

積雪寒冷地における道路除雪が CO₂排出量に与える影響に関する研究

門口 祐樹¹・石田 眞二²・内田 賢悦³・杉木 直⁴

¹学生会員 北海道工業大学大学院 土木工学専攻 (〒006-8585 札幌市手稲区前田7条15丁目4-1)
E-mail: q09402@hit.ac.jp

²正会員 北海道工業大学 空間創造学部都市環境学科 (同上)
E-mail: ishida@hit.ac.jp

³正会員 北海道大学大学院 北方圏環境政策工学専攻 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)
E-mail: uchida@eng.hokudai.ac.jp

⁴正会員 株式会社ドーコン 総合計画部 (〒004-8585 札幌市厚別区厚別中央1条5丁目4-1)
E-mail: ns1491@docon.jp

積雪期における道路の交通容量は、幅員減少や路面状態により、低下する。そのため、除雪事業による道路幅員の確保は、道路利用者の利便性の向上と道路の効率的な利用に寄与する重要な事業である。一方で景気の低迷により除雪事業は、歳出削減の主たる対象とされ、除雪レベルの低下が懸念される。

本研究では、積雪期の交通容量を想定し、利用者均衡配分モデルを用いて、交通流を推計した。また、交通容量と除雪基準の関係から、積雪期の道路・路面管理の高度化に対する投資効率性を評価するために、除雪基準を向上させたときに発生する二酸化炭素の排出量の変化について推算した。同時に、走行費用等についても推算した。

Key Words : snow removal, traffic capacity, user equilibrium assignment, CO₂ emissions, benefit

1. はじめに

積雪寒冷地において冬期間の積雪期は、道路幅員の減少による交通容量の低下¹⁾、凍結、圧雪などの路面状態の変化による走行速度の低下が生じる²⁾。そのため、積雪寒冷地においては、円滑な交通を確保するために、道路除雪が実施され、道路利用者の利便性が確保されている。しかし、近年の景気の低迷により各市町村で予算の削減が進められている中で積雪寒冷地における除雪事業費は予算削減の主な対象となっている。近年、札幌市においても、除雪事業費は減少傾向にある。除雪事業費の減少に相反し、除雪延長は増加傾向にある³⁾。ここで問題点は、効率性評価がなされないまま、道路除雪が予算削減の対象となっていることである。

札幌市における除雪事業は市政世論調査の結果によると³⁾、「力を入れてほしい施策」で昭和53年から31年間、連続で1位になるなど市民にとって大きな関心の的となっている。除雪水準の向上のみならず、現状の除雪体制を維持するためにも、除雪事業費の削減は大きな障害となる。積雪寒冷地において、除雪事業は道路の機能を維

持するために欠かせないものである。しかし、除雪体制が維持できなければ除雪レベルが低下し、更なる交通容量の低下を招いてしまうことが予測できる。そこで、除雪事業の重要性を明らかにするためには、道路除雪の事業評価を行い、除雪事業の効果を評価することが必要となる。

本研究では、交通容量が低下する積雪期を想定し、北海道の道央圏における交通流を推計するとともに、推計した交通流をもとに、除雪レベルの向上がCO₂排出量に与える影響を明らかにすることを目的とした。また、同様に走行時間、走行費用に与える影響も推算する。

2. CO₂排出量に関する既往研究

運輸部門のCO₂排出量は、自動車、航空、船舶、鉄道の4つに分類され算出される。北海道の運輸部門におけるCO₂排出量は、自動車からの排出量が88%を占めている⁴⁾。しかし、積雪期の交通容量の低下に伴うCO₂排出量増加は推定されていない。

CO₂排出量の推定方法はすでに、自動車の速度変動を考慮した推定方法⁹⁾や自動車の実際の走行時の排出ガスから計測されている研究⁹⁾がなされている。これらの方法は、個別道路のCO₂排出量の推定をする上では、非常に優れている。しかし、本研究は、ネットワークレベルでのCO₂排出量を求めることを目指しているため、上記の手法では、適用が難しい。また積雪期の移動時間信頼性について、テストネットワークにより求める研究¹⁾がなされているが本研究の対象は移動時間信頼性を知るものではない。本研究では、CO₂排出量を求めるために、利用者均衡配分モデルを適用し、ネットワーク全体の面的な交通量の推計結果から、CO₂排出量の算定をおこなった。

3. 研究の流れ

本研究は、北海道の札幌近郊の都市圏（道央圏）における10市町村（札幌市・小樽市・石狩市・千歳市・恵庭市・江別市・北広島市・当別町・長沼町・南幌町）の国道、道道、市道、町道により形成される道路ネットワークを対象とし、CO₂排出量の算出と走行時間費用・走行費用の算出を行った。本研究の対象範囲内の道路ネットワークは、総延長2,403km、総リンク数は11,187本である。対象範囲の道路ネットワークを図-1に示す。

本研究では、まず、道路交通センサス⁹⁾のデータを用いて利用者均衡配分モデルにより、リンクの交通量を推計する。

積雪期に関しては、対象となる市町村にヒアリング調査を実施し、得られた回答から、除雪時の幅員確保基準に見合った値に交通容量を変更する（幅員確保基準と交通容量の設定については、後の章で述べる）。次に、推計した交通量を用いてリンクパフォーマンス関数を用いて、それぞれのリンクの走行時間を推計する。推計した交通量と走行時間より、CO₂排出量を推算した。同時に、走行時間費用と走行費用についても推算した。図-2に本研究の流れを示す。

4. 道央圏における除雪基準

本研究の対象範囲である道央圏の10市町村は、国道、道道、市道、町道により道路ネットワークが形成されている。各々の道路種別により、管理者は異なり、除雪開始基準や除雪水準は異なる。本研究では、それぞれの管理者に除雪開始基準と幅員確保基準についてヒアリング調査を実施した。ヒアリング調査により、得られた回答を整理したものを表-1に示す。除雪開始基準は、概ね、降雪が5～10cmで開始されていることがわかる。道路の幅員確保基準は、国道が最も高く、100%となっており、

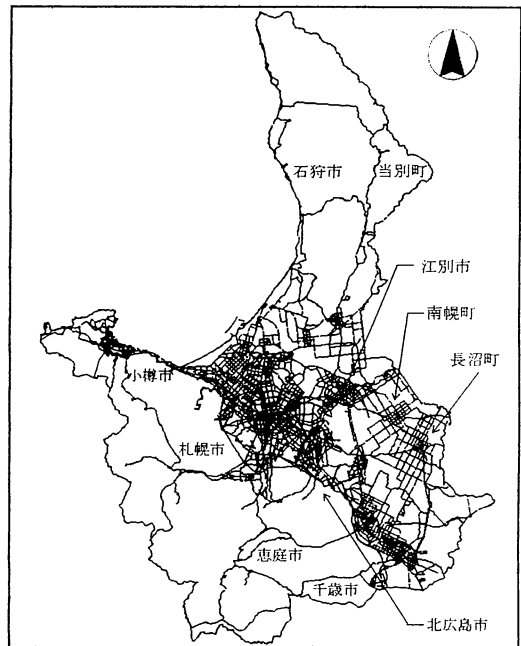


図-1 道央圏における道路ネットワーク図

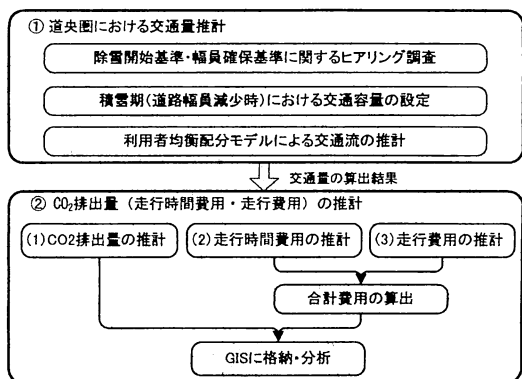


図-2 本研究の流れ

低い値では、50%の道路も存在している。また、幅員の確保基準が設定されていない市町村もあることがわかった。これは、道路の状況により、通行可能な車線数や幅員を確保するということで、明確な基準は設定されていないものである。

上記の結果から、道央圏において、除雪基準や除雪レベルは、道路種別とともに、管理者により大きく異なり、市町村においては、道路の用途や交通量を基に、道路種別を細分化し、除雪開始基準や幅員確保基準を設定している。気象条件や除雪基準の違いにより、積雪期における交通容量を高精度に推計することは困難であることから、本研究では、ヒアリング結果をもとに、交通容量を3つのケースに分類し、交通量の推計を試みた。

5. 積雪期の交通容量と自由走行速度の設定

交通量を推計するためには、適切な交通容量の設定が必要となる。本研究において、無雪期における一般の交通容量を、 C_a^s として定義し、式 (1) に示す基準交通容量(交通センサスの各リンクの交通容量)とした。積雪期は、12月から3月の4ヵ月間を想定し、交通容量の設定を行った。既往の研究により、道路幅員を100%確保している国道においても、積雪期では、20～30%減少することが報告されている¹⁾。その結果を用いて、基準交通容量に係数「0.8」を乗じて、積雪期の国道の交通容量を設定した。他の市町村道に関しては、前述したヒアリング結果を用いて、補助幹線、生活道路以外のすべての道路が片側二車線であると仮定し、幅員確保基準に見合った車線幅員補正率、側方余裕補正率を用いて、式 (2) により、交通容量を求めた。ここで、車線幅員補正率は、幅員確保基準から表-2の値²⁾を用いた。また、積雪期は路肩に雪が堆積しているため、側方余裕補正率は、最も低い値「0.93」³⁾を使用した。

本研究では、表-3に示す積雪期の設定交通容量を3つケースに想定し、交通量の算出をおこなった。ケース1は、全ての道路の除雪レベルを国道と同等レベルに設定した場合を想定している。ケース2は、幅員の確保基準が不明確な路線(約18%)において、他の市町村道の除雪レベルの高水準に合わせた設定とした。一方、ケース3は、他の市町村道の除雪レベルの低水準に合わせた設定とした。道路除雪の状態を本研究では、ケース2とケース3で分けたがこれは、不明確な路線が全体の約18%と複数あるため、ひとつのケースだけでは、影響を評価しきれないと考えたためである。また、積雪期の自由走行速度は、無雪期に比べ約20%～60%に低下するという研究がなされている²⁾ことからそれぞれのケースにおいて、自由走行速度を低下させた。ケース1ではすべてのリンクにおいて自由走行速度を20%低下させた。ケース2では国道のリンクの自由走行速度を20%、その他のリンクの自由走行速度を40%に低下させた。ケース3では、自由走行速度を国道は20%、確保基準が明確なリンクは40%確保基準が不明なリンクは60%に低下させ7章、8章の計算に用いた。

$$C_a^s = C_B \quad \text{式 (1)}$$

$$C_a^w = C_B \times \gamma_L \times \gamma_C \times 0.8 \quad \text{式 (2)}$$

ここで、

C_B : 基準交通容量

C_a^w : リンク a の積雪期交通容量

C_a^s : リンク a の交通容量

γ_L : 車線幅員補正率(%)

γ_C : 側方余裕補正率 : 0.93

表-1 道央圏における除雪開始基準と幅員確保基準

管理者	道路種別	除雪開始基準	幅員確保基準
北海道開発局	国道	降雪5～10cmで出動	100%以上確保
土木センター	道道		設定なし
札幌市役所	主要幹線	降雪5～10cmで出動	70%以上確保
	幹線		"
	補助幹線A		65%以上確保
	補助幹線B		"
千歳市役所	主要幹線	圧雪厚5cmで出動	70%以上確保
	幹線	圧雪厚10cmで出動	60%以上確保
江別市役所	幹線道路	圧雪厚10cm以内で出動	60%以上確保
北広島市役所	生活道路	積雪深10cm以上で出動	50%以上確保
小樽市役所	第一種	降雪厚10cm以上が見込まれるとき出動	通行可能な車線数を確保
	第二種(1)	降雪量15cm以上が見込まれるとき出動	通行可能な車道数を確保
	第二種(2)	同上	すれ違い可能な幅員(特設場合)を確保
	第三種(4)	幅が10cm以上で交通障害が発生時出動	
	第三種(5)	年2回程度の除雪	
石狩市役所	区分なし	降雪10cmで出動	
恵庭市役所	主要幹線	降雪7cmで出動	なし
	幹線		
	補助幹線A		
	補助幹線B		
当別町役場	区分なし	降雪量10cm以上で出動	
南幌町役場	幹線	降雪15cmで出動(早朝時)	
長沼町役場	主要幹線	積雪深が10cmを目安に出動	
	幹線		
	生活道路		

表-2 車線幅員補正率

車線幅員(m)	補正率(γ_L)	車線幅員(m)	補正率(γ_L)
3.25	1.00	2.75	0.88
3.00	0.94	2.50	0.82

表-3 交通容量の設定

管理者	道路種目	幅員の確保基準	積雪期の設定交通容量(%)			
			ケース1	ケース2	ケース3	
北海道開発局	国道	100%確保		80		
土木センター	道道	設定なし		58	47	
札幌市役所	市道	主要幹線	80			
		幹線				
		補助幹線A		58		
		補助幹線B				
千歳市役所		主要幹線		59		
		幹線		58		
江別市役所		幹線道路		56		
				53		
北広島市役所		生活道路		47		
小樽市役所						
当別町役場						
南幌町役場						
石狩市役所		区分なし		設定なし	58	47
恵庭市役所						
長沼町役場						

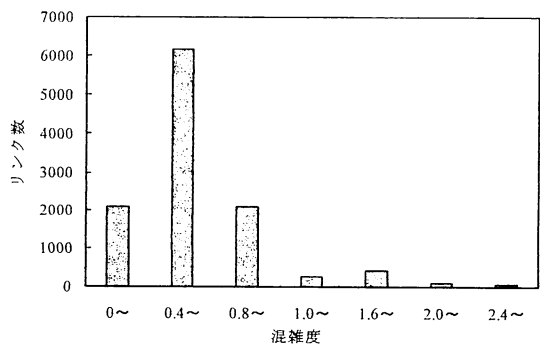


図-3 リンクの混雑度ヒストグラム

6. 道央圏の積雪期を想定した交通量の推計

6-1. 利用者均衡配分モデルの適用

道央圏のネットワークすべての交通量は実測されていないため、交通流を推計する必要がある。本研究では、交通センサスで得られたゾーン交通量と交通容量を使用し、交通量を推計できる利用者均衡配分モデルを用いた。

利用者均衡配分モデルは、どの利用される経路を通っても走行時間が等しくなるという Wardrop の第一原則に従い、配分交通量を推計する手法であり⁹⁾、5章で設定した3つのケースにおける積雪期の交通容量を用いて、交通量の推計をおこなった。

6-2. 交通量の推計結果

図-3は、交通量の推計結果から、ケース3における道央圏のリンクの混雑度（交通量/交通容量）をヒストグラムで表したものである。混雑度は、0.4以上0.8未満がピークとなり、平均値が、0.3となった。また、混雑度が、1.0以上となるリンクが、840本あり、全体の7.5%を占めている。

図-4は、混雑度の高い上位10%のリンクをGISで表示したマップである。混雑度の高いリンクは、札幌市都市圏に集中しているものの、札幌市から小樽市を経由し、余市町方面に向かう国道5号線や洞爺、ニセコ方面に向かう中山峠の国道230号線においても混雑度の高いリンクが存在していることがわかる。

7. CO₂排出量の推計

環境省は、自動車からのCO₂排出量を推定する目的として、自動車走行実態調査等に基づいた自動車用燃料の販売量データを用いて、CO₂排出量を推定している¹⁰⁾。

一方、国土交通省では、道路整備事業等において、整備路線の線的なCO₂排出量の算定に用いるため、交通量推計に基づき、走行速度に対応するCO₂排出原単位を交通量に乗じて推定している¹¹⁾。

本研究では、道央圏のリンク毎のCO₂排出量を推計するため、国土交通省の交通量推計に基づく方法で各リンクにおけるCO₂排出量の算定を行なった。算定方法は、表-4の平成17年度道路政策評価通達集¹²⁾に示されているCO₂排出原単位を使用し、交通量推計から求められるリンク毎の交通量と走行速度からCO₂排出量を推計した。

図-5は、ケース3において、CO₂排出量の多い上位10%のリンクをGISで表示したマップである。CO₂排出量の多いリンクは、札幌市中心部に集中していることがわかる。また、小樽市や恵庭市などの地方都市においても局所的にCO₂の排出量が多い分布が認められた。

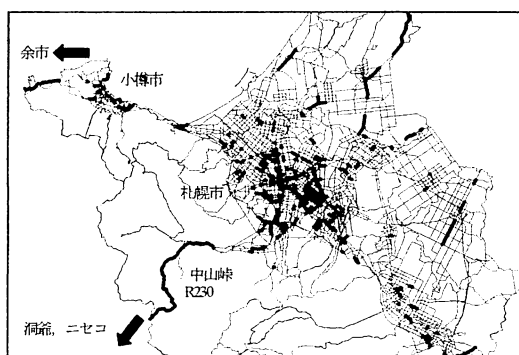


図-4 混雑度の高いリンクの分布（ケース3）

表-4 CO₂排出原単位

速度 (km/h)	CO ₂ (g-CO ₂ /km・台)		速度 (km/h)	CO ₂ (g-CO ₂ /km・台)	
	小型	大型		小型	大型
5	547	2110	50	146	750
10	342	1515	55	141	723
15	269	1277	60	138	706
20	229	1133	65	137	700
25	204	1042	70	137	705
30	186	963	75	139	719
35	172	894	80	142	744
40	161	836	85	146	780
45	152	788	90	152	826

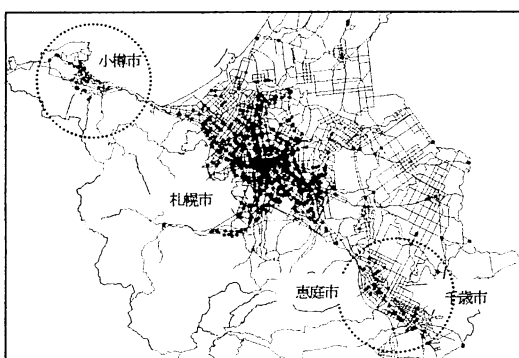


図-5 CO₂排出量の多いリンク（ケース3）

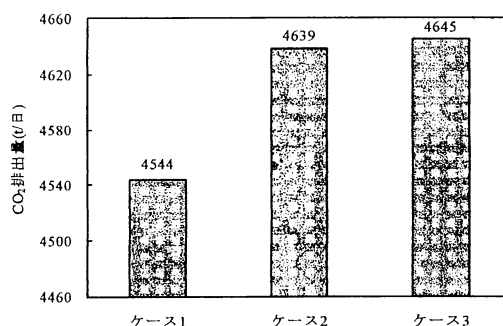


図-6 ケース別の1日当たりのCO₂排出量

図-6は、3ケースにおける1日当たりのCO₂排出量を示したものである。ケース1では、約4,544 (t/日)であり、ケース2、3では、約4,640 (t/日)となった。両者の差は、約96 (t/日)となった。

よって、道央圏における現状の除雪レベルでのCO₂排出量をケース2、3と仮定すると、市町村道の除雪レベルを国道レベルにまで向上させた場合を想定したケース1と比較すると、年間で、約11,616 (t/年)のCO₂排出量の削減効果が見込めることになる。これは、除雪レベルの向上により、混雑度が緩和され、自動車の低速によるCO₂排出量原単位の増加が、軽減され、その結果、排出量が低下したと推察できる。

8. 合計費用の算出

本研究では、CO₂排出量の他に、除雪による交通容量の緩和が、走行時間費用、走行費用に対してどの程度の影響があるのか、ケース1を基準としたケース2、ケース3との走行時間費用、走行費用それぞれの差の合計を合計費用と定義し、算出を試みた。

8-1. 走行時間費用の算出

走行時間費用とは、自動車がリンクを走行する際にかかる時間を貨幣換算したものである。走行時間費用は式(3)を用いて算出した。なお、式中の時間価値原単位は国土交通省発行の「費用便益分析マニュアル」¹³⁾の値を使用し算出した。

$$BT = \sum_j \sum_l (Q_{jl} \times T_{jl} \times \alpha_j) \times 365 \quad \text{式 (3)}$$

ここで、

BT : 走行時間費用 (円/年)
 Q_{jl} : リンク l における車種 j の交通量 (台/日)
 T_{jl} : リンク l における車種 j の走行時間 (分)
 α_j : 車種 j の時間価値原単位 (円/分・台)
 j : 車種
 l : リンク

図-7は、3ケースにおける1日当たりの走行時間費用を示したものである。ケース1では、約20.8 (億円/日)であり、ケース2、3では、約21.6 (億円/日)となった。両者の差は、約0.8 (億円/日)となった。図-8は、走行時間費用の多い上位10%のリンクをGISで表示したマップである。走行時間費用の多いリンクは、札幌市中心部に集中していることがわかる。

8-2. 走行費用の算出

走行費用とは、自動車が道路を走行する際にかかる燃料費やタイヤの消耗費、車両の維持修繕費などを合計し

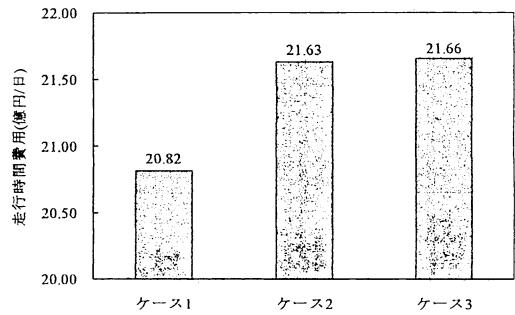


図-7 ケース別の1日当たりの走行時間費用

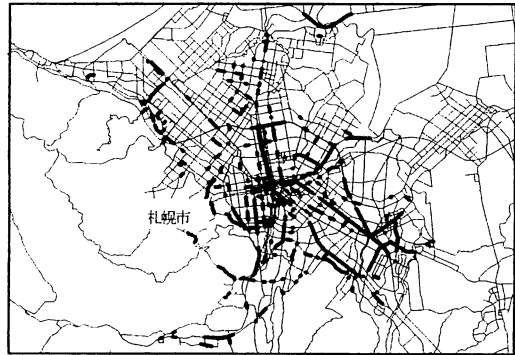


図-8 走行時間費用の多いリンクの分布 (ケース3)

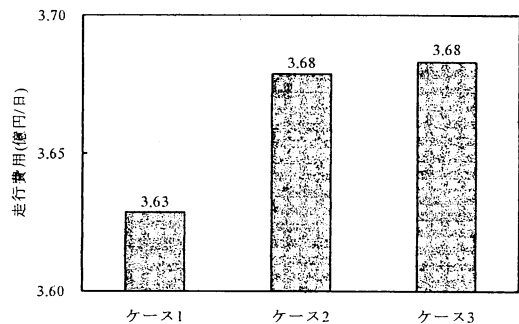


図-9 ケース別の1日当たりの走行費用

た費用のことである。走行費用は式(4)を用いて算出した。なお、走行経費原単位の値は、国土交通省が発行している「費用便益分析マニュアル」¹³⁾の値を使用し算出した。

$$BR = \sum_j \sum_l (Q_{jl} \times L_l \times \beta_j) \times 365 \quad \text{式 (4)}$$

ここで、

BR : 走行費用 (円/年)
 Q_{jl} : リンク l における車種 j の交通量 (台/日)
 L_l : リンク l の延長 (km)
 β_j : 車種 j の走行経費原単位 (円/台・km)
 j : 車種
 l : リンク

図-9は、3ケースにおける1日当たりの走行費用を示したものである。ケース1では、約3.63（億円/日）であり、ケース2、3では、約3.68（億円/日）となった。両者の差は、約500（万円/日）となり、走行時間費用に比べ、除雪事業が走行費用に与える影響が少ないことがわかった。

また、走行費用の多い上位10%のリンクをGISで表示した結果、走行時間費用と同様に、走行費用の多いリンクは、札幌市中心部に集中していることがわかった。

8-3. 積雪期の交通容量の確保に伴う合計費用の算出

図-10は、ケース2、3をケース1の状態に除雪レベルを向上した場合に生じる合計費用を試算した結果である。

ケース2をケース1の除雪レベルまで向上させた場合には、約0.87（億円/日）の削減効果が見込める。また、ケース3をケース1の除雪レベルまで向上させた場合には、約0.89（億円/日）の削減効果が見込める結果となった。

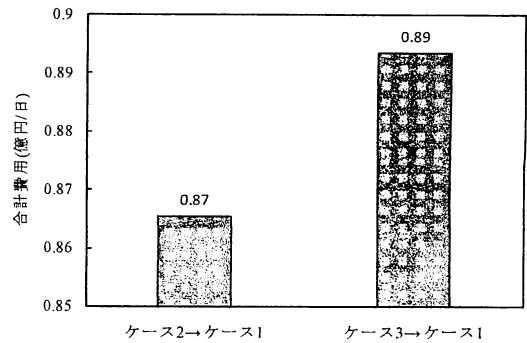


図-10 ケース1に設定した場合における削減効果

9. まとめと今後の課題

本研究では、道央圏の道路ネットワークにおいて、積雪期を想定した交通容量と自由走行速度の設定から、交通量の推計を行うとともに、それを用いてCO₂排出量と社会的便益の試算を行った。本研究で得られた結論を以下に示す。

- ・ 道央圏における1日当たりのCO₂排出量は、ケース1で、約4,544(t/日)であり、ケース2、3では、約4,640(t/日)となった。
- ・ ケース2、3とケース1を比較すると、約11,616 (t/年)のCO₂排出量の削減効果が見込める結果となった。これは、除雪レベルの向上により、混雑度が緩和され、自動車の低速によるCO₂排出量原単位の増加が抑制され、排出量が低下したと推察できる。
- ・ ケース2、3をケース1の状態に除雪レベルを向上した場合に生じる合計費用を試算した結果、ケース2をケース1の除雪レベルまで向上させた場合には、約0.87（億円/日）、ケース3をケース1の除雪レベルまで向上させた場合には、約0.89（億円/日）の削減効果が見込める結果となった。

除雪事業は、各地方自治体により、仕組みに差異が生じており、除・排雪の回数やレベルが異なる。また、気象条件にも大きく影響を受けるため、除雪事業と交通流の関係を明確にするためには、時間を要する。よって、今後は、統計的なデータを蓄積し、除雪事業のモデル化を試み、除雪レベルを向上させた場合に生じる除雪事業費を試算し、高精度な道路除雪の事業評価手法の確立を目指す。

参考文献

- 1) 内田賢悦：交通容量の確率的変動が道路ネットワークの移動時間に与える影響に関する研究，土木学会論文集D（投稿中）。
- 2) 宗広一徳，高橋尚人，浅野基樹：タクシーGPS データを活用した札幌市における冬季交通特性の把握，土木計画学研究講演集，Vol.29，2004。
- 3) 札幌市：札幌市冬の道づくりプラン・資料編，pp51-53，2008。
- 4) 国土交通省：運輸部門の地球温暖化対策について，http://www.mlit.go.jp/sogoseisaku/environment/sosei_environment_tk_000006.html。
- 5) 大口敬，片倉正彦，谷口正明：都市道路交通における自動車の二酸化炭素排出推定モデル，土木学会論文集 No.695/IV-54，125-136，2002。
- 6) 路上走行自動車に搭載可能な高精度重載型CO₂排出質量計測システムの研究開発，交通安全環境研究所研究発表会講演概要，2006。
- 7) 国土交通省：平成17年道路交通センサス，2005。
- 8) 樗木 武，井上 信昭：交通計画学第2版，pp79，共立出版株式会社，2002。
- 9) 土木学会：道路交通需要予測の理論と適応 第I編 利用者均衡配分の適用に向けて，pp37-38，丸善，2003。
- 10) 環境省：日本温室効果ガスインベントリ報告書，<http://www.gio.nies.go.jp/aboutghg/nir/nir-j.html>。
- 11) 国土交通省，経済産業省：ロジスティクス分野におけるCO₂排出量算定方法共同ガイドライン Ver.2.0，2006。
- 12) 道路広報センター：平成 17 年度道路政策評価通達集，pp.111-114，2005。
- 13) 国土交通省：費用便益分析マニュアル，pp7-10，2008。

A study on effect of road snow removal in cold region on CO₂ emissions

Yuki KADOGUCHI, Shinji ISHIDA, Kenetsu UCHIDA,
and Nao SUGIKI

In cold region, traffic capacity decreases in winter due to both the reduction in width of a road and the deterioration of a road surface. Snow removal is carried out for keeping the benefit of the driver and for the efficient use of a road network. On the other hand, budget for snow removal has been decreasing year by year due to the depression in recent years. As a result, the level of service for road network worsens in winter.

In this study, traffic flows of the road network in Sapporo are calculated by applying user equilibrium assignment method. In applying user equilibrium assignment, two types of traffic capacities, i.e. traffic capacity in winter and that in summer, are assumed. Change in CO₂ emissions between winter and summer is then calculated. Further, the effect of enhanced level of snow removal on CO₂ emissions is finally calculated for figuring out the efficiency of investment to winter road network.