

表明選好法を用いた除雪の便益評価*

Benefit Evaluation of Snow Removal with Stated Preference Method*

森杉壽芳**, 齋藤雅樹***, 林山泰久****

By Hisa MORISUGI**, Masaki SAITO***, and Yasuhisa HAYASHIYAMA****

1. はじめに

冬期の積雪は、交通障害を引き起こし、市民生活や社会・経済活動に多大な影響を及ぼしている。こうした状況に対応し国土交通省や地方自治体は冬期における安全・円滑・快適な交通の確保を目指し除雪事業に取り組んできている。一方、我が国の厳しい財政状況の中、除雪事業においても効率的な事業の執行が望まれており、その効果を定量的に把握することが必要とされている。

除雪便益に関する本研究の立場は、全ての交通プロジェクト評価マニュアルで利用されている消費者余剰分析が望ましいと考える。なぜならば、第1に、一般均衡交通需要曲線を用いれば、市場メカニズムを経由する波及効果を計測することが出来るからである。第2に、一般化費用に除雪による時間定時性、快適性等の項目を導入することで一般化費用の低減分として表現できるからである。この観点から田邊ら¹⁾がサーベイを行っている既往の研究を分類すると、以下の通りである。波及効果を計量モデルなどで計測しようとしている研究として五十嵐²⁾、千葉らの研究³⁾、McBride and Josephの研究⁴⁾がある。また、諸橋・梅村⁵⁾は地価で計測しようとしている。これらはそのモデル設定において個人の行動原理と結びついていないという恣意性に関する問題があり、交通量と連動するモデルの方が望ましい。一方、交通量に注目し、一般化費用で除雪の効果を表現しようと試みた研究として、酒井・栗山⁶⁾、Karl MORIZ⁷⁾、北海道開発局⁸⁾並びにMcBride and Joseph⁴⁾の研究がある。これらはいずれも除雪が直接被害の節約に与える効果、遅延損失などを計測している。しかし、除雪が定時性及び運転の快適性を与える効果を金額換算することに成功していない。さらに、林山ら⁹⁾はCVMによる除雪便益を計測しているがこれも交通行動と連動していないために、その推定値の信頼性が低い可能性がある。このように快適性や定時性をも考慮した消費者余剰分析による除雪便益計測に成

功している研究は、著者の知る限り、存在しない。その際、問題となるのは、一般化費用の推定と交通量の変化である。後者については弾力性が低く、変化しないものと仮定し、本研究では前者に焦点をあてる。森川¹⁰⁾は快適性や安全性といった定性的属性の評価にはSPデータが適していると述べており、本研究ではルート選択に関するアンケートをドライバーに対して行い、SPデータを収集し、一般化費用の計測を試みる。

なお、本研究は国土交通省東北地方整備局道路部との共同調査の中で行われたものである。しかし、本研究の結果は国土交通省に承認されたものではないことを付記しておく。

2. 調査の概要と本研究の考え方

(1) 対象地域の設定

対象地域は冬季に除雪の必要な積雪地域の都市間道路をイメージしている。区間長を60kmに設定し、対象区間の冬季の一般的な所要時間を80分に設定した。

(2) アンケートを実施する上での共通条件

アンケートを回答するに当たり以下の①～③の3つの条件を設定した。

- ①乗車する車は、滑り止め（スタッドレスタイヤ・チェーン）装着のFF乗用車
- ②回答者自身が運転
- ③車線数は片側1車線の対面2車線

(3) アンケートの種類

走行時間帯、天候・視界などの想定状況に対応して、表1のような3種類のアンケート票を配布した。

表1 アンケート調査票の種類

種類	走行時間帯	天候・視界
①	昼間	晴れ・視界良好
②	夜間	晴れ・視界良好
③	昼間	降雪・視界不良

(4) アンケート配布数と回収率

アンケート票を積雪地域に居住している自動車利用者

*キーワード：公共事業評価法、除雪事業便益、意識調査分析

**正員、工博、東北大学教授 大学院情報科学研究科

***学生員、情報修、東北大学大学院経済学研究科

****正員、工博、東北大学助教授 大学院経済学研究科
(〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉06,

TEL 022-217-7502, FAX 022-217-7500)

を対象にして各種類 20 票ずつ配布した。回収は郵送にて行った。回収率、有効回収票数等について表 3 に示す。

表 2 調査票配布・回収状況

種類	配布数	有効回収票数	回収率
①	20	9	45%
②	20	8	40%
③	20	7	35%

(5) 除雪水準の設定

本研究では除雪水準を表 3 の 6 ランクに分けて設定し被験者に対しては各除雪水準についてのイメージ写真を示した。ただし、現在の除雪水準における路面状況は概ね 3 と仮定する。

表 3 除雪水準の設定

除雪水準	状態
1	無雪期と同様に舗装面が完全に露出する状態(アスファルト舗装だと真っ黒な状態)
2	うっすらと雪が残る状態(アスファルト舗装だと灰色の状態)
3	圧雪は残るが、わだちは無状態
4	2,3の状態に加え路面が凍結している状態(アイスバーン状態)
5	除雪はされ、舗装面は見えるが、表面が凍結している状態
6	除雪・融雪は全く行わない

(6) アンケートの質問形式

図 1、図 2 のような一対比較形式のアンケートを上述のような状況設定の下で実施し、自動車利用者の効用関数を求め、価値意識を推定した。図 1 においては、定時性と料金のトレード・オフを図 2 においては、快適性と料金のトレード・オフについて尋ねている。通行料金としては 50 円～1500 円までを設定している。なお、快適性に関しては各除雪水準について尋ねている。その他に所要時間と料金のトレード・オフについて質問を行っている。

A ルート：積雪のため目的地までの時間が一定ではなく、B ルートよりも時間がかかる可能性がある

B ルート：除雪がなされており、確実な時間で行けるが、通行料金が〇〇円かかる

上記のような仮想的な一対の経路があるとき、次の 1～3 のどれを選びますか。

1. A ルート

2. どちらとも言えない

3. B ルート

図 1 定時性に関する一対比較の質問形式

A ルート：路面は圧雪状態ですが、整正され、轍はない状態（水準 3）
雪のため、走行危険性が大きく、運転時の緊張感から疲れる。

B ルート：路面は完全に舗装面が見える状態（水準 1）
雪による走行危険性が低くなるとともに、雪に対する緊張感から解放され、快適な走行が確保されるが、通行料金が〇〇円かかる

上記のような仮想的な一対の経路があるとき、次の 1～3 のどれを選びますか。

1. A ルート

2. どちらとも言えない

3. B ルート

図 2 快適性に関する質問形式

(7) 効用関数の設定

効用関数の関数型を(1)式のように線形の効用関数を設定した。

$$U = a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + a_5X_5 + a_6X_6 + a_7X_7 + a_8X_8 \tag{1}$$

X_1 ：料金（円）， X_2 ：所要時間（分）， X_3 ：定時性ダミー（定時性確保無し=1）， $X_4 \sim X_8$ ：路面ダミー 1～5（除雪水準 2～6，全て 0 の時除雪水準 1）， $a_1 \sim a_8$ ：各属性のウェイト

回答者はルート A とルート B の効用差を判断して経路選択を行うと仮定し、効用差を表す変数 z を（2）式に示すように判断誤差を考慮して導入し、ロジット・モデルを構築して、ウェイトを推定した

$$z = U^A - U^B = \sum_{i=1}^8 a_i (X_i^A - X_i^B) + \varepsilon \tag{2}$$

U^A ， U^B ：A 及び B ルートにおける効用
 ε ：ガンベル分布に従う確率変数

3. 調査結果

(1) パラメーター推定結果

設定状況毎の効用関数のパラメーター推定結果を表 4 に示す。推定された各パラメーターを通行料金のパラメーターで除することで利用者の円単位の一般化費用が計測される。それを表 5 に示す。
想定状況①で見ると、除雪水準 3（現況）の快適性の便益（一般化費用の減少）は除雪を実施しない場合に比べて 734.06-229.92=504.14(円／台)であることが分かる。所要時間に対する貨幣換算値は想定状況①の場合で 7.80(円／台分)であり、国土交通省道路局のマニュアルペ

ースの時間評価原単位（乗用車：55.82 円／台分）と比べると小さくなっている。本研究とマニュアルの想定している乗車人数の違い（本研究：1 人，マニュアル：1.44 人）を勘案しても，本研究における値の方が全般的に小さい。これは，対象地域の所得水準が全国平均の約 80％であることの影響を受けているものと考えられる。

一方，定時性確保に対する便益原単位は，想定状況①の場合で 138.24(円／台)と大きな値であり，積雪時において自動車利用者は時間短縮よりも定時性の確保を重要視していることが分かる。

表 4 パラメーターの推定結果と検定結果

	①昼・晴れ	②夜間・晴れ	③昼・雪
料金(t値)	-0.0068(-15.72)	-0.0065(-17.12)	-0.0043(-14.67)
所要時間(t 値)	-0.0531(-3.16)	-0.0551(-2.79)	-0.0224(-1.46)
定時性(t値)	-0.9422(-9.92)	-1.1042(-13.27)	-0.7172(-8.17)
水準2ダミー(t 値)	-0.7898(-12.03)	-0.3304(-4.53)	-0.1345(-1.78)
水準3ダミー(t 値)	-1.5671(-10.63)	-2.5692(-18.90)	-1.6446(-12.45)
水準4ダミー(t 値)	-1.9099(-12.86)	-4.9010(-31.27)	-3.3208(-21.37)
水準5ダミー(t 値)	-3.6850(-22.05)	-4.7504(-24.68)	-3.0614(-16.18)
水準6ダミー(t 値)	-5.0032(-31.58)	-7.3466(-37.48)	-4.7368(-24.20)
自由度修正済み尤度	0.4503	0.4802	0.3334
的中率(%)	82.36	85.93	79.53

表 5 貨幣換算値

	①昼・晴れ	②夜間・晴れ	③昼・雪
所要時間	7.80	8.48	5.24
定時性	138.24	169.98	167.97
水準2ダミー	115.88	50.85	31.50
水準3ダミー	229.92	395.50	385.19
水準4ダミー	280.22	754.43	777.79
水準5ダミー	540.66	731.24	717.03
水準6ダミー	734.06	1130.89	1109.44

(3) 便益原単位

表 5 より，1～5 の各除雪水準の未除雪（除雪水準 6）に対する一般化費用の減少分を求め，対象区間長 60Km で除して各除雪水準についての快適性に関する便益原単位を求めた。それを表 6 に示す。なお，ここでは区間長に関して限界便益が一定であると仮定している。

表 6 各除雪水準の便益原単位

	便益原単位(円／台・km)				
状況	除雪水準1	除雪水準2	除雪水準3	除雪水準4	除雪水準5
①	12.23	10.30	8.40	7.56	3.22
②	18.85	18.00	12.26	6.27	6.66
③	18.49	17.97	12.07	5.53	6.54

表 6 より，想定状況①（昼間・晴れ）に比べて，②（夜

間・晴れ），③（昼間・雪）の評価値が最大で約 2 倍になっており，運転環境が厳しくなるにつれて便益原単位が大きくなる傾向があることがわかる。

4. 従来から行われている方法との比較

現況の除雪水準である水準 3 について，国土交通省道路局マニュアルによる方法で求めた総便益と本研究の表明選好法で求めた便益原単位より算出した総便益の比較を試みる。対象地域の路面状態別発現日数と路面状態別走行速度を表 7 と表 8 に示す。なお，対象区間の平均交通量は 21,368 台／日である。

表 7 路面状態別発現日数の設定

整備水準	発現状況	乾燥・湿潤	圧雪	凍結	未除雪	計
水準1		365	0	0	0	365
水準3		296	37	32	0	365
水準4, 5		291	3	71	0	365
水準6		291	3	33	38	365

表 8 路面状態別走行速度・所要時間の設定

路面状態	低減割合(%)	設定速度(km/h)	所要時間(分)	備考
乾燥・湿潤	100	44	83.5	水準1
うっすら雪	95	42	87.4	水準2
圧雪	90	40	91.8	水準3
凍結	80	35	104.9	水準4,5
未除雪	70	30	122.4	水準6

資料：道路時刻表 1999

* ただし，うっすら雪の値は，乾燥・湿潤と圧雪の補間値である。

(1) 従来(国土交通省道路局マニュアルベース)の方法

従来型の総便益は，走行時間短縮効果＋走行経費削減効果＋交通事故減少効果，である。便宜上，利用交通量を全て乗用車扱いとして乗用車の時間価値原単位 55.82 円／台・分を用いて，1 台当たりの一般化費用を算出すると表 9 のようになる。これより，未除雪（除雪水準 6）に対する，現況の除雪水準（除雪水準 3）の便益額は 14.4 億円／年と計測される。

表 9 マニュアル・ベースでの想定状況①のもとでの各除雪水準の一般化費用（円／台）

除雪水準	所要時間	走行経費	交通事故	合計	差(対3:現況)
1	4658	679	110	5447	-717
3	5256	685	224	6165	0
4	5856	693	267	6816	651
5					
6	6832	727	267	7826	1662

* 発現日数の明らかでない除雪水準 2 は省略している。また，マニュアルベースでは区別の付かない除雪水準 4 と 5 は同一の値にしてある。

一方、対象区間で除雪水準 3 のために要する費用は 2.1 億円/年であり、純便益は 12.3 億円/年、費用便益比は 6.9 となる。よって、この場合の効率性基準は満たされている。

(2) 表明選好法による総便益

想定状況 $k(=1\sim3)$ の総一般化費用の式は(3)式のようになる。

$$C_K = \frac{U_k}{a_{k1}} = \sum_i \beta_{ki} X_i \quad (i=2\sim8) \quad (3)$$

$$\beta_{ki} = a_{ki} / a_{k1}$$

表 10 表明選好法での想定状況①のもとでの各除雪水準の一般化費用 (円/台)

除雪水準	快適性	所要時間	定時性	合計	差(対3:現況)
1	0	651	0	651	-295
2	116	682	0	798	-148
3	230	716	0	946	0
4	280	818	138	1237	291
5	541	818	138	1497	551
6	734	955	138	1827	881

(3)式と表 8 より、想定状況①のもとで各除雪水準について一般化費用を求めると表 10 のようになる。なお、定時性は除雪水準 1～3 において確保されるとしている。例えば未除雪(水準 6) から現況(水準 3)へ向上した場合を考えると、 $1827-946=881$ であるが、これが 1 台、1 トリップあたりの便益額となる。これに表 8 の発現日数と平均交通量を考慮して、総便益を計算すると、

$$\{(C_{乾燥} \times 291 + C_{圧雪} \times 3 + C_{凍結} \times 33 + C_{未除雪} \times 38) - (C_{乾燥} \times 296 + C_{圧雪} \times 37 + C_{凍結} \times 32)\} \times 21000 = 7.5(\text{億円/年})$$

$$\text{ただし、} C_{乾燥} = C_{水準1} = 651, C_{圧雪} = C_{水準3} = 946$$

$$C_{凍結} = C_{水準4} = 1237, C_{未除雪} = C_{水準6} = 1827$$

が得られる。費用 2.1 億円/年を考慮すると純便益は 5.4 億円/年、費用便益比は 3.6 となる。従来型と同様にこちらの方法でも効率性基準は満たされている。

(3) 両者の比較

従来型(マニュアル・ベース)による純便益、費用便益比の値は表明選好法による値のそれぞれ、2.3 倍、1.9 倍であった。表 9 を見ると走行経費、交通事故の一般化費用の差分はほとんど無く、マニュアル・ベースの便益は主に所要時間短縮効果からなっていることが分かる。表 10 を見ると表明選好法の便益は快適性の向上の効果が一番大きく、次に所要時間短縮効果、そして定時性の確保と続いている。表 9、表 10 を比較検討すると所要時

間の一般化費用の違いが一番大きい。これは時間価値原単位の違いによるものであり、総便益の違いに一番影響していると考えられる。

5. 最適除雪水準についての考察

想定状況①のもとで上記の方法と同様に他の除雪水準について便益を計算したものを表 11 に示す。

表中の便益には快適性の向上・時間短縮効果が含まれており、除雪水準が 1～3 においては定時性が確保され、除雪水準 4～6 においては確保されないものとしている。

完全に除雪する水準 1 まで向上させると、便益額は 13.8 億円/年となる。一方、除雪水準 1 を維持するためには、ロード・ヒーティングなどの設備が必要となる。ロード・ヒーティングにはボイラー方式、地下水還元方式、電熱融雪方式などがあるが、例えば、ボイラー方式の場合の費用(維持費を含む)は、幅員 5.5m の道路で区間長を 60 km とすると 15 年償却を仮定して 16.5 億円/年の費用がかかる。費用便益比は 0.84 となり、社会的効率性基準は満たされない。

表 11 各除雪水準毎の便益算定結果

除雪水準設定	対象区間の便益 (億円/年)	単位Km当たりの便益 (百万円/年Km)
水準6→水準3 (未除雪)(圧雪)	7.5	12.5
水準3→水準1 (圧雪)(乾・湿潤)	6.4	10.7
水準4.5→水準3 (凍結)(圧雪)	2.7	4.5
水準4.5→水準1 (凍結)(乾・湿潤)	9.1	15.2
水準6→水準1 (未除雪)(乾・湿潤)	13.9	23.2
水準6→水準4.5 (未除雪)(凍結)	4.8	8.0

表 11 の対象区間の便益に直線回帰を適用して(3)式の便益曲線を作成した。また、除雪に関して限界生産力逓減の法則が成り立つと仮定し、費用曲線が除雪水準に対して逓増的になると考えた。従って、現状の除雪水準に要する費用 2.1 億円、除雪水準 1 を達成するために必要な費用 16.5 億円に対して 2 次曲線、3 次曲線等を当てはめ、統計的に回帰分析を行った。そして、その中で最も適合度の高かった 2 次曲線を採用して費用曲線を(4)式のように求めた。

$$B = 2.758 \cdot l - 0.369 \quad (3)$$

$$C = 0.611 \cdot l^2 \quad (4)$$

B: 便益, C: 費用

I : 除雪水準 (ただし, 水準 1 を 5, 水準 6 を 0 と置き換えている.)

(3) 式と(4)式より限界便益曲線(MB)と限界費用曲線(MC)は(5)式と(6)式ようになる.

$$MB=2.758 \quad (5)$$

$$MC=1.222 \cdot I \quad (6)$$

(5)式と(6)式を図示したものが, 図 3 である. 限界便益曲線と限界費用曲線の交点が最適水準であるので, 図 3 より, 最適除雪水準は現況の除雪水準 (水準 3)

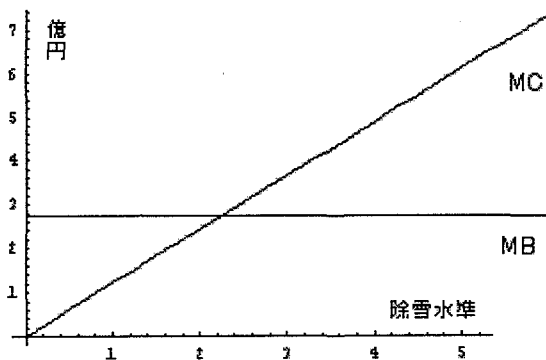


図 3 限界便益曲線と限界費用曲線

と現況よりも一つ上のレベル(水準 4)の間にあることが分かる. 地域住民から, 除雪水準の向上を望む声もあるが, 本研究の結果からは, 現況の水準がほぼ妥当なものだと考えられる.

6. おわりに

本研究では, 表明選好データ (SP データ) を用いて線形効用関数による Logit model を適用して除雪による快適性・定時性を含めた一般化費用の推定値を示した. 特に, 従来では考慮されることの少なかったドライバーの心理的影響に焦点を当てた. そして, 除雪水準毎の便益原単位を算出し, 最適除雪水準について考察した. 時間価値は現在マニュアルで使用されているものよりも小さかった. これは対象地域の所得水準が全国平均を下回ることが原因の一つと考えられる. 一方, 定時性に対する評価は高く, 積雪時においては時間短縮効果よりも定時性の確保の方が意識に昇ることがわかった. また, 快適性に関する便益原単位は晴れよりも雪というように運転環境が厳しくなるほど, 便益原単位が高くなる傾向が判明した. 最適除雪水準は, 限界便益曲線と限界費用曲線

の交点を求めて調べた結果, 現状の水準と現状よりも一つ下の水準の間にあることが示された. 総便益は従来から行われている時間短縮効果と走行経費削減効果と交通事故減少効果の和より小さかったが, 時間価値の違いが主な原因と考えられる. 時間評価値をどのように決めるかは重要な問題である. 特に今回は線形の効用関数を用いているが, 定時性や快適性などは所要時間に比例するかもしれないので, そのような関数型についても検討していく必要がある. また, 今回のアンケートでは前提条件としてトリップは必ず行われるものとしているが, 利用交通量が変動する場合の便益測定についても考慮していく必要がある.

【参考文献】

- 1) 田邊慎太郎・原文宏・下條晃裕・高木秀貴: 除雪の経済効果に関する考察, 寒地技術論文・報告集, Vol.13, pp.644-649, 1997
- 2) 五十嵐日出夫: 街路除雪の経済効果推定に関する試論, 土木学会論文報告集, No.196, pp.87-93, 1971
- 3) 千葉博正・佐藤肇一・谷口君雄・五十嵐日出夫: 冬期交通環境が産業に及ぼす影響について—札幌市を例として—, 第 3 回寒地技術シンポジウム講演論文集, pp.113-118, 1987
- 4) McBride & Joseph: Economic Impact of Highway Snow and Ice Control, C Utah DOT, TRR674, pp.58-63, 1987
- 5) 諸橋和行・梅村晃由: 豪雪都市の除排雪システムの経済評価, 日本雪氷学会誌 Vol.57, No.1, pp.3-10, 1995
- 6) 酒井孝・栗山弘: 道路除雪費用の評価手法, 日本氷雪学会誌, Vol.55, No.4, pp.327-334, 1993
- 7) Karl MORITZ: Effectively and Economy of De-icing Agent Spraying Systems, 10th PIARC Technical Report Vol.2, pp.297-306, 1998
- 8) 北海道開発局: 大雪国道・大雪国道除雪事業調査資料, 北海道開発局局長官房開発計画課, 1965
- 9) 田邊慎太郎・林山泰久・原文宏: 除排雪事業が冬期都市環境に及ぼす Option Price の計測, 環境システム研究, Vol.27, pp.45-56, 1999
- 10) 森川高行: ステイティッド・プリファレンス・データの交通需要予測モデルへの適用に関する整理と展望, 土木学会論文集 No.413/IV-12, pp.9-18, 1990

表明選好法を用いた除雪の便益評価

森杉壽芳**, 齋藤雅樹***, 林山泰久****

本研究では, 表明選好法を用いて除雪の便益評価と最適除雪水準に関する考察する. 具体的には, 一対比較形式のアンケートを行い, ロジット・モデルを用いて便益を算出する. 特に, 従来考慮されることのなかった自動車運転者の快適性や定時性に焦点をあてた. その結果, 積雪時においては時間短縮効果よりも定時性の確保の方が意識に昇ることがわかった. また, 晴れよりも雪というように運転環境が厳しくなるほど, 便益評価値が高くなる傾向があることが判明した. さらに, 様々な除雪水準について総便益を計算し, 費用を勘案して最適除雪水準について考察したところ, ほぼ現状の除雪水準が最適であることが示された.

Benefit Evaluation of Snow Removal with Stated Preference Method

By Hisa MORISUGI, Masaki SAITO, and Yasuhisa HAYASHIYAMA

The Purpose of this study is to evaluate benefit of snow removal with stated preference method, and to show the optimal level of snow removal. In order to do so, the questionnaire of pair comparison form is performed and benefit is computed by using Logit model. It focuses on an automobile driver's comfort and scheduled arrival time stability. Consequently, the total benefit was calculated for various snow removal levels, and it turns out that a present snow removal level is almost optimal.