

山岳道路における時間信頼性の低下要因と道路利用者の意識*

Research on the factors decreasing travel time reliability of roads, and on consciousness of users*

原田優子**・上坂克巳***

By Yuko HARADA**・Katsumi UESAKA***

1. はじめに

わが国では、道路事業の三便益のうち走行時間短縮の効果は旅行時間の平均値によって評価されており、所要時間の不確実性までは評価されていない。それに対して、所要時間の不確実性をも事業評価に組み込むために時間信頼性（定時性）という概念が提案されている。時間信頼性とは、「一定の所要時間で目的地に到達できる確率」として定義されている。時間信頼性を表す指標としては所要時間の標準偏差が用いられており95%タイル値旅行時間が最も一般的である。米国では利用者が遅刻を避けるために見込むべき余裕時間として、Buffer Time（95%タイル値旅行時間－平均旅行時間、以下「BT」）が用いられており、これは「一ヶ月間のうち平日が20日あるとして、そのうち一回程度は遅れを覚悟しなければいけない時間」と説明されている。

時間信頼性は交通需要や交通容量の変動により変化すると考えられている。交通需要の変動による時間信頼性の変化について研究したものとして、渋滞損失と時間信頼性指標との相関を分析したもの¹⁾等がある。しかし、交通容量の変動が時間信頼性指標に及ぼす影響の定量化に関する検討事例は、交通容量変動要因として、車線数の差異や追越区間の有無等道路構造をとりあげたもの²⁾³⁾⁴⁾、季節変動・天候をとりあげたもの⁵⁾⁶⁾やインシデントをとりあげたもの⁷⁾、等があるが、前例に乏しい。

そこで、本研究では、往復2車線の山岳道路を対象に、交通容量減少要因として、工事による車線規制と冬期の積雪路面凍結をとり上げ、その影響の定量化を行う。さらに、アンケート調査により時間信頼性の低下の実態とドライバーの意識についても比較する。

2. 研究内容

(1) AVI調査による旅行時間データの取得

平成21年度に福島県福島市と山形県米沢市を結ぶ国道13号栗子道路（図-1）におけるAVI（ナンバープレート自動読取装置）調査により旅行時間データを取得した。栗子道路は積雪路面凍結・工事規制等の外的要因による時間

*キーワード：公共事業評価法、意識調査分析、計画情報
**正員、工修、国土技術政策総合研究所道路研究室
（茨城県つくば市旭一番、

TEL:029-864-7886, E-mail:harada-y92tb@nilim.go.jp)

**正員、工博、国土技術政策総合研究所道路研究室

信頼性低下が見られる地方主要幹線道路であり、外的要因による時間信頼性への影響の抽出と定量化、及びそれらの要因の管理による時間信頼性の向上策の検討という本研究の目的に合致した分析を実施することが可能であるという理由から、事例分析対象として選定した。

約30kmの調査対象区間を4分割して（図-2）、それぞれの箇所上下両方向にAVIを設置して旅行時間データを約3ヶ月間にわたり取得した。AVIの設置方針は、①設置するための既存の構造物及び電源施設がある、②積雪が多いと予想される地点では設置高さを一定以上確保する、③観測精度を高めるためデータ取得状況を確認し、取得状況に応じて画角調整を行い所定の精度が確保できるまで繰り返す、等である。

積雪路面凍結による影響を抽出するために、冬季とそれ以外の時期の違いが反映できるように観測期間を秋季から冬季（2009年10月末から2010年1月末）にかけて設定した。3ヶ月間という期間は、過去の類似の研究におけるAVIもしくはトラカン等の機器による観測期間としては、筆者の知る限りでは長期にわたるものである⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾。



図-1 栗子道路AVI調査区間

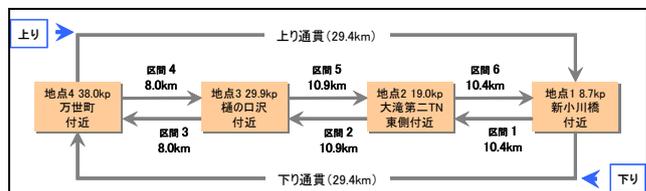


図-2 栗子道路区間分割模式図

取得した旅行時間データから、分割時間単位（本研究では15分）ごとに代表値を算定し、この代表値を全調査期間分抽出して、これらのデータをもとに時間信頼性指標（平均値、標準偏差、%タイル値、BT）を算定し、(2)以降に示す分析を行う。これらの時間信頼性指標は以下「統計指標」という。なお、各分割時間単位毎の代表値は異常値に左右されない中央値とした。

表-1 低下要因の影響（工事による片側交互通行）
（分/10km）

	③平常時+外的要因のデータセット				②平常時のみのデータセット				③-② 各指標平均値の差分			
	平均値	標準偏差	95%タイル値	BT値	平均値	標準偏差	95%タイル値	BT値	平均値	標準偏差	95%タイル値	BT値
区間1	11.6	2.2	14.7	3.1	9.4	0.4	10.0	0.6	2.2	1.8	4.6	2.5
区間2	10.7	6.4	12.8	2.1	9.4	1.1	10.2	0.8	1.3	5.3	2.6	1.3
区間3	10.5	1.1	11.9	1.4	10.2	0.5	10.9	0.7	0.3	0.6	1.0	0.7
区間4	11.2	7.3	12.6	1.4	9.8	0.4	10.3	0.5	1.4	6.9	2.3	0.8
区間5	10.5	2.8	13.8	3.3	9.8	1.3	10.3	0.4	0.6	1.5	3.5	2.8
区間6	12.2	1.9	15.3	3.1	10.2	0.4	10.9	0.7	1.9	1.5	4.4	2.5
下り通貫	10.5	1.1	12.3	1.9	9.4	0.4	10.0	0.6	1.0	0.7	2.3	1.2
上り通貫	10.7	1.1	12.6	1.9	9.8	0.4	10.4	0.6	1.0	0.7	2.2	1.2

※各区分・各指標とも分/10km ※空白は該当する外的要因なし

(2) 時間信頼性の低下要因の抽出と影響の定量化
時間信頼性の低下要因は交通需要・容量の変動に大別されるが、栗子道路は交通量が約1万台/日で、交通容量に比して交通量が少なく交通需要変動が乏しい道路であり、従って需要変動による時間信頼性への影響はほとんどない。従って今回は容量変動のみに着目して外的要因による影響の分析を行った。

交通容量の低下要因として、工事による交通規制と積雪路面凍結を想定した。工事による交通規制には片側交互通行規制と登坂車線規制があり、以下、単に工事規制と言った場合は片側交互通行と登坂車線規制の平均値を示す。

まず、AVIにて収集されたナンバープレートデータをマッチングして旅行時間データを作成し、容量低下による旅行時間変動が無視できる時期（平常時）と事象発生時との比較をするため、旅行時間データに事象データを付与するラベリング処理を行った。ラベリングは15分単位で旅行時間を集計して代表値（中央値）を算定し、その15分に対応する事象をフラグとして設定した。

なお、平日・土曜日はほぼ全ての区間で工事を実施しており、平日夜間の旅行時間と、工事が実施されていない休日の旅行時間に大差がないことから、平常時のデータを「全日全時間帯のうち、工事や積雪など容量の低下要因がない時間帯のデータ」と定義することとした。

次に、容量低下要因の影響を分析した。各日各時間帯の旅行時間データと外的要因の発生状況データを、場所と時間で紐づけ、各時間帯について、平常時だけで構成した旅行時間データセット（平常時のみのデータセット）を作成し、区間別に10kmあたりに換算した15分分割単位時間の統計指標を算定する。次に、平常時のデータに外的要因が発生した日の旅行時間を加えたデータセット（平常時+外的要因のデータセット）を作成し、同様に統計指標を算定する。

具体的には、各日各15分時間単位毎の中央値を算出し、それらのデータの各日のうちさらに平常時及び各事象発生時における統計指標（平均値、標準偏差、各タイル値）を算定する。通常、時間信頼性は一日のうちのある時間帯を単位として評価するものであるが、今回の調査では時間帯及び平日・休日の区分による旅行速度の変化が乏しいため、日別のうちさらに平常時間帯別及び各事象発生時間帯別に時間信頼性を評価しても分析上問題は無い。さらに、一日のうち平常時別・各事象発生時別に算定した統計指標を、観測期間全体にわたって、区間毎に、平常時別及び各事象発生時別に平均したものが（表-1,2）の通りである。

算定した統計指標を外的要因別に整理し、両者を比較することで、各要因による影響を分析する。

表-2 低下要因の影響（積雪（除雪後））（分/10km）

	③平常時+外的要因のデータセット				②平常時のみのデータセット				③-② 各指標平均値の差分			
	平均値	標準偏差	95%タイル値	BT値	平均値	標準偏差	95%タイル値	BT値	平均値	標準偏差	95%タイル値	BT値
区間1	9.8	1.7	11.0	1.2	9.5	0.5	10.2	0.7	0.3	1.2	0.8	0.4
区間2	9.7	1.3	11.3	1.6	9.4	0.9	10.3	0.8	0.3	0.4	1.0	0.7
区間3	10.6	2.8	12.5	1.9	10.0	0.6	10.8	0.8	0.6	2.2	1.7	1.1
区間4	10.1	2.1	11.3	1.2	9.6	0.5	10.4	0.7	0.4	1.6	0.9	0.5
区間5	9.9	1.6	11.4	1.5	9.6	1.0	10.3	0.7	0.3	0.6	1.1	0.8
区間6	10.2	1.5	11.8	1.6	9.8	0.6	10.7	0.8	0.4	1.0	1.2	0.8
下り通貫	10.0	1.6	11.7	1.7	9.5	0.5	10.3	0.7	0.5	1.0	1.5	1.0
上り通貫	10.0	1.1	11.3	1.4	9.7	0.5	10.4	0.8	0.3	0.6	0.9	0.6

※各区分・各指標とも分/10km ※空白は該当する外的要因なし

次に、区間別に工事規制と積雪路面凍結の各指標に対する影響を図化したものが（図-3~5）である。

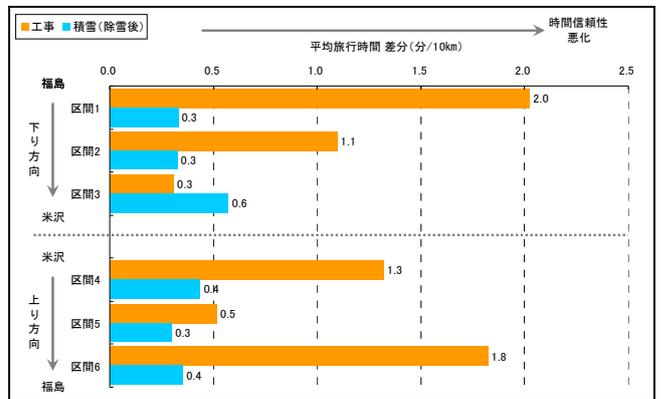


図-3 平均値への影響（工事、積雪（除雪後））
（分/10km）

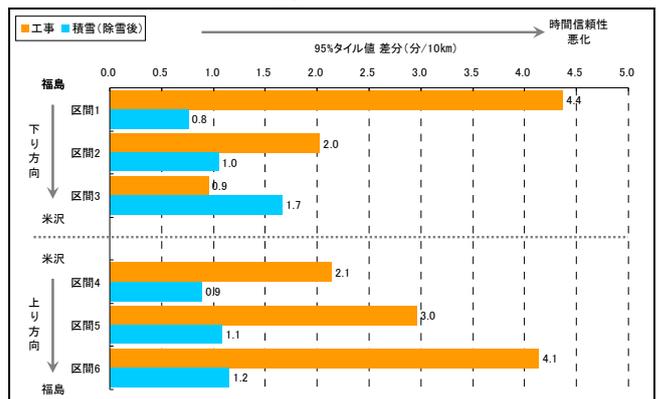


図-4 95%タイル値への影響（工事、積雪（除雪後））
（分/10km）

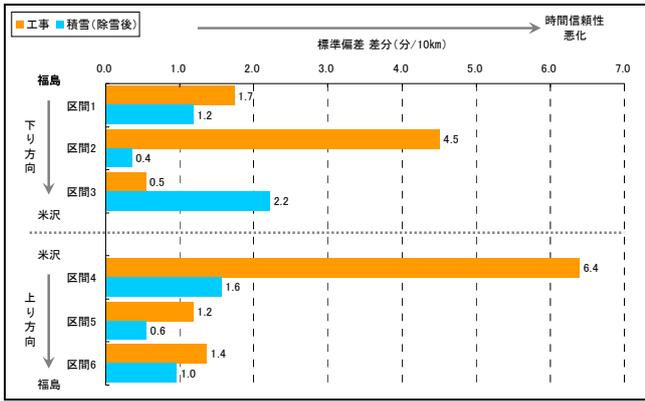


図-5 標準偏差への影響(工事, 積雪(除雪後)) (分/10km)

以上より、①工事規制に関しては区間1, 6において平均値と95%タイル値に与える影響が大きい、②工事規制に関しては区間2, 4において標準偏差に与える影響が大きい、③積雪路面凍結に関しては、区間3に関してのみ全ての指標において工事規制よりも大きな影響を与えており、それ以外の区間での影響は工事規制に比べて小さく、区間間の差も殆どないということがわかる。

以上のような結果が出た理由として、①区間1, 6においてその他の区間よりも工事規制が頻繁に行われているので、これらの区間においてより工事規制による影響が大きくなる、②区間2, 4は工事規制の頻度が区間1, 6に比べると少ないので、たまに実施された時に旅行速度の不確実性に与える影響が大きくなる、③既に除雪が施された後であるので工事規制に比べて積雪路面凍結による影響は小さいが、積雪の多い米沢側においては、積雪路面凍結による旅行速度の不確実性が大きくなる、ということが考えられる。

次に、区間ごとのデータを全区間相当に統合し調査区間全体で外的影響が及ぼす影響を分析する。複数の区間データを統合する方法としてタイムスライス法がある。タイムスライス法は、出発時刻からの経過時間と走行距離を考慮して、時間単位をずらしながらリンクごとの旅行時間を足し合わせる方法である。タイムスライス法による旅行時間の算定方法は以下の通り(式-1, 2)。

$$T(s) = \sum_{i=1}^N t_i(s + \tau_i(s)) \dots\dots\dots (式-1)$$

$$\tau_i(s) = \sum_{j=1}^{i-1} t_j(s + \tau_j(s)) \dots\dots\dots (式-2)$$

T: 調査区間全体の旅行時間

t: 分割された区間の旅行時間

τ_i : 分割区間1から分割区間*i-1*までの旅行時間

s: 出発時刻

調査区間全体での工事規制・積雪路面凍結による統計指標の変化は(表-3, 4)の通りである。

表-3 低下要因の影響(上り通貫)(分/10km)

	各指標値の差分			
	平均値	標準偏差	95%タイル値	BT
工事	2.6	1.9	6.1	3.4
工事(片側交互通行)	2.8	2	6.4	3.6
積雪(除雪後)	1	1.7	2.6	1.7

表-4 低下要因の影響(下り通貫)(分/10km)

	各指標値の差分			
	平均値	標準偏差	95%タイル値	BT
工事	2.9	1.9	6.4	3.5
工事(片側交互通行)	3.1	2	6.7	3.6
積雪(除雪後)	1.4	3	4.3	2.8

次に、上り下り別に各指標の差分を表したものが(図-6)である。

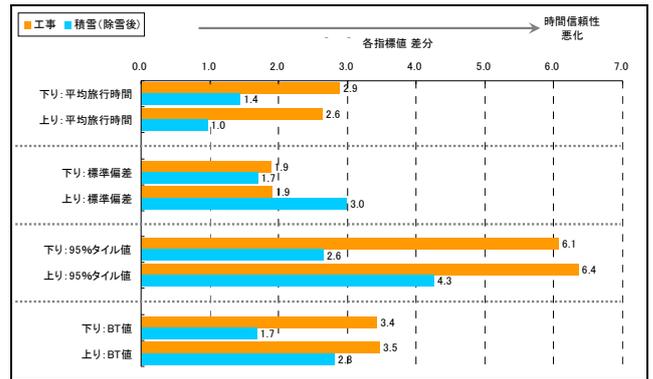
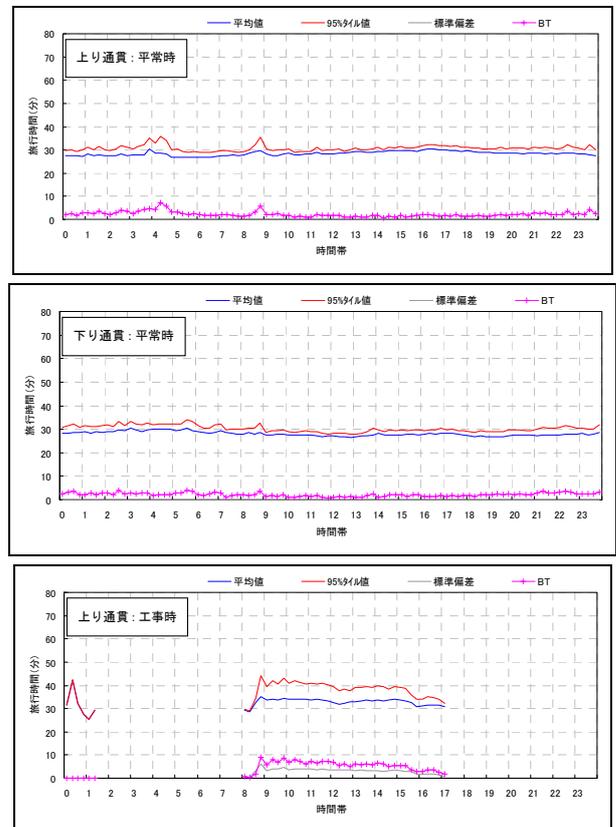


図-6 方向別各指標への影響

(工事・積雪路面凍結(除雪後))(分/10km)

次に、上り下り別に各事象毎の統計指標を表したものが(図-7)である。



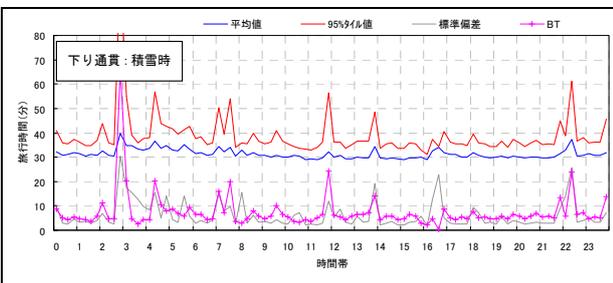
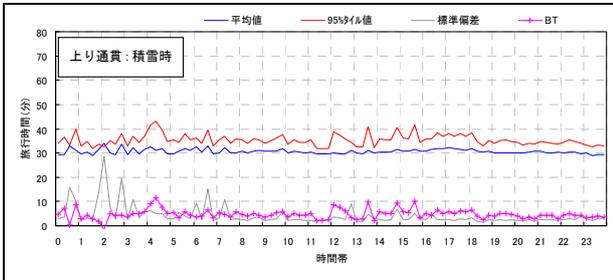
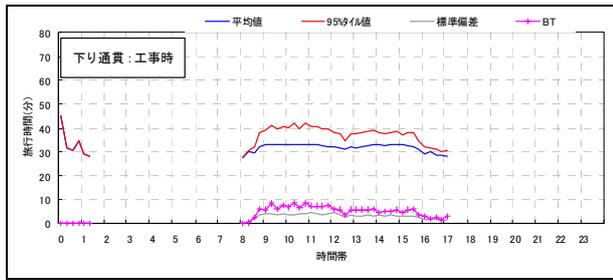


図-7 各事象別所要時間分布と統計指標 (分)
(上り通貫・下り通貫)

以上より、上り/下りの順に、工事による影響で、平均旅行時間で2.6分/2.9分、標準偏差で1.9分/1.9分、BT値で3.4/3.5分、悪化している。積雪路面凍結による影響で、平均旅行時間で1分/1.4分、標準偏差で1.7分/3分、BT値で1.7分/2.8分、悪化しており、①通常時→積雪時→工事規制時の順に所要時間が増大し統計指標が悪化しており、積雪路面凍結よりも工事規制による影響の方が大きい、②工事規制に比べて積雪路面凍結時に下りで標準偏差への影響が大きく、95%分位値への影響も上りより下りの方が大きい、ということがわかる。

以上のような結果が出た理由として、①既に除雪が施された後であるので工事規制に比べて積雪路面凍結による影響は小さくなること、②下り(米沢方面行)の場合、積雪の少ない福島側から多い米沢側に移動するので、タイヤが凍結対応しておらずスタック車両(積雪路面凍結時に路上で停止する大型車)が発生する、ドライバーの運転が不慣れである等の理由により、旅行速度の不確実性に与える影響が大きくなること、等が考えられる。

(3) 時間信頼性向上策の検討とその効果の試算

次に、施策による時間信頼性の向上効果を算定した。本稿では工事日数の縮減に限定して効果を試算する。工事日数の縮減により、容量低下要因が一週間のうち6日間程

度(6/7=0.85より発現率85%)発現している現状から半減する場合(3/7=0.43)を想定して向上効果を試算した。次式のように、施策実施後の容量低下要因の減少割合に基づいて旅行時間の平均値と分散を重みづけして算出し、統計指標の施策実施前後での比較により効果を定量化する。

容量変動が生じた日の割合を α_0 (=0.85)、そのときの旅行時間の平均値を μ_c 、標準偏差を σ_c とする。また、平常時の割合を $(1-\alpha_0)$ 、旅行時間の平均値を μ_n 、標準偏差を σ_n とする。このとき、対象期間における旅行時間の平均値を μ_0 と標準偏差 σ_0 の期待値は(式-3,4)で示される。

$$\mu_0 = \alpha_0 \mu_c + (1 - \alpha_0) \mu_n \dots \dots \dots \text{(式-3)}$$

$$\sigma_0 = \sqrt{\alpha_0^2 \sigma_c^2 + (1 - \alpha_0)^2 \sigma_n^2} \dots \dots \dots \text{(式-4)}$$

また、施策を実施して外的要因による容量変動が生じた日の割合が α_w (=0.43)($\alpha_w < \alpha_0$)になるとする。このとき対象期間における旅行時間の平均値 μ_w と標準偏差 σ_w の期待値は(式-5,6)で示される。

$$\mu_w = \alpha_w \mu_c + (1 - \alpha_w) \mu_n \dots \dots \dots \text{(式-5)}$$

$$\sigma_w = \sqrt{\alpha_w^2 \sigma_c^2 + (1 - \alpha_w)^2 \sigma_n^2} \dots \dots \dots \text{(式-6)}$$

さらに、施策実施前後の95%分位値 tt_0^{95} 、 tt_w^{95} 、 BT_0^{95} も(式-7,8,9,10)から求めることができる。

また、95%分位値と平均値の差分によって

$$tt_0^{95} = \mu_0 + 1.645 \sigma_0 \dots \dots \dots \text{(式-7) 施策前95%分位値}$$

$$tt_w^{95} = \mu_w + 1.645 \sigma_w \dots \dots \dots \text{(式-8) 施策後95%分位値}$$

$$BT_0^{95} = tt_0^{95} - \mu_0 \dots \dots \dots \text{(式-9) 施策前BT}$$

$$BT_w^{95} = tt_w^{95} - \mu_w \dots \dots \dots \text{(式-10) 施策後BT}$$

以下の通り施策を実施した前後の平均値、標準偏差、95%分位値、BTの差分をとることで、時間信頼性向上効果を算定することができる(式-11)。

$$\Delta tt^{95} = tt_0^{95} - tt_w^{95}, \Delta BT^{95} = BT_0^{95} - BT_w^{95} \dots \dots \text{(式-11)}$$

$$\Delta \sigma = \sigma_0 - \sigma_w, \Delta \mu = \mu_0 - \mu_w$$

通貫データを方向区別なしで1データセットとして計算した分析結果を示す。施策実施に伴い、工事規制日数が現在より半減すると仮定すると、平均旅行時間が約2分、標準偏差が約1分、BT値が1.5分短縮することが予測される。工事規制時には平常時よりも、平均旅行時間が約2.5~3分、標準偏差が約2分、BT値が約3.5分悪化しているため、平均値の減少が若干少ないものの、その他の統計指標はおよそ半減するということがわかる。

(4) 交通行動に関するアンケート調査

利用者の意識・行動を分析するためにアンケート調査を実施した。

被験者は福島市・米沢市のトラック協会・商工会議所に登録している事業者を対象とした。従って業務交通を想定している。個人属性（年齢、性別、職業、運転頻度）、利用頻度・利用目的・到着時間制約の有無・車種等の利用状況、栗子道路に見込む平均的な移動時間と余裕時間、定時性への評価と定時性の変動要因として想定する事象について、通常時と積雪路面凍結時に分けて尋ねた。以降、通常時と積雪路面凍結時に分けてアンケート結果を示す。

混雑発生状況と定時性の関係について調査したところ、積雪路面凍結時に混雑し定時性が低い道路として認識されているという傾向がわかった。定時性がないと回答した被験者にその低下要因について尋ねたところ、通常時は工事作業、事故、前方低速車の順に多く、積雪路面凍結時は積雪路面凍結、吹雪、除雪、事故の順に多かった（図-8, 9）。

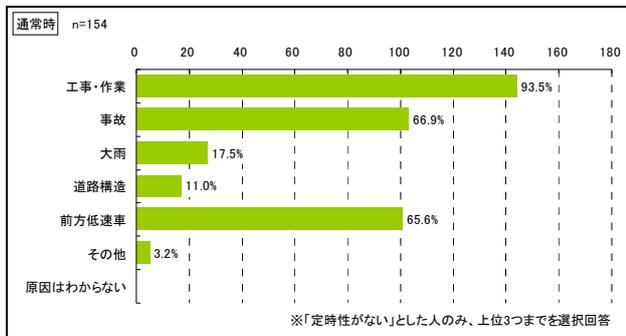


図-8 栗子道路の定時性の低下要因（通常時）

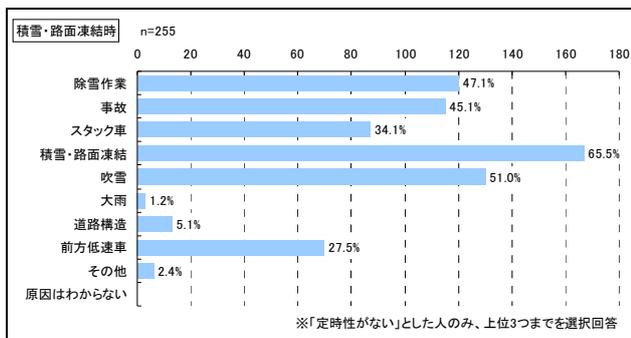


図-9 栗子道路の定時性の低下要因（積雪路面凍結時）

栗子道路の認知所要時間と余裕時間の分布を示す（図-10, 11）。通常時の平均旅行時間は最頻値40分を中心にそれより少ない時間帯に偏る形で分布しており、平均値は約40分である。積雪路面凍結時は最頻値60分を中心にそれより少ない時間帯に偏る形で分布しており、平均値は約56分である。認知所要時間分布は、通常時よりも積雪路面凍結時の方が20分程度多くずれている。栗子道路の見込み余裕時間は、通常時は平均値が約14分であり最頻値10分から多い時間帯に偏る形で分布しており、積雪路面凍結時は平均値が20分であり最頻値20分を中心に緩やかな分布となっている。

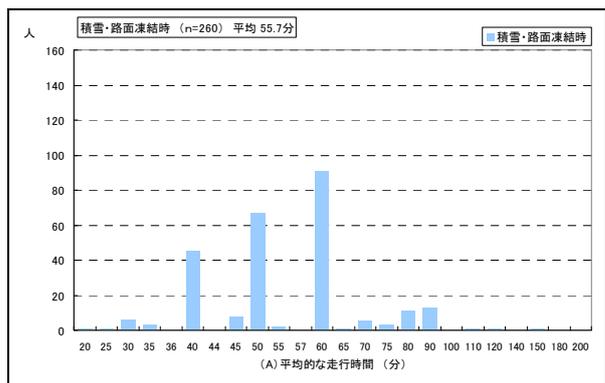
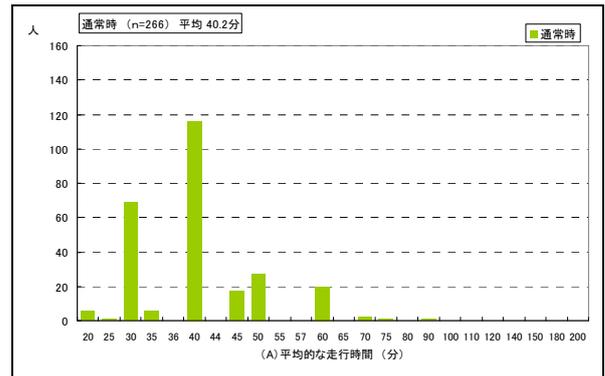
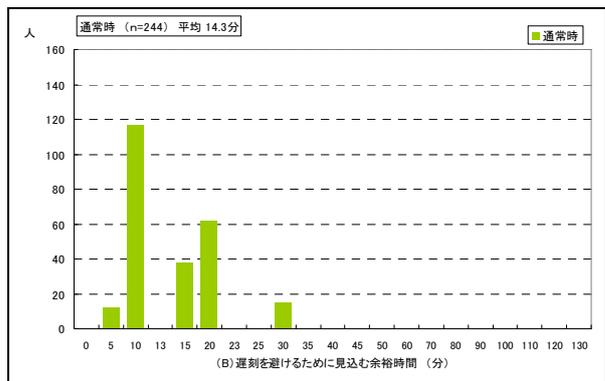


図-10 認知平均所要時間（通常時・積雪路面凍結時）



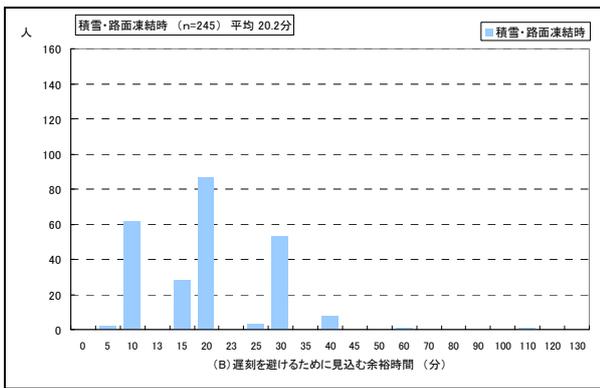


図 - 11 見込み余裕時間 (通常時・積雪路面凍結時)

以上の結果にはばらつきがあるため、最も正確に所要時間を認知できると考えられる「出勤目的利用者」に限定して、出勤目的利用者の認知所要時間と実測データに基づく旅行時間分布の比較を(表-5, 6)で行う。AVI実測データより、平均旅行時間と見込み時間95%タイル値を算出し、余裕時間(BT)は95%タイル値-平均値より算出した。

表 - 5 出勤目的利用者の認知所要時間 (分/10km)

	認知平均所要時間	余裕時間	見込み時間
通常時	36.8	12	48.8
積雪路面凍結時	51	18.9	69.8

表 - 6 実測した旅行時間 (分/10km)

	平均値	余裕時間	見込み時間
通常時	28.3	3	31.3
積雪路面凍結時	30.1	5.2	35.3

出勤目的利用者の認知所要時間分布でさえも、通常時・積雪路面凍結時ともに平均所要時間が実測した旅行時間分布と大きな差があった。このような結果が出た原因として、被験者は、認知所要時間や余裕時間について、区間の起終点に交差点名を指定したことにより明確な区間認識ができず、自身のトリップの起終点をイメージしたことが考えられる。

3. まとめ

- ① 工事規制と積雪による交通容量低下による時間信頼性への影響について抽出・定量化した。容量低下を促す要因が減少した場合の統計指標を算定すると時間信頼性が向上することが分かった。
- ② 本事例に即すると、積雪については既に除雪作業を施しているため、工事規制の方がより時間信頼性低下に及ぼす影響が大きく、ゆえに工事規制を軽減することでより大きな時間信頼性向上を促すことができる。
- ③ 利用者は実際よりも過大な所要時間及び余裕時間を見込んでおり、特に積雪路面凍結時でその傾向が強い。

今後の課題として、様々な外的要因による時間信頼性に対する影響の抽出と定量化、仮に除雪が行われなかった場合と現状とでの時間信頼性指標の比較による除雪の効果の試算、的確に所要時間と余裕時間を被験者に回答してもらえるようなアンケート設計の方法の検討等が挙げられる。

謝辞

本研究を執筆するに当たって、データの提供等調査に協力いただいた福島・山形両河川国道事務所、福島市・米沢市両トラック協会・商工会議所各位に謝意を示すものである。

参考文献

- 1) 飛ヶ谷, 石橋, 田名部, 朝倉: 旅行時間信頼性指標と既存の渋滞評価指標との比較～阪神高速道路の事例～: 土木計画学研究・講演集, Vol. 38, CD-ROM, 2008.
- 2) 吉岡, 橋本, 上坂: 車線数と交通量が所要時間に及ぼす影響に関する実証的研究, 土木計画学研究・講演集, Vol. 39, CD-ROM, 2009.
- 3) 吉岡, 橋本, 上坂: 所要時間信頼性の観点からみた追越区間つき2車線道路の評価, 第28回日本道路会議論文集, CD-ROM, 2009.
- 4) 内海, 割田, 前田, 高田: 首都高速道路有明辰巳ジャンクション間拡幅による効果分析, 交通工学研究発表会論文報告集, No. 29, CD-ROM, 2009.
- 5) 橋本, 奥谷: 季節変動・天候が時間信頼性評価に与える影響分析: 土木計画学研究・講演集, Vol. 37, CD-ROM, 2008.
- 6) 佐々木, 東本, 杉木, 内田: 冬期道路の交通容量に関する研究: 土木計画学研究・講演集, Vol. 36, CD-ROM, 2007.
- 7) 飛ヶ谷, 石橋, 田名部, 朝倉: 阪神高速道路におけるインシデント発生時の旅行時間信頼性評価, 交通工学研究発表会論文報告集, No. 28, pp. 177-180, 2008.
- 8) 野間, 奥谷, 橋本: 道路ネットワークの評価における時間信頼性指標の適用に関する研究: 土木計画学研究・講演集, Vol. 37, CD-ROM, 2008.
- 9) 上坂, 橋本, 吉岡, 中西: 空港アクセス道路の定時性評価のケーススタディ, 土木計画学研究・講演集, Vol. 39, CD-ROM, 2009.
- 10) 宗像, 割田, 岡田: 首都高速道路における所要時間の信頼性指標を用いた事業評価事例, 土木計画学研究・講演集, Vol. 38, CD-ROM, 2008