

第15回地域道路経済戦略研究会

「コネクティッドカーデータによる スタック検知の可能性検討」

令和6年3月
北陸地方研究会

1. 検討の背景・目的、分析概要

- 冬期の立往生の回避を目的に、コネクティッドカーデータによるスタック車の早期検知・スタック発生の未然防止を検討
- 気象データやコネクティッドカーデータ等の各種データから、スタック発生リスク検知モデルを構築

■ 冬期道路交通確保に関する課題

- ・R2年12月の関越道やR4年12月の長岡・柏崎における立往生など、近年、集中豪雪による大規模な交通障害の発生が問題となっている。
- ・冬期交通障害の影響を最小限にするためには、スタック車の早期検知・救出やスタック発生の未然防止による立往生の回避が重要である。

■ 目的

- ・スタック車の早期検知・救出やスタック発生の未然防止のため、コネクティッドカーから取得できる様々なデータ等を活用し、車両データの異常値検出によるスタック車の検知、スタックリスクを早期に検知して道路利用者へ効果的に情報提供する方法や通行規制を行う上での閾値等について調査検討する。

■ 分析概要

- ・過去のスタック発生時や冬期降雪時の気象データとコネクティッドカーデータの関係性から、スタック発生リスク検知モデルを構築し、予測精度の検証を行う。

過去のスタック発生時の各種データ

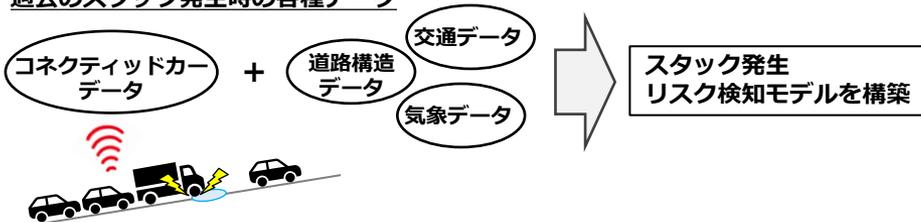
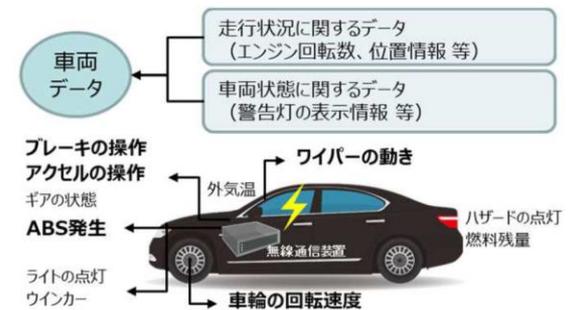


図 分析イメージ



写真 スタック車による滞留 (R4.12 柏崎市青海川)



出典：「コネクティッドカーから取得するデータの利活用・保護の取組みについて」(トヨタ自動車株式会社) をもとに作成
出典：地域道路経済戦略研究会(関東地方研究会)資料(R4.3)

図 コネクティッドカーデータの概要

表 取得データの例

データ項目	概要
ABS作動の有無	安全運転支援機能(アンチロック ブレーキシステム)の作動情報
TRC作動の有無	安全運転支援機能(トラクションコントロールシステム)の作動情報
VSC作動の有無	安全運転支援機能(ビークルスタビリティコントロールシステム)の作動情報
外気温	外気温計が示す値
車速	車両の速度
車輪速	各タイヤの速度。車輪速の差からスリップ率を推定
前後加速度	加速方向、減速方向の加速度
左右加速度	左方向、右方向の加速度

3. 冬期車両挙動特性分析

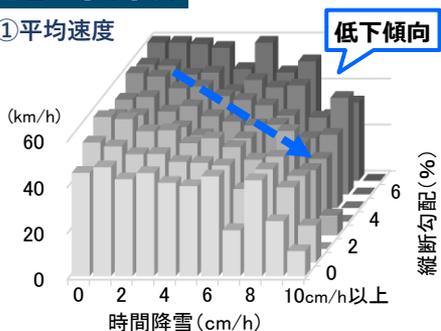
○コネクティッドカーデータから、降雪時における車両挙動変化を道路構造を踏まえて分析

- ・降雪量の増加に伴い車両速度が低下。累計降雪で評価した方がその変化は顕著となる。
- ・前後加速度は、減速方向は明確な変化無し。加速方向は降雪に関係無く急勾配ほど増大
- ・左右加速度は降雪量の増加により低下。急ハンドルを避ける運転行動が現れているものと考察
- ・スリップ率は降雪量増加かつ急勾配ほど増大
- ・降雪が多く、急勾配ほど安全運転支援システムの作動が増加。TRCが最も降雪時に作動しやすい。

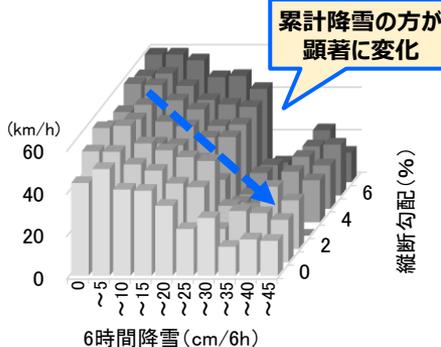
国道8号の事例

出典：国土省テレメータデータ、コネクティッドカーデータ
 集計期間：R3年度冬期(R3.12~R4.2)、R4年度冬期(R4.12~R5.2)
 空白：データなし

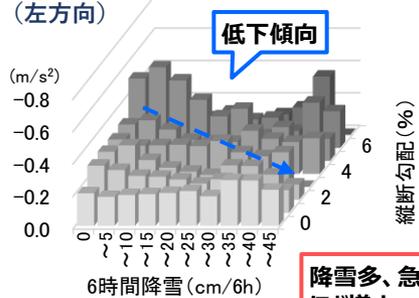
①平均速度



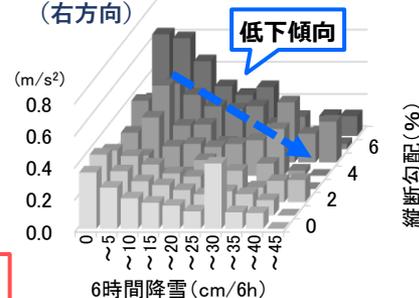
累計降雪の方が顕著に変化



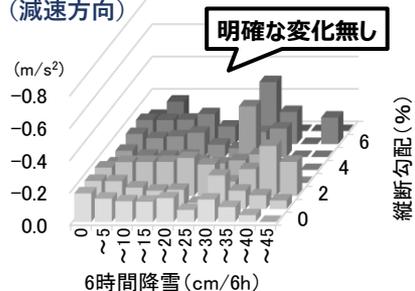
③左右加速度 (左方向)



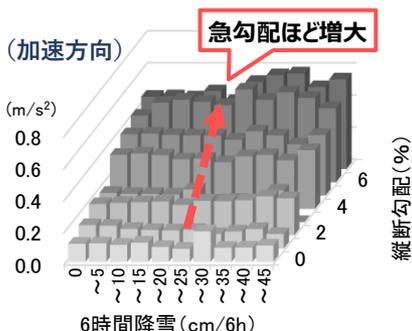
(右方向)



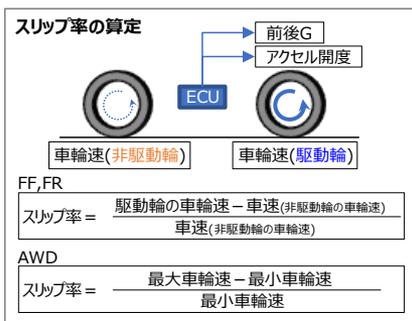
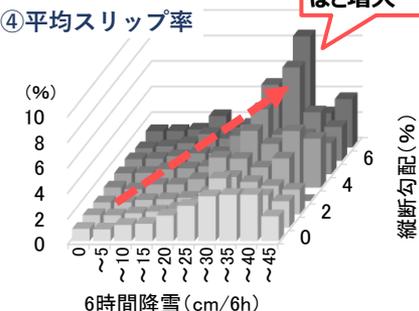
②前後加速度 (減速方向)



(加速方向)



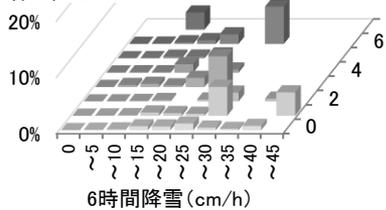
④平均スリップ率



⑤安全運転支援システム

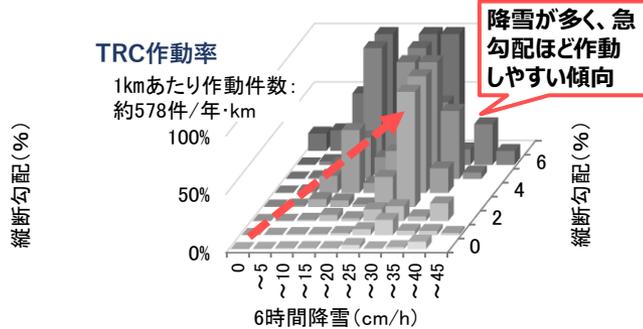
ABS作動率

1kmあたり作動件数:
約47件/年・km



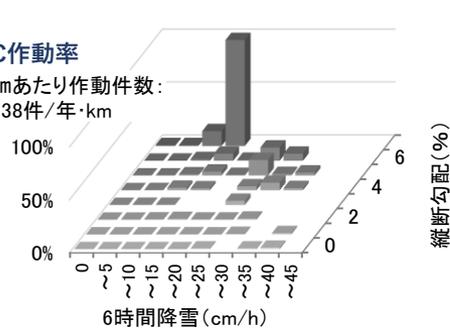
TRC作動率

1kmあたり作動件数:
約578件/年・km



VSC作動率

1kmあたり作動件数:
約38件/年・km



作動率：作動件数を通過車両台数で除した値(勾配別で1km当りに換算)

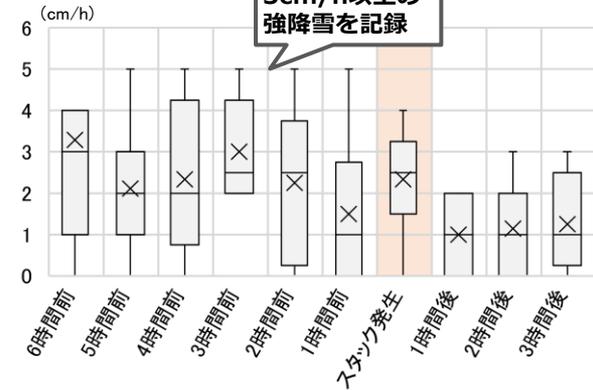
4. スタック発生時の特徴分析

- 時間降雪は0~5cmまでバラつくものの、スタック発生前までに強降雪（3cm/h以上）を確認
- 概ね6時間の累計降雪量が増加していくことで、スタックしやすい路面状況に発展していると推察
- 気温は氷点下、徐々に低下を確認
- 強降雪が観測された約3時間前から速度低下開始、スリップ率も増加傾向
- 同タイミングで、TRCが顕著に作動しており、3時間程度前からいつスタックしてもおかしくなかった状況と推察



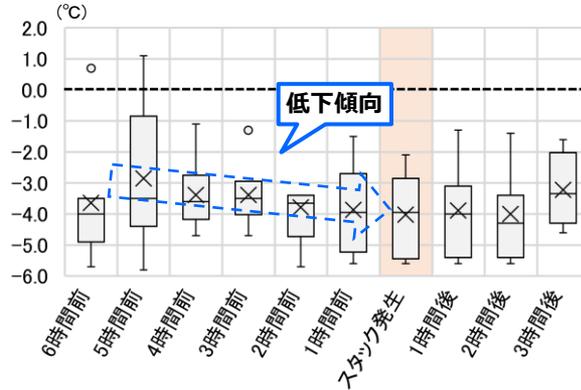
国道17号の事例

時間降雪量の推移



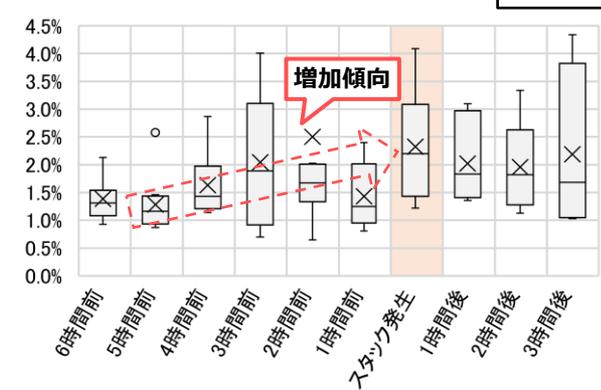
出典：国交省テレメータデータ

気温の推移



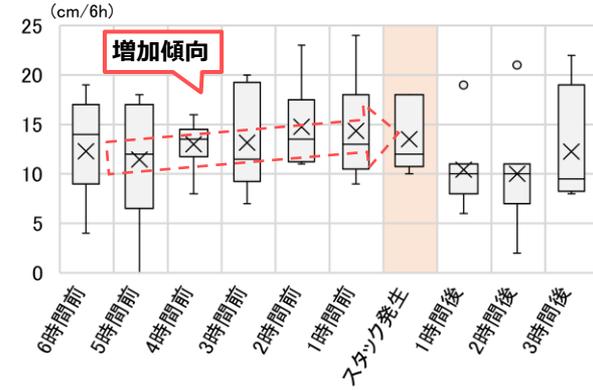
出典：国交省テレメータデータ

平均スリップ率の推移



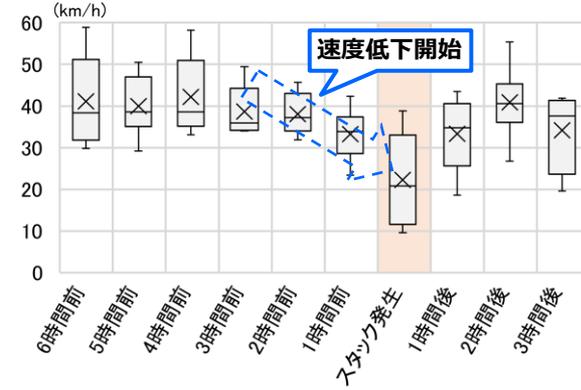
出典：コネクティッドカーデータ

6時間降雪量の推移



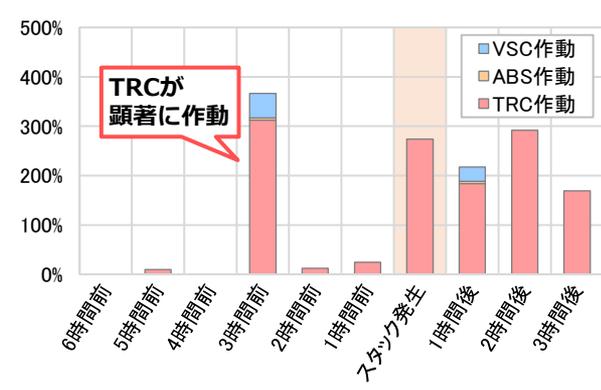
出典：国交省テレメータデータ

平均速度の推移



出典：コネクティッドカーデータ

ABS, TRC, VSC発生率の推移



出典：コネクティッドカーデータ

5. スタック発生リスク予測モデルの構築

- 降雪時にTRCが作動したケースを危険水域（リスクが高かった状態）と設定し、この**危険水域に達するリスクを検知**
- スタックリスク予測モデルは**ロジスティック回帰分析により路線別に構築**。
- 説明変数は、VIFや p 値、符号条件等を考慮し7つの変数を選定

スタックリスク予測モデル構築の課題

- ・冬期の全走行台キロに対してスタック発生件数はごく僅か。そもそも、スタックは発生確率自体が非常に小さい事象
- ・別途、スタック発生危険水域を設定し、その条件下に達したデータも加えてモデルを構築

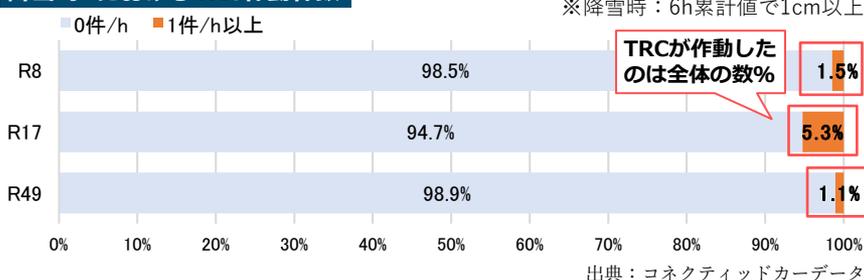
表 コネクティッドデータとスタック発生実績のマッチング結果

路線	分析期間×区間	データ取得件数 ※欠測除く	データ 取得率	スタック 実績	+危険水域 スタック実績 +危険水域
R8	734,400件 =4,320h×170区間	347,297件	47%	10件 (0.003%)	1,826件 (0.5%)
R17	540,000件 =4,320h×125区間	233,451件	43%	6件 (0.003%)	6,947件 (3.0%)
R49	561,600件 =4,320h×130区間	144,822件	26%	2件 (0.001%)	920件 (0.6%)
計	1,836,000件	725,570件	40%	18件 (0.002%)	9,693件 (1.3%)

スタック発生危険水域の分析と設定方法

- ①前頁の分析から、降雪時のTRC作動時にはスタックリスクが増大していると推察
 - ②そもそも、TRCの作動自体も稀なケース
- ⇒降雪時にTRCが作動したケースを危険水域（リスクが高かった状態）として、予測モデル構築の目的変数に設定

降雪時※におけるTRC作動件数



出典：コネクティッドカーデータ

スタックリスク検知モデルの構築

- ・ロジスティック回帰分析よりスタック発生リスク検知モデルを構築
- ・データを路線別に、訓練用・検証用データに分割（7：3）し、モデルを作成後、検証用データにてリスク予測値を評価
- ・説明変数は、多重共線性（VIF）や p 値、符号条件等を考慮し、複数回トライアルのうえ、下表に示す7つの変数を選定
- ・TRCに関するデータは目的変数設定（発生危険水域の設定）に使用しているため、説明変数からは除外

$$\text{ロジスティック回帰分析 回帰式 } P = \frac{1}{1 + \exp(-(a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n + b))}$$

(P: 確率)

表 説明変数一覧

データ項目	単位	備考	選定	データ項目	単位	備考	選定
ABS作動有無	-	作動あり：1 作動なし：0	○	平均スリップ率	%	分析区間最小単位 (200m)の平均値	○
ABS作動件数	件	-	-	最大スリップ率	%	分析区間最小単位 (200m)の最大値	-
ABS作動率	%	作動件数/ユニークID数	-	積雪深	cm	-	-
VSC作動有無	-	作動あり：1 作動なし：0	○	時間降雪量	cm	-	-
VSC作動件数	件	-	-	3時間降雪量	cm	累計値	-
VSC作動率	%	作動件数/ユニークID数	-	6時間降雪量	cm	累計値	○
車速	km/h	-	○	気温	°C	-	○
前後加速度	m/s ²	-	-	路温	°C	-	-
左右加速度	m/s ²	-	-	縦断勾配	%	-	○
				ユニークID数	件	-	-

[スタックリスク検知モデル（国道8号の事例）]

モデル係数	R ² _{マッ}		p値				
	予測変数	推定値	標準誤差	Z値	p値	オッズ比	VIF
切片	-4.753	0.142	-33.41	< .001	0.009	-	
ABS作動有無	4.017	0.181	22.26	< .001	55.515	1.053	
VSC作動有無	5.090	0.208	24.50	< .001	162.367	1.009	
車速	-0.034	0.003	-12.56	< .001	0.967	1.759	
平均スリップ率	0.296	0.019	15.70	< .001	1.344	1.319	
6時間降雪	0.098	0.005	19.88	< .001	1.103	1.226	
気温	-0.523	0.018	-28.95	< .001	0.593	1.037	
縦断勾配	0.364	0.016	22.24	< .001	1.438	1.211	

6. スタック発生リスク予測モデルの検証・まとめ

- 作成したモデル式を検証用データに当てはめ、**スタック発生リスクを予測**
- 各説明変数の変動に伴う**スタックリスク値の変化を分析**し、一般的な感覚と相違の無い結果が得られていると評価

モデル式の検証 (リスク予測結果)

- ・作成したモデル式に検証用データを当てはめスタック発生リスク値を予測
- ・各説明変数の変動に伴うスタックリスク値の変化 (平均) を分析した結果、各路線ともに一般的な感覚と相違の無い結果が得られていると評価
- ・本モデルにより、どの程度の降雪量でリスクが増すかも評価可能であり、大雪時の除雪体制構築にも寄与する可能性

	縦断勾配							
	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%
1~5	0%	0%	0%	1%	1%	1%	1%	2%
6~10	2%	1%	2%	3%	5%	7%	5%	6%
11~15	4%	3%	3%	5%	9%	9%	19%	18%
16~20	7%	6%	3%	5%	11%	15%	14%	15%
21~25	25%	5%	7%	29%	19%	37%	46%	33%
26~30	85%	30%	35%	24%	73%	56%	82%	-
31~35	34%	22%	39%	48%	55%	79%	86%	98%
36~40	68%	-	-	67%	-	-	-	-
41~45	-	-	-	-	-	-	-	-
46~50	-	-	-	-	-	-	-	-
51~	-	-	-	-	-	-	-	-

降雪増+急勾配ほどリスク増
25cm/6hを越えるとリスクが急増

	縦断勾配							
	0	1	2	3	4	5	6	7
-6~-5	-	7%	5%	12%	-	12%	-	-
-5~-4	14%	5%	4%	10%	6%	16%	29%	-
-4~-3	4%	2%	3%	5%	10%	14%	14%	17%
-3~-2	2%	1%	2%	3%	4%	7%	8%	12%
-2~-1	1%	1%	2%	3%	4%	6%	7%	14%
-1~0	1%	1%	1%	2%	4%	3%	5%	7%
0~1	1%	0%	1%	1%	2%	1%	2%	3%
1~2	0%	0%	0%	0%	1%	1%	1%	1%
2~3	0%	5%	0%	0%	0%	0%	1%	0%
3~4	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
4~5	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
5~6	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

急勾配+低気温ほどリスク増

まとめ

- ・縦断勾配や降雪時におけるコネクティッドカーデータの各種挙動変化における特徴を把握
- ・スタック発生時の各種データからスタック発生危険水域を設定し、モデル式構築時の目的変数に加えることで、予測モデルの精度を向上
- ・構築したモデル式から得られるリスク値について検証し、降雪量増大かつ急勾配ほどリスクが増加、速度低下やスリップ率増加につれてスタックリスクが増加する結果となり、一般的な感覚と相違の無い結果が得られていると評価

	縦断勾配							
	0	1	2	3	4	5	6	7
0~5	21%	8%	29%	21%	35%	69%	35%	98%
5~10	4%	4%	13%	12%	5%	19%	78%	-
10~15	1%	2%	1%	6%	8%	21%	7%	-
15~20	1%	1%	6%	3%	3%	13%	6%	-
20~25	0%	2%	6%	3%	2%	8%	3%	-
25~30	0%	1%	2%	1%	2%	4%	3%	16%
30~35	0%	1%	1%	1%	2%	7%	2%	-
35~40	0%	1%	2%	1%	2%	3%	4%	6%
40~45	0%	0%	1%	1%	2%	4%	4%	15%
45~50	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	11%
50~55	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	7%
55~	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%

急勾配+低速度ほどリスク増

今後の課題

- ①本モデルの精度を確認するため、今冬のデータで検証を行う必要がある。
- ②今回分析を行った路線とは交通状況が異なる路線においてもデータを蓄積し、検知モデルの精度や汎用性の向上を目指す。
- ③冬期交通障害リスクを早期に検知できた場合の活用方法について検討を行う。
(道路利用者への効果的な情報提供など)
- ④本検討に加え、路面状況の変化を捉えることができれば、大雪時の通行規制や除雪車出動時のメルクマールとしての活用、スリップ事故に関するリスク分析など、冬期道路管理にも活用の幅を広げることができると考えられる。

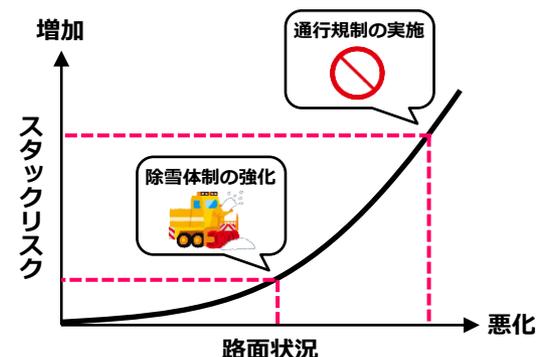


図 冬期道路管理への活用方法のイメージ (今後の課題④)