，塗料や防腐剤等の化学物質を含まない木質燃料に由来する，いわゆるクリーンな灰について，性状分析[2)]や用途の検討[3,4)]を行っており，用途については，農用地等での幅広い利用を念頭に，融雪資材およびpH矯正資材を考えている。

融雪資材化に向けたこれまでの検討の中で，灰は，既存の農用地向け融雪資材に対して概ね同等の融雪効果を示した[3,4)]。一方，乾燥状態の灰の明度には幅があり，見た目の色が黒に近いものから白に近いものまで様々であるため，灰の明度と融雪効果の関係については，さらにデータの蓄積が必要と考えられた。そこで本研究では，道内で採取した灰を明度によって3段階に分け，各段階より灰2試料を供試して融雪効果を比較した。また，比較において融雪効果がやや劣る灰が認められたため，その効果を改善する方法について検討を行った。

2. 試験方法

2.1 試験1：灰の明度と融雪効果の関係把握

2.1.1 灰および資材

道内の木質専焼ボイラー5基（350～1200kW）より，乾燥状態の灰10試料（主灰5，飛灰5）を採取した。その明度（L^*）を測色色差計（日本電色工業製，ZE6000）にて測定したところ，30～56であった。そこで，明度を30，40，50台の3段階に分け，各段階より2試料ずつ，計6試料を選んで融雪試験に用いた（**第1表**）。また，融雪効果の比較用として，既存の農用地向け融雪資材である炭酸カルシウム（商品名：防散融雪タンカル）と石炭灰（商品名：融雪アッシュ）を使用した（第1表）。

灰および石炭灰は，目の開きが1mmのふるいにかけ，1mmパスの画分を供試した。炭酸カルシウムは粒状物であったが，目の開きが1mmのふるいを通るように粉砕して供試した。また，水分を含んだ状態での上記試料の明度を把握するため，重量ベースで試料2に対して水1の割合で混合し，水分33%に調整したものについて，測色色差計で明度測定を行った。

2.1.2 融雪試験

試験地は，林産試験場内の日射を遮るものがない

第1表　供試した灰，資材の明度（*L）**

	試　料	明度（L^*）	目視による色	備　考
木質燃焼灰	灰30A	32	スレートグレイ	主灰
	灰30B	30	スレートグレイ	飛灰
	灰40A	40	朽葉色	主灰
	灰40B	41	灰茶	飛灰
	灰50A	55	ベージュ	主灰
	灰50B	54	砂色	飛灰
炭酸カルシウム		30	チャコールグレイ	市販融雪用
石炭灰		46	グレイ	

明度(*L**)：0～100の値を取り，黒いほど0に，白いほど100に近い値となる。目視による色：JIS慣用色名で標記[5]。試料水分：湿重基準で2%未満であった。

場所に設けた。その中に，1m×1mの区画を計27区画作成した。区画どうしの間隔は1.5m以上確保した。灰6区，比較用資材2区および無散布区の計9区に対し，各3区画を無作為に割り当てた。

灰や資材の散布は，2020年の2月下旬に行った。散布量は，既存資材の散布量を目安に区画あたり20g（20g/m^2）とした。散布時の積雪は約55cmで，積雪の状態は地面～地上約35cmがざらめ雪，同約35～45cmがこしまり雪，同約45～50cmがざらめ雪，同約50cm～雪上が新雪であった。各区画の中央部に積雪測定点を2点設け，散布後の積雪減少量（2点平均）を調べた。測定期間中，降雪があった場合には測定を中断した。雪が止んだ後，慎重に除雪を行って散布面を露出させた。全ての区画の除雪が終了した段階で積雪深を測定し，そこから測定を再開した。降雪前最後の測定時と除雪後最初の測定時では，積雪深が若干異なる区画もあったが，一律積雪減少がなかったものとし，中断期間の日数は散布後の経過日数から除外した。測定は，融雪効果の比較に用いた炭酸カルシウムおよび石炭灰の散布区における積雪減少量が30cmに達した日に終了した。試験地付近における測定期間中の日平均気温は，平均値で-5.4℃であった。

2.2　試験2：融雪効果改善方法の検討

2.2.1　灰および資材

試験1において融雪効果がやや劣った灰50Aを検討に用いた。また，融雪効果の改善用に市販の木炭（商品名：融雪炭素，明度(*L**)：17）を，比較用に試験1と同じ石炭灰を供試した。これらの灰や資材については，試験1と同様に目の開きが1mmのふるいをパスした画分を用いた。

2.2.2　融雪試験

融雪試験の場所や方法は，次に記載する事項を除き，試験1と同様である。灰50Aの融雪効果を改善する方法として，散布量の増量および木炭（黒色物質）との混合を検討した。試験区は，灰1倍量区，灰1.5倍量区，灰と木炭の乾物重量比7：3混合区（明度(*L**)：42，以下，灰・木炭混合区），および石炭灰区の計4試験区とした。散布量は区画あたり20g（20g/m^2）とし，灰1.5倍量区のみ30g（30g/m^2）とした。散布は2020年の3月上旬に行った。散布時の積雪は約55cmで，積雪の状態は地面～地上約32cmがざらめ雪，同約32～40cmがこしまり雪，同約40～48cmがざらめ雪，同約48cm～雪上がこしまり雪であった。試験地付近における測定期間中の日平均気温は，平均値で-1.7℃であった。

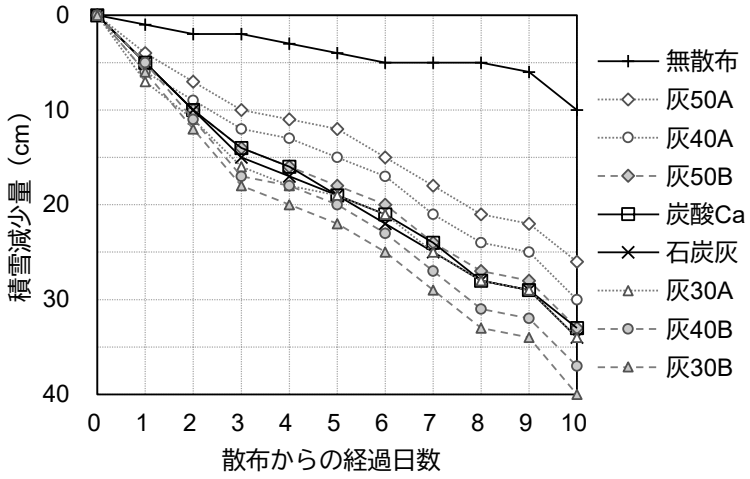
3．結果と考察

3.1　灰の明度と融雪効果の関係

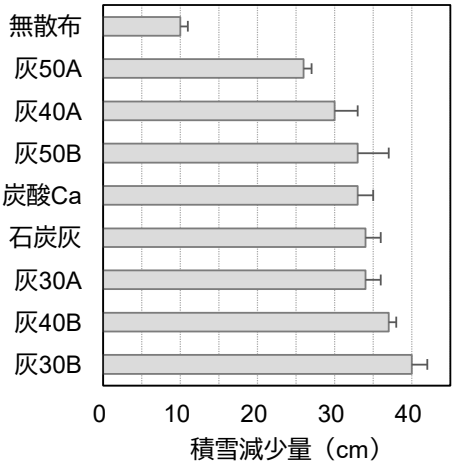
試験1における積雪減少量の推移を**第1図**に示す。灰や資材の散布区における積雪減少量は，無散布区よりも常に大きく，散布による融雪効果が認められた。既存の農用地向け融雪資材である炭酸カルシウム，石炭灰の散布区では，積雪減少量が30cmに到達するまでの日数が10日であった。これに対して灰散布区では，灰50Aを除いて30cm到達日数が8～10日であった。灰50Aについては，10日で26cmの積雪減少があり，平均値（2.6cm/日）ペースでは30cm到達日数が12日と推計された。このように，灰の融雪効果は既存の融雪資材である炭酸カルシウムや石炭灰と比べて概ね同等以上だったが，やや劣る場合もあることが示された。

第2図に経過日数10日における積雪減少量を大きさの順に並べて示す。積雪減少量が最も大きかったのは明度が30台の灰30Bであるのに対し，無散布区を除き減少量が最も小さかったのが明度50台の灰50Aであり，灰の明度が融雪効果に影響するように見える。しかしその他の灰については，明度と積雪減少量の関係がはっきりとせず，明度が30台の灰30Aと50台の灰50Bの間でも積雪減少量に大差がなかった。全体的には，乾燥状態での灰の明度と融雪効果の関係は不明確であったと言える。

灰による融雪の仕組みについては，1つには灰粒子が太陽光線を吸収し，これを熱として周囲に放出



第1図　試験1での積雪減少量の推移（平均値，n=3）



第2図　試験1における散布からの経過日数10日における積雪減少量（平均値と標準偏差，n=3）

することによる機構が考えられる。本研究で着目した灰の明度は，この機構に関係する可能性があるが，上記のとおり，乾燥状態で測定した灰の明度と融雪効果との間には明瞭な関係は認められなかった。これに関連して，水分を含んだ灰の明度を**第2表**に示す。乾燥状態での明度（第1表）と比べて総じて値が小さく，目視でも黒みが増していた。これは，灰が水分を含むことにより光を反射しにくくなる（光の吸収率が上がる）ことを意味するが，灰の雪上散布時においてもこれと同様の現象が起こると考えられる。もし，灰の色が一定以上の黒さに達すると，融雪効果に差が出にくくなるとすれば，上記の結果（第2図）も起こり得ると思われる。

一方，灰による融雪の別の仕組みとして，灰の含有成分による化学的な機構，例えば，凍結防止剤（塩化カルシウム等）と同様の機構（灰に含まれる無機塩が水に溶けることで生じる溶解熱や凝固点降下による融雪）が考えられ，この影響により上記の結果（第2図）となった可能性もある。これに関連して，本試験では，明度が近い場合でも飛灰の方が主灰よりも積雪減少量が大きくなる傾向が伺えた。著者らによる灰の性状分析[2)]では，主灰と飛灰で無機成分の組成が幾分異なることを把握しており，その影響の可能性が示唆される。

以上のように，灰の明度と融雪効果の関係が不明確であったことについては，物理的，化学的の両面からその可能性が考えられる。このため，要因解明にはこれらを考慮した検討が必要と考えられる。

3.2　融雪効果の改善方法

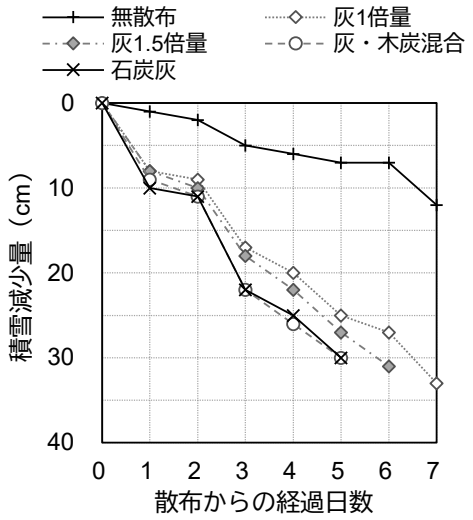
第3図に試験2における積雪減少量の推移を，**第4図**に経過日数5日における積雪減少量を示す。灰・木炭混合区については，比較対象である石炭灰区とほぼ同様の推移を示した。また，灰1.5倍量区は，灰1倍量区と石炭灰区の間に位置する形で推移した。積雪減少量が30cmに到達するまでの日数は，石炭灰区と灰・木炭混合区で5日，灰1.5倍量区で6日，灰1倍量区で7日であった。

本研究では，融雪効果の改善方法として散布量の増量と木炭との混合を試みたが，以上のように後者の方がより効果的な方法であった。前者に関しては，増量の割に効果が弱いと考えられた。このため，改善に向けて散布量のさらなる増量も思い浮かぶが，灰は強いアルカリ性資材であり，多様な無機微量元素を含むことから，融雪水や散布地土壌の安全性確保を考慮し，検討は慎重に行うべきと思われる。一方後者については，黒色物質である木炭との混合により，散布面における太陽光線の吸収と熱放出の機構が改善されたものと推測される。

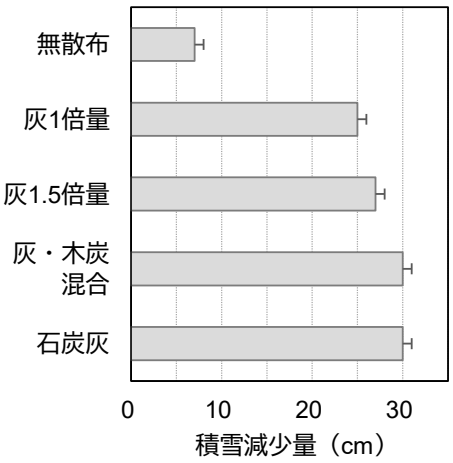
第2表　水分を含む灰，資材の明度（L^*）

	試　料	明度（L^*）	目視による色	備　考
木質燃焼灰	灰30A	14	黒	主灰
	灰30B	10	黒	飛灰
	灰40A	19	墨	主灰
	灰40B	18	墨	飛灰
	灰50A	34	すす竹色	主灰
	灰50B	26	スレートグレイ	飛灰
炭酸カルシウム		9	黒	市販融雪用
石炭灰		29	藍鼠	

明度（L^*）および目視による色：第1表に同じ。試料水分：湿重基準で33%に調整した。



第3図　試験2での積雪減少量の推移（平均値，n=3）



第4図　試験2における散布からの経過日数5日における積雪減少量（平均値と標準偏差，n=3）

4. まとめ

塗料や防腐剤等の化学物質を含まない木質燃料に由来する，いわゆるクリーンな木質バイオマス燃焼灰6試料について融雪試験を実施した。その中で，6試料の融雪効果を既存の融雪資材である炭酸カルシウムや石炭灰と比較するとともに，灰の明度と融雪効果の関係について検討した。また，融雪効果がやや劣る灰について，効果の改善方法を検討した。これらの検討により以下の結果を得た。

- 灰6試料の融雪効果は，既存の融雪資材である炭酸カルシウムや石炭灰と比べて概ね同等以上だったが，やや劣る場合も認められた。
- 乾燥状態で測定した灰の明度と融雪効果の関係は明らかではなかった。
- 融雪効果がやや劣る灰における融雪効果の改善方法として，散布量の増量よりも木炭との混合の方が有効であった。

謝　辞

本研究の実施にあたり，燃焼灰のご提供元，ならびに融雪試験にご協力いただいた皆様に，厚くお礼申し上げる。

引用文献

1）北海道水産林務部林務局林業木材課木質バイオマス係：林産試だより2020年11月号, 10（2020）.
2）折橋健・安久津久・丹羽忍・大塚英幸：木材学会誌67(1), 33-43（2021）.
3）折橋健・西宮耕栄・山田敦・安久津久：日本木材学会北海道支部講演集49, 61-64（2017）.
4）折橋健・西宮耕栄・山田敦・安久津久・原田陽：日本木材学会北海道支部講演集51, 29-31（2019）.
5）財団法人日本色彩研究所：“デジタル色彩マニュアル”, クレオ, 東京（2004）.

－企業支援部　研究調整グループ－
－*1：利用部　資源・システムグループ－
－*2：利用部　微生物グループ－
（原稿受理：2021.10.14）