

すべり抵抗と交通量に着目した冬期道路パフォーマンス評価

Road performance evaluation in winter focused on slip and traffic

北海学園大学工学部社会環境工学科 ○学生員 光原周平 (Shuuhei Mitsuvara)
 北海学園大学大学院工学研究科 学生員 竹口祐二 (Yuuji Takeguchi)
 北海学園大学工学部社会環境工学科 正会員 鈴木聡士 (Soushi Suzuki)

1. 研究の背景と目的

近年、我が国では地方自治体の財政難が問題となっている。特に積雪寒冷地では、冬期の交通渋滞や交通事故への対策が必要であり、その負担が財政難に拍車をかけている。冬期の交通問題の主要因として、雪の堆積による道路の幅員減少や、路面凍結によるスリップ等が挙げられる。その対策として、除排雪や融雪剤の散布等が行われているが、昨今の財政状況を勘案すれば、限られた予算での効率的実施が求められる。

そこで本研究では、走行速度の観点から DEA (Data Envelopment Analysis) および重回帰分析を活用して、冬期道路のパフォーマンス評価を行う。分析対象は、主に札幌市内を通る国道 230 号線 (北 1 条～中山峠) を交通センサス区間に基づいて区分した 14 区間 (表-1、図-1 参照) とし、上り方向 (至北 1 条)、下り方向 (至中山峠) に区分して、それぞれ分析する。これらの分析をもとに、各道路区間のパフォーマンスおよび特性を把握し、効率的かつ効果的な冬期道路の管理方策に関する示唆を得ることを目的とする。

2. 分析概要

本研究では、まず走行速度に関する重回帰分析を行う。ここでは、「走行速度」を目的変数に設定し、「すべり抵抗値」と「交通量」を説明変数とし、冬期道路の全体的特性を把握する。次に出力指向型の Context Dependent DEA モデル(CD-DEA-O)により、各区間のパフォーマンスを分析する。ここでは、出力項目に「走行速度」、入力項目に「すべり抵抗値」と「交通量の逆数」を設定し、2 入力-1 出力による各道路区間のパフォーマンス評価を行い、その結果に基づき、各区間の特性を把握する。ここで、パフォーマンス評価とは、“道路環境が厳しい(交通量が多く、すべりやすい)にもかかわらず、高いパフォーマンス(走行速度が速い)を発揮できているか”を分析することを意味する。以上に基づき、図-2 に本研究の分析フローを示す。

ここで「すべり抵抗値」、「走行速度」は、(独)土木研究所・寒地土木研究所が所有する実測データの提供を受けた。表-2 にデータ概要を示す。

表-1 分析対象 (各道路区間)

区間名	該当区間	区間名	該当区間
市街部 A	北 1 条～南 6 条	郊外部 C	川沿 6-2～石山 1-4
市街部 B	南 6 条～南 9 条	郊外部 D	石山 1-4～簾舞
市街部 C	南 9 条～南 19 条	郊外部 E	簾舞～豊滝
市街部 D	南 19 条～南 28 条	山間部 A	豊滝～錦 TN 西
市街部 E	南 28 条～南 34 条	山間部 B	錦 TN 西～定山溪東 3
郊外部 A	南 34 条～川沿 1-1	山間部 C	定山溪東 3～豊平峡口
郊外部 B	川沿 1-1～川沿 6-2	山間部 D	豊平峡口～中山峠



図-1 各道路区間図

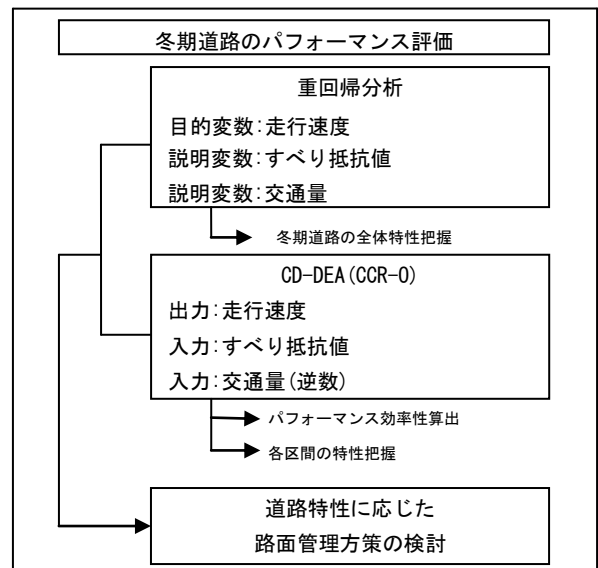


図-2 分析フロー

表-2 データ概要

すべり抵抗値	連続路面すべり抵抗値測定装置(CFT)による測定データの区間毎平均値 [1 月期、午前 8 時台、平日 14 日分]
走行速度	CFT によるすべり抵抗値測定時の走行速度の区間毎平均値 [同上]
交通量	区間毎の交通センサデータ [H17 年度:12 時間交通量]

3. 重回帰分析による冬期道路の全体的特性の把握

本研究では「走行速度」を目的変数、「すべり抵抗値」と「交通量」を説明変数とし、下り方向、上り方向それぞれで重回帰分析を行った。その結果を表-3 と表-4 に示す。

表-3 重回帰分析の結果(上り方向)

上り方向			
R ² =0.462		有意 F=0.033(5%有意)	
	係数	t 値	P-値
すべり抵抗値	0.879	1.164	0.269
交通量	-0.0008	-2.960	0.013(5%有意)
切片	-3.365	-0.064	0.950

表-4 重回帰分析の結果(下り方向)

下り方向			
R ² =0.768		有意 F=0.0003(1%有意)	
	係数	t 値	P-値
すべり抵抗値	0.844	2.747	0.019(5%有意)
交通量	-0.0005	-3.062	0.011(5%有意)
切片	0.574	0.026	0.980

表-3 と表-4 より、t 値および P-値より、両方向ともに「交通量」が、走行速度に及ぼす影響が強いことがわかる。また上り方向は、決定係数が 0.462 と低く、「すべり抵抗値」も 5%有意ではない。ここで、午前 8 時台の上り方向は、ラッシュの状況にあることから、このようなラッシュ時の環境下においては、交通量がパフォーマンス減の主要因になっていることが推察される。

4. CD-DEA による冬期道路のパフォーマンス評価

4-1 DEA の概要

DEA は、事業体の活動に関する効率性を、多入力・多出力の比を用いて、比率尺度で相対的に測定することが可能な手法であり、様々な分野で活用されている。

この DEA の基本モデルとして、Cooper らによって提案された CCR (Charnes-Cooper-Rhodes) モデル¹⁾がある(以降、出力指向型を利用)。このモデルは、規模の経済性に関して収穫一定を仮定したモデルで、一般的に広く活用されている。

また DEA では、分析対象(ex.事業体など)を一般に DMU (Decision Making Unit) という。ここで、n 個の DMU があると仮定し (DMU_j, j=1, ..., n)、対象とする DMU を DMU₀ とする。

4-2 CD-DEA モデルの概要

CCR モデルは、全 DMU を含む評価フレームであることから、仮に極めて高い効率性を有する DMU が存在した場合、その DMU のみが効率的となり、他の DMU は全て非効率と評価される。さらに、効率性改善案は、すべてこの高い効率性を有する DMU と同水準の改善案となり、その実現は困難となる。

ここで Seiford ら²⁾は、CD-DEA を提案している。このモデルは、効率的と評価された DMU を除いて、逐次的に効率的フロンティアを生成して分析する手法であり、以下に示す方法である。

まず、

$$J^1 = \{DMU_j, j = 1, \dots, n\} \quad (1)$$

は n 個の全 DMU 集合である。そして、次レベルの DMU 集合を

$$J^{l+1} = J^l - E^l \quad (2)$$

と定義する。ここで、

$$E^l = \{DMU_k \in J^l | \theta^*(l, k) = 1\} \quad (3)$$

であり、 θ^* は、効率性スコアである。

これらに基づき、以下に示す Step で逐次的に効率的フロンティアを生成する。

Step1: $l=1$ を設定する。この時、 J^1 を用いて CCR モデルを解く。これにより、第 1 レベル効率的 DMU 集合 E^1 (第 1 レベル効率的フロンティア) を得る。

Step2: $J^{l+1} = J^l - E^l$ として、次レベルの DMU 集合を得る。もし、 $J^{l+1} = \emptyset$ の場合、終了する。

Step3: J^{l+1} の DMU 集合を用いて、CCR モデルにより新たな効率的 DMU 集合 E^{l+1} を得る。

Step4: $l = l + 1$ とし、Step2 へ。

終了条件: $J^{l+1} = \emptyset$ でアルゴリズム終了。

このように、CD-DEA は逐次的な Step により図-1 に示すような、多段階レベルの効率的フロンティアを生成し、評価する手法である。

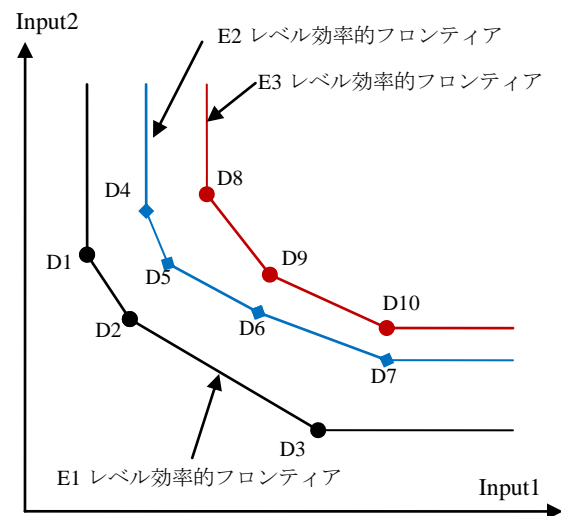


図-3 CD-DEA イメージ (図中の D は DMU)

この分析により、現状の効率性のEレベルを把握することが可能となり、かつ、より現実的な改善案を提示することができる。

4-3 CD-DEA による効率性評価結果と E レベル

CD-DEA によって分析した E レベル毎の効率性スコアを表-5、表-6 に示す。

表-5 各 E レベルの効率性スコア(下り方向)

	DMU	E1	E2	E3	E4	E5
E1	山間部D	1				
	郊外部B	1				
E2	山間部A	0.978	1			
	山間部C	0.955	1			
E3	郊外部B	0.843	1			
	郊外部E	0.955	0.986	1		
E4	市街部C	0.842	0.930	1		
	市街部A	0.788	0.880	0.974	1	
E5	郊外部A	0.703	0.813	0.994	1	
	市街部D	0.878	0.903	0.960	1	
E6	郊外部C	0.863	0.988	0.958	0.999	1
	山間部B	0.850	0.886	0.903	0.999	1
E7	市街部E	0.758	0.857	0.976	0.996	1
	市街部B	0.664	0.747	0.843	0.863	0.870

表-6 各 E レベルの効率性スコア(上り方向)

	DMU	E1	E2	E3	E4	E5	E6
E1	郊外部B	1					
	山間部D	1					
E2	山間部A	1					
	郊外部B	0.958	1				
E3	山間部C	0.943	1				
	郊外部E	0.922	1				
E4	郊外部A	0.903	0.943	1			
	山間部B	0.813	0.868	1			
E5	市街部D	0.750	0.809	0.895	1		
	市街部E	0.726	0.765	0.803	1		
E6	市街部C	0.697	0.741	0.803	0.951	1	
	郊外部C	0.688	0.747	0.835	0.944	1	
E7	市街部B	0.539	0.569	0.612	0.741	0.815	1
	市街部A	0.535	0.566	0.610	0.734	0.801	0.996

表-5 から、下り方向において最も効率性の高い DMU は山間部 D(豊平峡入口～中山峠)、郊外部 B(川沿 1-1～川沿 6-2)となった。また、最も効率性の低い DMU は市街部 B(南 6～南 9)となった。ここから、山間部や郊外部に効率性が高い区間が多く、市街部に効率性が低い区間が多いことがわかる。

同様に表-6 から、上り方向において最も効率性の高い DMU は、郊外部 B(川沿 6-2～川沿 1-1)、山間部 D(中山峠～豊平峡入口)、山間部 A(錦 TN 西～豊滝)となった。また、最も効率性の低い DMU は市街部 A(南 6～北 1)となった。

下り方向と同様に、効率性は山間部や郊外部が高く、市街部が低い区間が多い。特に、中山峠から中心部に進むにつれ、効率性が低くなる傾向にあることがわかる。これは、この分析に使用したすべり抵抗値や走行速度のデータが午前 8 時台のものであり、上り方向での通勤ラッシュの発生により、走行速度が遅くなったためであると推察される。

4-4 効率性スコアの比較

以上の考察に基づいて、道路同辺環境の影響を比較するため、上りと下り方向の市街部、郊外部、山間部毎の効率性スコアの平均値を算出した。その結果を図-4 に示す。

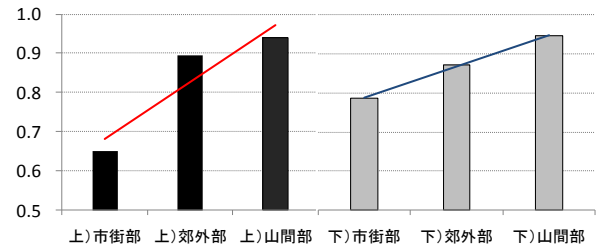


図-4 各方向における区間別効率性平均値

図-4 より、山間部、郊外部、市街部の順にスコアが高いことがわかる。両方向の図にそれぞれ示した近似曲線の傾きから、上り方向では特にその傾向が強いことがわかる。また、上りと下りの市街部の結果を比較した場合、これは前節で考察したとおり、ラッシュによる交通量の違いが原因であると推察される。

4-5 各 DMU の効率性スコアとすべり抵抗値の比較

図-5 に、各区間の上りおよび下りのスコアと、すべり抵抗値の比(下り/上り)を示した。

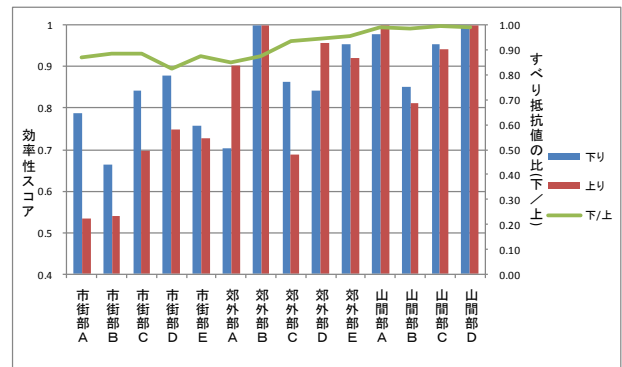


図-5 双方向の効率性スコア及びすべり抵抗値比較

図-5 より、すべり抵抗値は全ての区間で下り方向の方が小さいことがわかる。しかし、市街部の多くでは下り方向の方がスコアが大きくなっている。このような区間は、すべり以外の要因によってパフォーマンスが低下していることが考えられる。すなわち、4-3、4-4 節の考察と同様に、ラッシュの影響が大きいことがわかる。郊外部 A 等(南 34 条～川沿 1-1)と郊外部 D(石山 1-4～簾舞)のように、上り方向のスコアが高い区間は、すべりによる影響が大きな区間であると推察される。

4-6 CD-DEAによる段階的効率性改善案の提示

CD-DEA で算出した段階的な改善案を表-7、表-8 に示す。表-7 から、最もパフォーマンスが低い市街部 B(南 6 ~南 9)が、最もスコアが高い E1 レベルの DMU と同等のパフォーマンス性を発揮するためには、15.1km/h(50.7%)の速度増加が求められる。すなわち、29.7km/h(市街部 B の平均走行速度)→44.7km/h に向上すれば、E1 レベルと同程度のパフォーマンスが発揮される。しかし、これは現実的ではない。

ここで、CD-DEA を用いることにより、段階的な効率性改善案の提示が可能になる。

E6 に属する市街部 B(南 6 ~南 9)は、平均速度を 4.4km/h(14.9%)向上させることで、直近上位レベルの E5 レベルにある DMU と同等のパフォーマンス発揮が期待される。すなわち、29.7km/h→34.1km/h に向上させることができれば、E5 と同程度のパフォーマンスが発揮されることになる。このように、非効率区間について、直近上位レベルの類似した性質を有する区間と同等のパフォーマンスを実現させることを目標にした、より現実的な改善案を提示することができる。

表-7 各区間の走行速度改善案(下り方向)

km/h	DMU	E1	E2	E3	E4	E5
E1	山間部D					
	郊外部B					
E2	山間部A	1.209				
	山間部C	2.358				
E3	郊外部D	7.244				
	郊外部E	2.453	0.752			
E4	市街部C	6.951	2.777			
	市街部A	9.401	4.748	0.941		
E5	郊外部A	12.658	6.866	0.193		
	市街部D	5.231	0.752	1.554		
E6	郊外部C	6.807	0.899	1.872	0.000	
	山間部B	8.452	6.159	5.124	0.000	
E7	市街部E	10.284	5.403	0.809	5.360	
	市街部B	15.052	10.049	5.515	5.915	4.419

表-8 各区間の走行速度改善案(上り方向)

km/h	DMU	E1	E2	E3	E4	E5	E6
E1	郊外部B						
	山間部D						
E2	山間部A						
	郊外部D	1.734					
E3	山間部C	2.903					
	郊外部E	4.265					
E4	郊外部A	4.114	2.324				
	山間部B	10.417	6.880				
E5	市街部D	11.907	8.413	4.170			
	市街部E	11.548	9.383	6.648			
E6	市街部C	13.251	10.683	7.491	1.590		
	郊外部C	15.609	11.615	6.802	2.047		
E7	市街部B	20.340	18.000	15.054	8.329	5.360	
	市街部A	20.613	18.206	15.185	8.598	5.915	0.050

5. 結論

本研究では、重回帰分析および CD-DEA を活用して、冬期道路のパフォーマンス評価を行った。

これらの分析結果から、次のことが考察される。

- ①交通量が走行速度に及ぼす影響は大きく、市街部では特にその影響が顕著である。
- ②パフォーマンスは郊外部ほど高く、市街部ほど低い。特に、通勤ラッシュの時間帯のデータを使用したため、都心へ向かう上り方向ではその傾向が強く表れている。
- ③ラッシュ時におけるパフォーマンスの改善方策は、上りと下りで、それぞれ効果的な方策が異なる。今回のケースにおいて、上りは、表-3 と図-5 の結果より、すべり抵抗よりも交通量による影響が大きいと考えられるため、交通量の分散化を主としつつ、すべり抵抗の改善を行うことが有効であると考えられる。下りは、表-4 と図-5 の結果より、すべり抵抗の改善と交通量の分散化をバランスさせた方策が有効であることが示唆された。

今後の課題として、カーブや縦断線形、道路幅員等の要因を考慮した分析を行う必要がある。

謝辞：本研究は、独立行政法人土木研究所寒地土木研究所寒地道路研究グループ寒地交通チームから、データ提供など多大なご協力を頂いた。特に、同チームの高橋尚人氏、徳永ロベルト氏、高田哲哉氏には、有益なコメントを多々頂いた。記して謝意を表する。

[参考文献]

- 1)刀根薫：経営効率性の測定と改善—包絡分析法 DEA による—、日科技連、1993
- 2)Lawrence M.Seiford, Joe Zhu :Context-dependent data envelopment analysis-Measuring attractiveness and progress, The International Journal of Management Science (OMEGA)31, pp.397-408, 2003